

14. Discuta as analogias e as diferenças entre a lei de Gauss e a lei de Ampère.
15. Uma corrente constante é estabelecida num longo tubo de cobre. Existe campo magnético (a) dentro e/ou (b) fora do tubo?
16. Um fio retilíneo longo, de raio  $R$ , transporta uma corrente constante  $i$ . Como o campo magnético gerado por esta corrente depende de  $R$ ? Considere pontos tanto dentro como fora do fio.
17. Dois solenóides longos estão encaixados no mesmo eixo, como mostra a Fig. 31-27. Eles transportam correntes idênticas mas de senti-

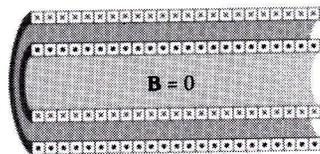


Fig. 31-27 Questão 17.

dos opostos. Se não existe campo magnético dentro do solenóide interno, o que se pode dizer sobre  $n$ , o número de espiras por unidade de comprimento, para os dois solenóides? Qual dos dois têm o maior valor?

18. Uma corrente constante é estabelecida em uma rede cúbica de fios resistivos, ligados como mostra a Fig. 31-28. Use argumentos de simetria para mostrar que o campo magnético no centro do cubo é zero.

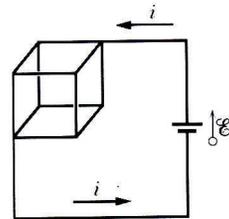


Fig. 31-28 Questão 18.

### EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

#### Seção 31-2 Cálculo do Campo Magnético

- 1E. Um fio n.º 10 (2,6 mm de diâmetro), de cobre desencapado, pode conduzir uma corrente de 50 A sem se aquecer em demasia. Para esta corrente, qual é o campo magnético na superfície do fio?
- 2E. O módulo do campo magnético a 88,0 cm do eixo de um fio retilíneo longo é  $7,30 \mu\text{T}$ . Calcular a corrente no fio.
- 3E. Um topógrafo está usando uma bússola a 6 m abaixo de uma linha de transmissão na qual existe uma corrente constante de 100 A. (a) Qual é o campo magnético no local da bússola em virtude da linha de transmissão? (b) Isso irá interferir seriamente na leitura da bússola? O componente horizontal do campo magnético da Terra no local é de  $20 \mu\text{T}$ .
- 4E. O canhão de elétrons em tubo de TV dispara um feixe de elétrons de 25 keV que atinge a tela na razão de  $5,6 \times 10^{14}$  elétrons por segundo. O diâmetro do feixe é de 0,22 mm. Calcule o campo magnético produzido pelo feixe num ponto a 1,5 mm do eixo do feixe.
- 5E. A Fig. 31-29 mostra um segmento de fio de 3,0 cm, centrado na origem, transportando uma corrente de 2,0 A na direção  $+y$ . (Naturalmente este segmento deve fazer parte de um circuito completo.) Para calcular o campo  $\mathbf{B}$  num ponto a vários metros da origem, podemos usar a lei de Biot-Savart na forma  $B = (\mu_0/4\pi) i \Delta s \sin \theta/r^2$ , com  $\Delta s = 3,0$  cm. Isto se deve ao fato de que  $r$  e  $\theta$  são essencialmente constantes sobre o segmento de fio. Calcule  $\mathbf{B}$  (módulo, direção e sentido) nas seguintes posições  $(x, y, z)$ : (a)  $(0, 0, 5,0 \text{ m})$ , (b)  $(0, 6,0 \text{ m}, 0)$ , (c)  $(7,0 \text{ m}, 7,0 \text{ m}, 0)$ , (d)  $(-3,0 \text{ m}, -4,0 \text{ m}, 0)$ .

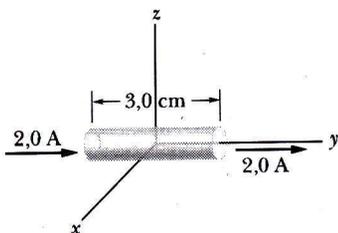


Fig. 31-29 Exercício 5.

6E. Um fio longo transportando uma corrente de 100 A é colocado num campo magnético externo de 5,0 mT. O fio é perpendicular ao campo. Localize os pontos onde o campo magnético resultante é zero.

7E. Em uma localização nas Filipinas, o campo magnético da Terra de  $39 \mu\text{T}$  é horizontal e aponta para o norte. Exatamente 8,0 cm acima de um fio retilíneo longo, que transporta uma corrente constante, o campo resultante é zero. Quais são (a) a intensidade e (b) o sentido da corrente?

8E. Uma carga puntiforme  $q$  está se movendo com velocidade escalar  $v$  ao passar a uma distância  $d$  de um fio retilíneo longo percorrido por uma corrente  $i$ . Quais são o módulo, a direção e o sentido da força que atua sobre a carga, nessa posição, nos seguintes casos: (a) a carga se aproxima ortogonalmente do fio e (b) a carga se afasta ortogonalmente do fio?

9E. Um fio retilíneo longo transporta uma corrente de 50 A. Um elétron está se movendo a  $1,0 \times 10^7$  m/s ao passar a 5,0 cm deste fio. Que força atua sobre o elétron se a sua velocidade estiver orientada (a) diretamente para o fio, (b) paralelamente ao fio e (c) perpendicular às direções definidas por (a) e (b).

