



FÍSICA III

Professora Mauren Pomalis

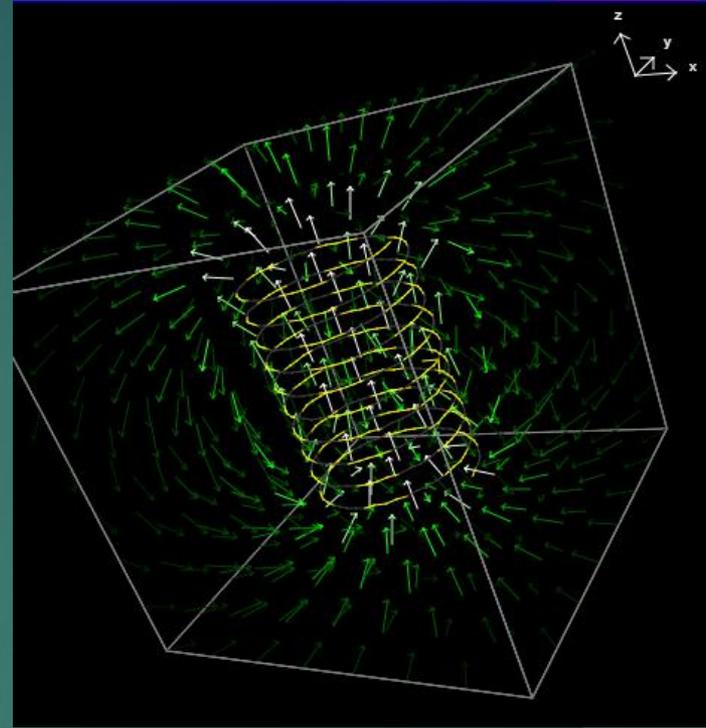
mauren.pomalis@unir.br

ENGENHARIA ELÉTRICA - 3º PERÍODO

UNIR/PORTO VELHO

2017/1

CAMPO MAGNÉTICO

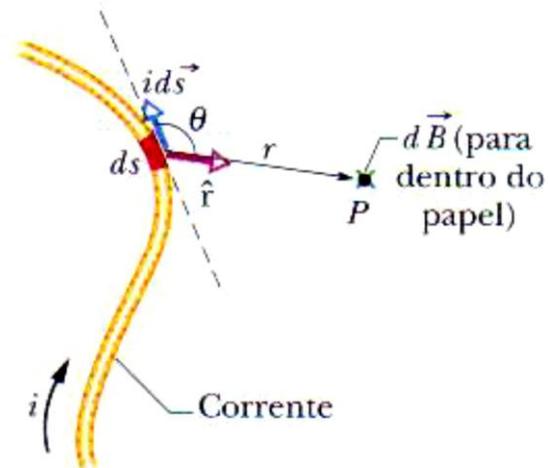


Eletromagnetismo

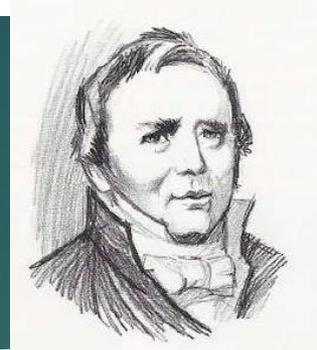
- ▶ Biot-Savart
- ▶ Lei de Ampère

Campo Magnético

- ▶ Campo magnético produzido por uma corrente num fio.
 - ▶ Provém de cargas elétricas em movimento.
 - ▶ Corrente elétrica, i .