10E. Um condutor retilíneo transportando uma corrente  $i$ , é dividido em voltas semicirculares idênticas, como é mostrado na Fig. 31-30. Qual é o campo magnético no centro  $C$  da espira circular resultante?

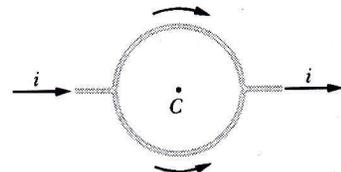


Fig. 31-30 Exercício 10.

11P. O fio mostrado na Fig. 31-31 transporta uma corrente  $i$ . Que campo magnético  $\mathbf{B}$  é produzido no centro  $C$  do semicírculo (a) por cada segmento retilíneo de comprimento  $L$ , (b) pelo segmento semicircular de raio  $R$  e (c) pelo fio inteiro?

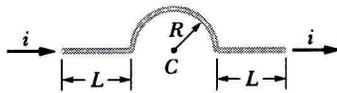


Fig. 31-31 Problema 11.

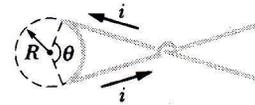


Fig. 31-35 Problema 15.

**12P.** Dois fios infinitamente longos transportam correntes iguais  $i$ . Cada um segue um arco de  $90^\circ$  sobre a circunferência de um mesmo círculo de raio  $R$ , na configuração mostrada na Fig. 31-32. Mostre, sem fazer um cálculo detalhado, que  $\mathbf{B}$ , no centro do círculo, é idêntico ao campo  $\mathbf{B}$  criado por um fio retilíneo infinito, percorrido por uma corrente  $i$ , a uma distância  $R$  abaixo dele.

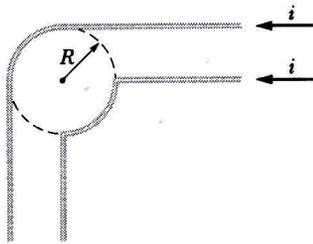


Fig. 31-32 Problema 12.

**13P.** Use a lei de Biot-Savart para calcular o campo magnético  $\mathbf{B}$  em  $C$ , o centro comum dos arcos semicirculares  $AD$  e  $HJ$  na Fig. 31-33. Os dois arcos de raios  $R_2$  e  $R_1$ , respectivamente, formam parte do circuito  $ADJHA$  transportando uma corrente  $i$ .

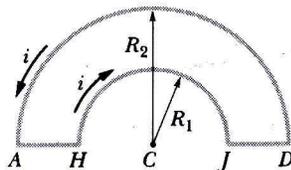


Fig. 31-33 Problema 13.

**14P.** Curva-se um fio de modo a fazer um longo “grampo de cabelo”, como é mostrado na Fig. 31-34. Sabendo-se que o fio transporta uma corrente de 10 A, quais são o módulo, a direção e o sentido de  $\mathbf{B}$  (a) no ponto  $a$  e (b) no ponto médio  $b$ ? Considere  $R = 5,0$  mm e a distância entre  $a$  e  $b$  muito maior que  $R$ .



Fig. 31-34 Problema 14.

**15P.** Um fio transportando uma corrente  $i$  tem a configuração mostrada na Fig. 31-35. Dois trechos retilíneos semi-infinitos, ambos tangentes ao mesmo círculo, estão ligados por um arco circular, de ângulo central  $\theta$ , ao longo da circunferência do círculo, com todos os trechos dispostos no mesmo plano. Qual deve ser o valor de  $\theta$  de modo que  $B$  seja zero no centro do círculo?

**16P.** Considere o circuito da Fig. 31-36. Os segmentos curvos são arcos de círculo de raios  $a$  e  $b$ . Os segmentos retilíneos estão ao longo de raios. Determine o campo magnético  $\mathbf{B}$  em  $P$ , considerando uma corrente  $i$  no circuito.

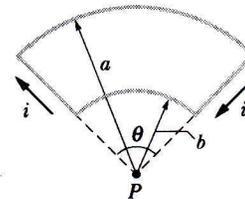


Fig. 31-36 Problema 16.

**17P.** Um segmento retilíneo de fio, de comprimento  $L$ , transporta uma corrente  $i$ . Mostre que o módulo do campo magnético  $\mathbf{B}$  produzido por este segmento, a uma distância  $R$  do segmento ao longo de sua mediatriz (veja a Fig. 31-37), é

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \frac{L}{(L^2 + 4R^2)^{1/2}}$$

Mostre que esta expressão se reduz a um resultado esperado quando  $L \rightarrow \infty$ .

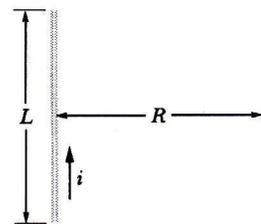


Fig. 31-37 Problema 17.

**18P.** Uma espira quadrada de fio de lado  $a$  transporta uma corrente  $i$ . Mostre que, no centro da espira, o módulo do campo magnético produzido pela corrente é

$$B = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 i}{\pi a}$$

(Sugestão: Veja o Problema 17).

**19P.** Mostre que o módulo do campo magnético produzido no centro de uma espira retangular de fio, de comprimento  $L$  e largura  $W$ , transportando uma corrente  $i$ , é

$$B = \frac{2\mu_0 i}{\pi} \frac{(L^2 + W^2)^{1/2}}{LW}$$

Mostre que, para  $L \gg W$ , esta expressão se reduz a um resultado consistente com o resultado do Exemplo 31-3.

20P. Uma espira quadrada de fio, de lado  $a$ , transporta uma corrente  $i$ . Mostre que o módulo do campo magnético produzido num ponto sobre o eixo da espira e a uma distância  $x$  de seu centro é

$$B(x) = \frac{4\mu_0 i a^2}{\pi(4x^2 + a^2)(4x^2 + 2a^2)^{1/2}}$$

Prove que este resultado é consistente com o resultado do Problema 18.

21P. Dispõe-se de um fio de comprimento  $L$ , onde podemos estabelecer uma corrente  $i$ . O fio pode ser dobrado na forma de um círculo ou de um quadrado. Mostre que o quadrado dará o maior valor para  $B$  no ponto central.

22P. Um segmento retilíneo de fio, de comprimento  $L$ , transporta uma corrente  $i$ . Mostre que o campo magnético associado a ele, no ponto  $P$ , a uma distância perpendicular  $D$  de uma de suas extremidades (veja a Fig. 31-38), é dado em módulo por

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi D} \frac{L}{(L^2 + D^2)^{1/2}}$$

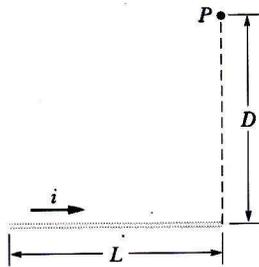


Fig. 31-38 Problema 22.

23P. Uma corrente  $i$  flui num segmento retilíneo de fio de comprimento  $a$ , como mostra a Fig. 31-39. Mostre que o campo magnético no ponto  $Q$  é zero e que em  $P$  o módulo do campo é dado por

$$B = \frac{\sqrt{2}\mu_0 i}{8\pi a}$$

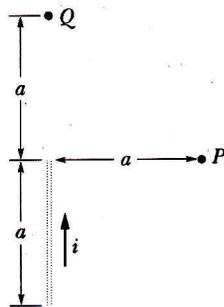


Fig. 31-39 Problema 23.

24P. Determine o campo magnético  $B$  no ponto  $P$  da Fig. 31-40 (veja o Problema 23).

25P. Calcular o campo magnético  $B$  no ponto  $P$  da Fig. 31-41. Suponha que  $i = 10$  A e  $a = 8,0$  cm.

26P. A Fig. 31-42 mostra uma seção transversal de uma fita comprida e fina, de largura  $w$ , que está transportando uma corrente  $i$  uniformemen-

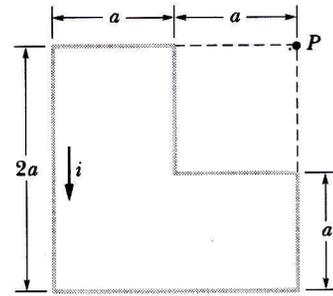


Fig. 31-40 Problema 24.

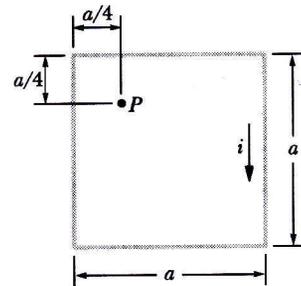


Fig. 31-41 Problema 25.



Fig. 31-42 Problema 26.

te distribuída, para o interior da página. Calcular o módulo, a direção e o sentido do campo magnético  $B$  no ponto  $P$  no plano da fita a uma distância  $d$  de sua extremidade. (Sugestão: Imagine a fita formada por vários fios finos, paralelos e compridos).

Seção 31-4 Dois Condutores Paralelos

27E. Dois fios longos e paralelos estão separados por uma distância de 8,0 cm. Que correntes iguais devem passar pelos fios para que o campo magnético a meia distância entre eles tenha módulo igual a 300  $\mu$ T? Considere as correntes: (a) paralelas e (b) antiparalelas.

28E. Dois fios paralelos, retilíneos e longos, separados por 0,75 cm estão perpendiculares ao plano da página, como é mostrado na Fig. 31-43. O fio 1 transporta uma corrente de 6,5 A para dentro da página. Qual deve ser a corrente (intensidade e sentido) no fio 2 para que o campo magnético resultante no ponto  $P$  seja zero?

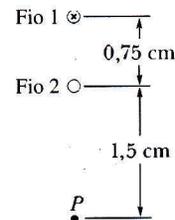


Fig. 31-43 Exercício 28.

29E. Dois fios longos e paralelos, separados por uma distância  $d$ , transportam correntes  $i$  e  $3i$  no mesmo sentido. Localize o ponto ou os pontos em que seus campos magnéticos se cancelam.

**30E.** A Fig. 31-44 mostra cinco fios longos e paralelos no plano  $xy$ . Cada fio transporta uma corrente  $i = 3,00$  A no sentido positivo do eixo  $x$ . A separação entre fios adjacentes vale  $d = 8,00$  cm. Determine a força magnética por metro exercida sobre cada um dos cinco fios pelos outros fios.

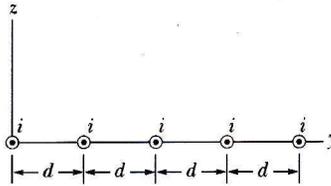


Fig. 31-44 Exercício 30.

**31E.** Para os fios do Exemplo 31-3, mostre que a Eq. 31-15 vale para pontos além dos fios, isto é, para pontos com  $|x| > d$ .

**32E.** Dois fios paralelos, retilíneos e longos, estão separados de uma distância de 10 cm e, cada um deles transporta uma corrente de 100 A. A Fig. 31-45 mostra uma seção transversal, com os fios dispostos perpendicularmente à página e o ponto  $P$  situado sobre a mediatriz da linha entre os fios. Determine o módulo, a direção e o sentido do campo magnético em  $P$ , quando a corrente no fio da esquerda aponta para fora da página e a corrente no fio da direita aponta: (a) para fora da página e (b) para dentro da página.

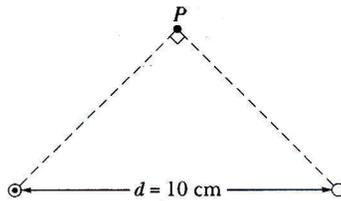


Fig. 31-45 Exercício 32.

**33P.** Na Fig. 31-10a, considere que ambas as correntes têm o mesmo sentido, para fora do plano da figura. Mostre que o campo magnético no plano definido pelos fios é

$$B(x) = \frac{\mu_0 i x}{\pi(x^2 - d^2)}$$

Suponha  $i = 10$  A e  $d = 2,0$  cm, na Fig. 31-10a, e faça o gráfico de  $B(x)$  para a faixa  $-2$  cm  $\leq x \leq 2$  cm. Considere que os diâmetros dos fios sejam desprezíveis.

**34P.** Quatro fios longos de cobre estão paralelos entre si, a seção transversal do conjunto formando os vértices de um quadrado de 20 cm de lado. Cada fio é percorrido por uma corrente de 20 A, no sentido indicado na Fig. 31-46. Quais são o módulo, a direção e o sentido de  $\mathbf{B}$  no centro do quadrado?

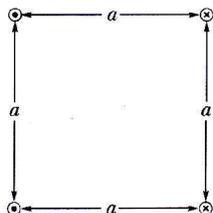


Fig. 31-46 Problemas 34, 35 e 36.

**35P.** Suponha, na Fig. 31-46, que as correntes idênticas  $i$  estejam todas apontando para fora da página. Qual é a força por unidade de comprimento (módulo, direção e sentido) sobre qualquer um dos fios?

**36P.** Na Fig. 31-46, qual é a força por unidade de comprimento, em módulo, direção e sentido, atuando sobre o fio inferior à esquerda? As correntes idênticas  $i$  têm os sentidos indicados na figura.

**37P.** Dois fios longos, separados por uma distância  $d$ , transportam correntes iguais  $i$  antiparalelas, como se vê na Fig. 31-47. (a) Mostre que o módulo do campo magnético no ponto  $P$ , que é equidistante dos fios, é dado por

$$B = \frac{2\mu_0 i d}{\pi(4R^2 + d^2)}$$

(b) Em que direção aponta  $\mathbf{B}$ ?

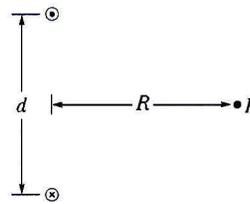


Fig. 31-47 Problema 37.

**38P.** Na Fig. 31-48, o fio retilíneo longo transporta uma corrente de 30 A e a espira retangular transporta uma corrente de 20 A. Calcular a força resultante atuando sobre a espira. Suponha que  $a = 1,0$  cm,  $b = 8,0$  cm e  $L = 30$  cm.

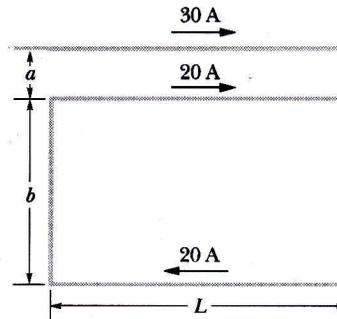


Fig. 31-48 Problema 38.

**39P.** A Fig. 31-49 mostra um esquema idealizado de um canhão sobre trilhos. O projétil  $P$  fica entre dois trilhos largos e circulares; uma fonte envia corrente através dos trilhos e do projétil (condutor). Não foi previsto o uso de fusível. (a) Seja  $w$  a distância entre os trilhos,  $R$  o raio dos

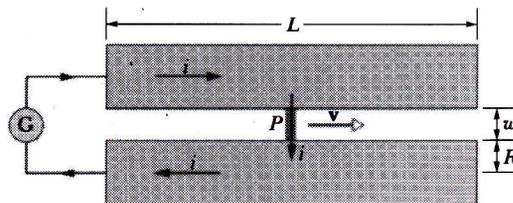


Fig. 31-49 Problema 39.

trilhos e  $i$  a corrente. Mostre que a força sobre o projétil está dirigida para a direita ao longo dos trilhos e é dada aproximadamente por

$$F = \frac{i^2 \mu_0}{2\pi} \ln \frac{w + R}{R}$$

(b) Sabendo-se que o projétil (neste caso uma bala-teste) parte do repouso da extremidade esquerda dos trilhos, determine a velocidade escalar  $v$  com que é lançado à direita. Suponha que  $i = 450$  kA,  $w = 12$  mm,  $R = 6,7$  cm,  $L = 4,0$  m e que a massa da bala é  $m = 10$  g.

Seção 31-5 Lei de Ampère

40E. Cada um dos oito condutores mostrados na Fig. 31-50 transporta uma corrente de 2,0 A para dentro ou para fora da página. Dois caminhos são indicados para a integral de linha  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ . Qual é o valor da integral para (a) o caminho pontilhado e (b) para o caminho tracejado?

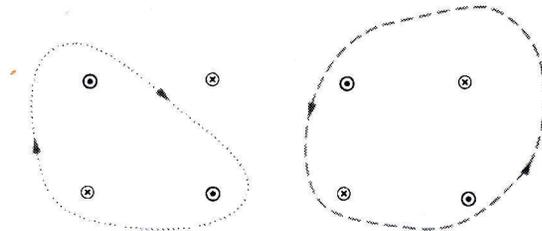


Fig. 31-50 Exercício 40.

41E. Oito fios cortam a página perpendicularmente, nos pontos mostrados na Fig. 31-51. Um fio marcado com o número inteiro  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ) transporta a corrente  $ki_0$ . Para os fios com  $k$  ímpar, a corrente está para fora da página; para os com  $k$  par, a corrente está para dentro da página. Calcular  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$  ao longo do caminho fechado no sentido indicado.

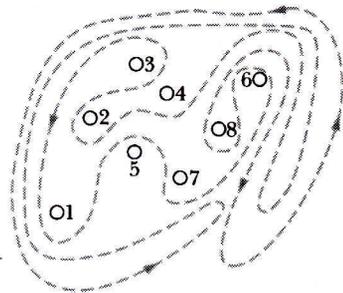


Fig. 31-51 Exercício 41.

42E. A Fig. 31-52 mostra uma seção transversal de um condutor cilíndrico longo, de raio  $a$ , transportando uma corrente  $i$  uniformemente distribuída. Suponha  $a = 2,0$  cm e  $i = 100$  A e faça o gráfico de  $B(r)$  na faixa de  $0 < r < 6,0$  cm.

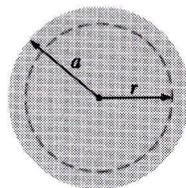


Fig. 31-52 Exercício 42.

43E. Em uma certa região existe uma densidade de corrente uniforme de  $15$  A/m<sup>2</sup> no sentido positivo do eixo  $z$ . Considere a curva fechada formada pelos três segmentos de reta que ligam os pontos de coordenadas  $(4d, 0, 0)$ ,  $(4d, 3d, 0)$  e  $(0, 0, 0)$ , onde  $d = 20$  cm. Qual é o valor de  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$  ao longo dessa curva fechada?

44P. Duas espiras quadradas, condutoras, transportam correntes de  $5,0$  A e  $3,0$  A, como é mostrado na Fig. 31-53. Qual é o valor de  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$  para cada uma das curvas fechadas mostradas?

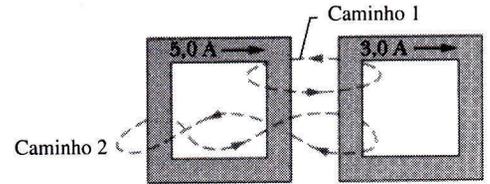


Fig. 31-53 Problema 44.

45P. Mostre que um campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  não pode cair abruptamente a zero, quando o percorremos perpendicularmente, como é sugerido pela seta horizontal que passa pelo ponto  $a$  na Fig. 31-54. (Sugestão: Aplique a lei de Ampère ao caminho retangular mostrado pelas linhas tracejadas.) Em ímãs reais sempre aparece uma deformação das linhas de  $\mathbf{B}$ , o que significa que  $\mathbf{B}$  se aproxima de zero de maneira gradual. Modifique as linhas do campo, na figura, para indicar uma situação mais real.

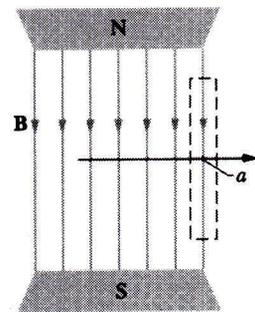


Fig. 31-54 Problema 45.

46P. A Fig. 31-55 mostra uma seção transversal de um condutor cilíndrico, oco, de raios  $a$  e  $b$ , transportando uma corrente  $i$  uniformemente distribuída. (a) Mostre que  $B(r)$  para a faixa  $b < r < a$  é dado por

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi(a^2 - b^2)} \left( \frac{r^2 - b^2}{r} \right)$$

(b) Mostre que, quando  $r = a$ , esta equação dá o campo magnético  $B$  para um fio retilíneo longo; quando  $r = b$ , dá campo magnético nulo e

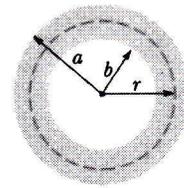


Fig. 31-55 Problema 46.

quando  $b = 0$ , dá o campo magnético no interior de um condutor sólido. (c) Suponha  $a = 2,0$  cm,  $b = 1,8$  cm e  $i = 100$  A e faça o gráfico de  $B(r)$  na faixa  $0 < r < 6$  cm.

47P. A Fig. 31-56 mostra uma seção transversal de um condutor longo de um tipo chamado de cabo co-axial. Seus raios ( $a, b, c$ ) são mostrados na figura. Existem correntes iguais  $i$  mas de sentidos opostos nos dois condutores. Obtenha as expressões para  $B(r)$  nas faixas (a)  $r < c$ , (b)  $c < r < b$ , (c)  $b < r < a$  e (d)  $r > a$ . (e) Teste estas expressões para todos os casos especiais que lhe ocorrerem. (f) Suponha  $a = 2,0$  cm,  $b = 1,8$  cm,  $c = 0,40$  cm,  $i = 120$  A e faça o gráfico de  $B(r)$  na faixa de  $0 < r < 3$  cm.

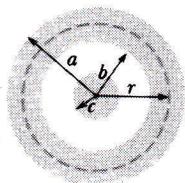


Fig. 31-56 Problema 47.

48P. A densidade de corrente no interior de um fio cilíndrico comprido e maciço, de raio  $a$  está na direção do eixo central e varia linearmente com a distância radial  $r$  de acordo com  $J = J_0 r/a$ . Determine o campo magnético no interior do fio.

49P. Um tubo comprido e circular, com um raio externo  $R$ , transporta uma corrente  $i_0$  (uniformemente distribuída), para dentro da página, como é mostrado na Fig. 31-57. Um fio está disposto paralelamente ao tubo a uma distância igual a  $3R$ , medida centro a centro. Calcule a intensidade e o sentido da corrente que deve ser estabelecida para que o campo magnético resultante no ponto  $P$  tenha módulo igual, mas sentido oposto ao do campo resultante no centro do tubo.

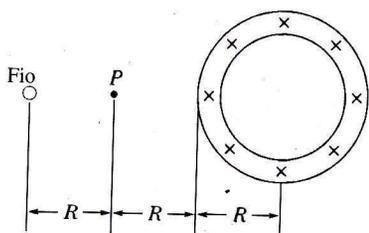


Fig. 31-57 Problema 49.

50P. A Fig. 31-58 mostra uma seção transversal de um condutor cilíndrico longo, de raio  $a$ , contendo um buraco cilíndrico longo de raio  $b$ . Os eixos dos dois cilindros são paralelos e estão separados por uma distância  $d$ . Uma corrente  $i$  está uniformemente distribuída sobre a área escura na figura. (a) Use o princípio da superposição para mostrar que o campo magnético no centro do buraco é

$$B = \frac{\mu_0 i d}{2\pi(a^2 - b^2)}$$

(b) Discuta os dois casos especiais  $b = 0$  e  $d = 0$ . (c) Use a lei de Ampère para mostrar que o campo magnético no buraco é uniforme. (Sugestão: A distribuição de corrente especificada no problema proposto pode ser achada superpondo-se uma densidade de corrente uniforme ( $J$ ) que se estende por todo o interior do condutor, incluindo o buraco, a uma densidade de corrente de módulo igual mas de sentido oposto ( $-J$ ), que se estende apenas sobre a região onde o buraco está situado).

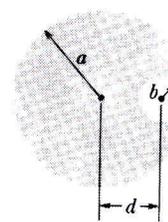


Fig. 31-58 Problema 50.

51P. A Fig. 31-59 mostra uma seção transversal de uma chapa condutora infinita com uma corrente por unidade de comprimento  $\lambda$  emergindo perpendicularmente do plano da página. (a) Use a lei de Biot-Savart e a simetria para mostrar que para todos os pontos  $P$  acima da chapa, e todos os pontos  $P'$  abaixo dela, o campo magnético  $B$  é paralelo à chapa e tem o sentido indicado. (b) Use a lei de Ampère para provar que  $B = \mu_0 \lambda / 2$  em todos os pontos  $P$  e  $P'$ .

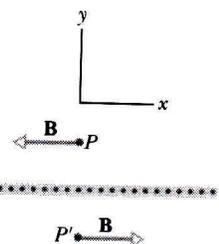


Fig. 31-59 Problema 51.

52P\*. Em uma certa região existe um campo magnético dado em militeslas por  $B = 3,0 i + 8,0 (x^2/d^2) j$ , onde  $x$  é a distância, medida em metros, ao longo do eixo coordenado  $x$  e  $d$  é uma constante com unidade de comprimento. Alguma corrente deve estar fluindo pela região para produzir o campo  $B$  especificado. (a) Calcular a integral  $\oint B \cdot ds$  ao longo do segmento de reta que vai de  $(d, 0, 0)$  até  $(d, d, 0)$ . (b) Faça  $d = 0,50$  m na expressão para  $B$  e aplique a lei de Ampère para determinar a corrente que está fluindo através de um quadrado cujo lado mede  $0,5$  m e que se encontra no primeiro quadrante do plano  $xy$ , com um vértice na origem. (c) Esta corrente está na direção  $k$  ou na direção  $-k$ ?

Seção 31-6 Solenóides e Toróides

53E. Um solenóide de 95,0 cm de comprimento tem um raio de 2,00 cm, um enrolamento de 1.200 espiras e transporta uma corrente de 3,60 A. Calcule o módulo do campo magnético no interior do solenóide.

54E. Um solenóide de 200 espiras tendo um comprimento de 25 cm e um diâmetro de 10 cm transporta uma corrente de 0,30 A. Calcule o módulo do campo magnético  $B$  próximo ao centro do solenóide.

55E. Um solenóide de 1,30 m de comprimento e 2,60 cm de diâmetro transporta uma corrente de 18,0 A. O módulo do campo magnético no interior do solenóide é 23,0 mT. Determine o comprimento do fio que constitui o solenóide.

56E. Um toróide, tendo seção transversal quadrada, com 5,00 cm de lado e um raio interno de 15,0 cm, possui 500 espiras e transporta uma corrente de 0,800 A. Qual é o módulo do campo magnético no interior do toróide (a) no raio interno e (b) no raio externo do toróide?

57E. Mostre que se a espessura de um toróide for muito pequena comparada com seu raio de curvatura (toróide muito fino), a Eq. 31-22 para o campo no interior de um toróide se reduz a Eq. 31-21 para o campo no interior de um solenóide. Explique por que este resultado é esperado.

**58P.** Considere um solenóide ideal como um condutor cilíndrico fino, cuja corrente por unidade de comprimento, medida paralelamente ao eixo do cilindro, é  $\lambda$ . Desse modo, mostre que o módulo do campo magnético, no interior de um solenóide, no interior de um solenóide ideal, pode ser escrito como  $B = \mu_0 \lambda$ . Este é o valor da *variação* em  $B$  que se obtém quando passamos de dentro para fora do solenóide, pela sua parede. Mostre que essa mesma *variação* ocorre quando atravessamos uma chapa infinita de corrente como aquela da Fig. 31-59 (veja o Problema 51). Tal igualdade o surpreende?

**59P.** Na seção 31-6 mostramos que o módulo do campo magnético para qualquer raio  $r$  no interior de um toróide é dado por

$$B = \frac{\mu_0 i_0 N}{2\pi r}$$

Mostre que, quando passamos de um ponto imediatamente dentro de um toróide para um ponto imediatamente fora, o módulo da *variação* em  $B$  que encontramos — para qualquer raio  $r$  — é exatamente  $\mu_0 \lambda$ . Aqui  $\lambda$  é a corrente por unidade de comprimento ao longo de uma circunferência de raio  $r$  dentro do toróide. Compare com o resultado semelhante encontrado no Problema 58. Tal igualdade não é surpreendente?

**60P.** Um solenóide longo com 10,0 espiras/cm e um raio de 7,00 cm transporta uma corrente de 20,0 mA. Uma corrente de 6,00 A flui num condutor retilíneo localizado ao longo do eixo do solenóide. (a) A que distância radial do eixo, a direção do campo magnético resultante fará 45° com a direção axial? (b) Qual é o módulo do campo magnético nesta posição?

**61P.** Um solenóide longo tem 100 espiras por centímetro e transporta uma corrente  $i$ . Um elétron se move no interior do solenóide num círculo de raio 2,30 cm perpendicular ao eixo do solenóide. A velocidade escalar do elétron é 0,0460c (velocidade escalar da luz). Determine a corrente  $i$  no solenóide.

**62P.** Um efeito interessante (e frustrante) ocorre quando tentamos confinar uma coleção de elétrons e íons positivos (um plasma) no campo magnético de um toróide. As partículas que se movem perpendicularmente ao campo magnético não percorrem trajetórias circulares porque a intensidade do campo varia com a distância radial ao eixo do toróide. Tal efeito, que é mostrado (exageradamente) na Fig. 31-60, faz com que as partículas de sinais opostos sejam deslocadas em sentidos opostos, paralelamente ao eixo do toróide. (a) Qual é o sinal da carga da partícula, cuja trajetória está esboçada na figura? (b) Se a trajetória da partícula tiver um raio de curvatura de 11,0 cm, quando sua distância radial média ao eixo do toróide for de 125 cm, qual será o raio de curvatura quando a partícula estiver a uma distância radial média de 110 cm do eixo?

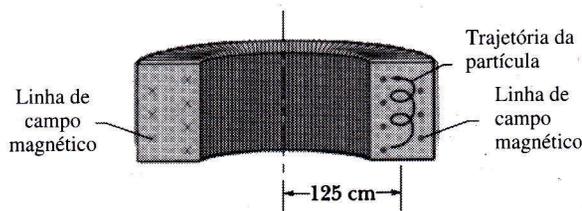


Fig. 31-60 Problema 62.

**Seção 31-7 Uma Bobina de Corrente e suas Propriedades de Dipolo Magnético**

**63E.** Qual é o momento de dipolo magnético  $\mu$  do solenóide descrito no Exercício 54?

**64E.** A Fig. 31-61a mostra um fio curvado na forma de uma bobina circular de uma única espira transportando uma corrente  $i$ . Na Fig. 31-

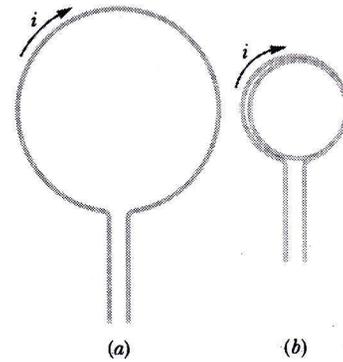


Fig. 31-61 Exercício 64.

61b o mesmo fio foi curvado mais apertadamente, resultando numa bobina de duas espiras, com a metade do raio original. (a) Sendo  $B_a$  e  $B_b$  os módulos dos campos magnéticos nos centros das duas bobinas, qual é a razão  $B_b/B_a$ ? (b) Qual é a razão entre os módulos dos momentos de dipolo  $\mu_b/\mu_a$ , das bobinas?

**65E.** A Fig. 31-62 mostra um arranjo conhecido como bobina de Helmholtz. Ela consiste em duas bobinas circulares co-axiais cada uma com  $N$  espiras e raio  $R$ , separadas por uma distância  $R$ . As duas bobinas transportam correntes iguais  $i$  no mesmo sentido. Determine o campo magnético no ponto  $P$ , a meio caminho entre as bobinas.

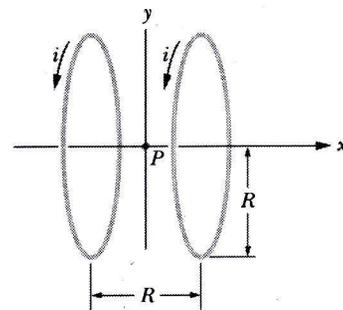


Fig. 31-62 Exercício 65; Problemas 69 e 70.

**66E.** Um estudante constrói um eletroímã enrolando 300 voltas de fio em torno de um cilindro de madeira de diâmetro  $d = 5,0$  cm. A bobina é ligada a uma bateria produzindo uma corrente de 4,0 A no fio. (a) Qual é o momento magnético deste dispositivo? (b) A que distância axial  $z \gg d$  o campo magnético deste dipolo será de  $5,0 \mu\text{T}$  (aproximadamente um décimo do campo magnético da Terra)?

**67E.** O módulo  $B(x)$  do campo magnético em pontos sobre o eixo de uma espira de corrente quadrada, de lado  $a$ , é dado no Problema 20. (a) Mostre que o campo magnético axial para esta espira, para  $x \gg a$ , é o de um dipolo magnético (veja a Eq. 31-25). (b) Qual é o momento de dipolo magnético desta espira?

**68P.** Um fio formando um circuito fechado, com raios  $a$  e  $b$ , como mostra a Fig. 31-63, é percorrido por uma corrente  $i$ . (a) Quais são o módulo, a direção e o sentido de  $B$  no ponto  $P$ ? (b) Determine o momento de dipolo magnético do circuito.

**69P.** Duas bobinas, de 300 espiras cada uma, são percorridas por uma corrente  $i$ . Elas estão separadas por uma distância igual ao raio delas, como se vê na Fig. 31-62. Para  $R = 5,0$  cm e  $i = 50$  A, faça o gráfico de  $B$  em função da distância  $x$  ao longo do eixo comum desde  $x = -5$  cm

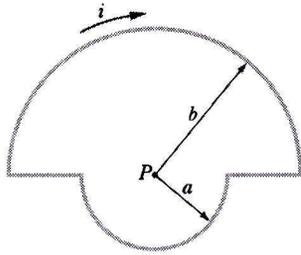


Fig. 31-63 Problema 68.

demós considerá-lo como a superposição de três espiras quadradas: *bcfgb*, *abgha* e *cdefc*? (b) Use esta superposição para determinar o momento de dipolo magnético  $\mu$  (módulo, direção e sentido) do caminho fechado. (c) Calcule  $\mathbf{B}$  nos pontos  $(x, y, z) = (0, 5,0 \text{ m}, 0)$  e  $(5,0 \text{ m}, 0, 0)$ .

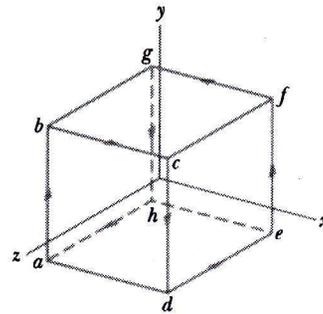


Fig. 31-64 Problema 72.

até  $x = + 5 \text{ cm}$ , tomando  $x = 0$  no ponto médio  $P$ . (Estas bobinas produzem um campo  $B$  especialmente uniforme nas proximidades do ponto  $P$ .) (Sugestão: Veja a Eq. 31-24.)

**70P.** No Exercício 65 (Fig. 31-62), considere a separação das bobinas uma variável  $s$  (não-necessariamente igual ao raio das bobinas,  $R$ ). (a) Mostre que a primeira derivada do campo magnético ( $dB/dx$ ) se anula no ponto médio  $P$  qualquer que seja o valor de  $s$ . Por que, de acordo com a simetria, esse resultado já era esperado? (b) Mostre que a segunda derivada do campo magnético ( $d^2B/dx^2$ ) também se anula no ponto  $P$  desde que  $s = R$ . Isso explica a uniformidade de  $B$  nas proximidades de  $P$ , para esta separação particular das bobinas.

**71P.** Uma bobina circular, de uma só espira, de raio  $12 \text{ cm}$ , transporta uma corrente de  $15 \text{ A}$ . Em seu centro é colocada uma bobina de  $0,82 \text{ cm}$  de raio, com  $50$  espiras e percorrida por uma corrente de  $1,3 \text{ A}$ . (a) Que campo magnético  $\mathbf{B}$  a bobina maior produz em seu centro? (b) Que torque atua sobre a bobina menor? Suponha que os planos das duas bobinas sejam perpendiculares entre si e que o campo magnético devido à bobina maior, seja praticamente uniforme por todo o volume ocupado pela bobina menor.

**72P.** Um condutor transporta uma corrente de  $6,0 \text{ A}$  ao longo de um caminho fechado *abcdefgha* envolvendo  $8$  das  $12$  arestas de um cubo de lado igual a  $10 \text{ cm}$ , como é mostrado na Fig. 31-64. (a) Por que po-

**73P.** (a) Um fio longo é curvado na forma mostrada na Fig. 31-65, sem que haja contato no cruzamento em  $P$ . O raio do trecho circular é  $R$ . Determine o módulo, a direção e o sentido de  $\mathbf{B}$  no centro  $C$  da parte circular para a corrente  $i$  indicada na figura. (b) A parte circular do fio é girada sem distorção em torno do diâmetro indicado, até que o plano do círculo fique perpendicular à parte retilínea do fio. O momento de dipolo magnético associado à espira circular está agora no sentido da corrente na parte retilínea do fio. Determine  $\mathbf{B}$  em  $C$  neste caso.

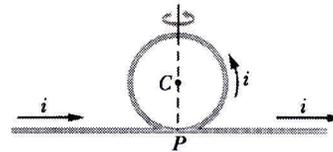


Fig. 31-65 Problema 73.