Lei de Biot-Savart

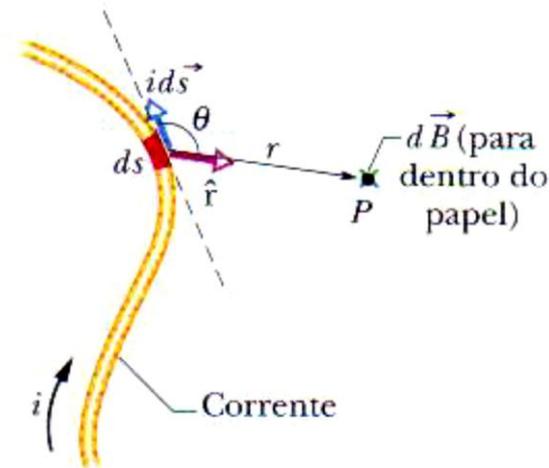


Oersted

- ▶ Hans C. Oersted havia feito uma análise qualitativa sobre o fato.
- ▶ Foram Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) que realizaram as experiências quantitativas sobre a força exercida por uma corrente elétrica e o campo magnético gerado.
- ▶ A partir de seus resultados experimentais, Biot e Savart chegaram a uma expressão matemática que dá o campo magnético em algum ponto do espaço em termos de corrente que produz o campo.
- ▶ *“O campo magnético descrito pela lei Biot-Savart é o campo devido a um determinado condutor que transporta a corrente.”*

Lei de Biot-Savart

- ▶ Campos magnéticos, bem como campos elétricos, podem ser calculados através da metodologia de somar pequenas partes, para determinação do campo total.



$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{\mathbf{s}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Lei de Biot-Savart

- ▶ A diferença é que o elemento de carga dq , usado no cálculo do campo elétrico, era escalar, enquanto, o elemento de corrente, $i \cdot ds$, é vetorial.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i ds \sin\theta}{r^2}$$

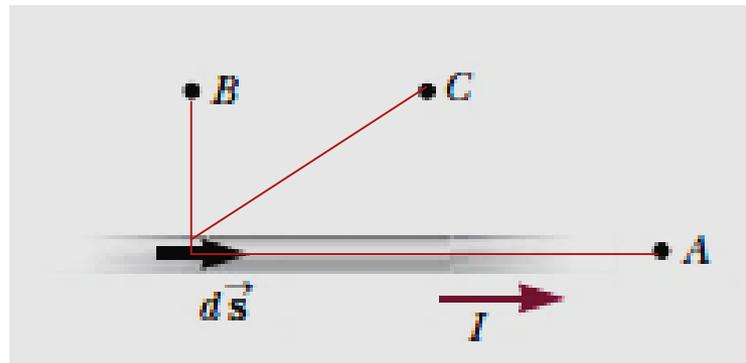
- ▶ Permeabilidade do vácuo:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \approx 1,26 \times 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m/A.}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

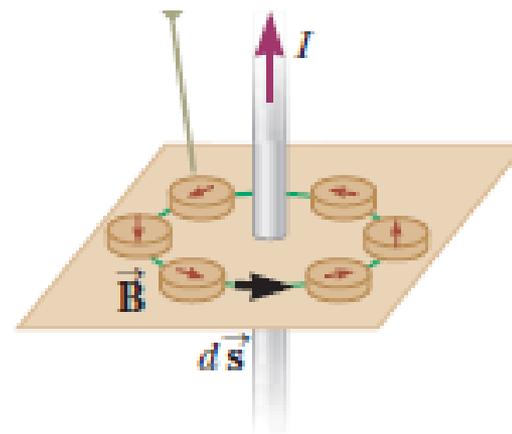
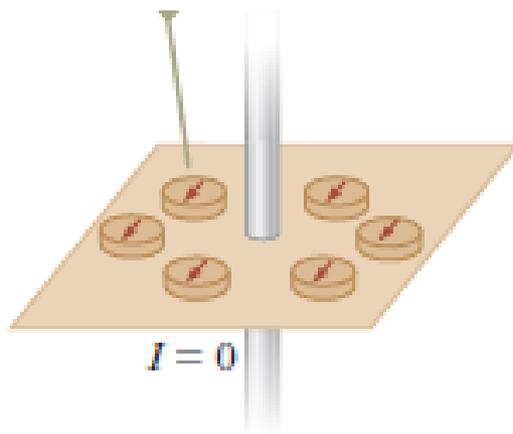
Lei de Biot-Savart

- ▶ Onde está o maior e o menor campo magnético?
Ordene A, B e C.



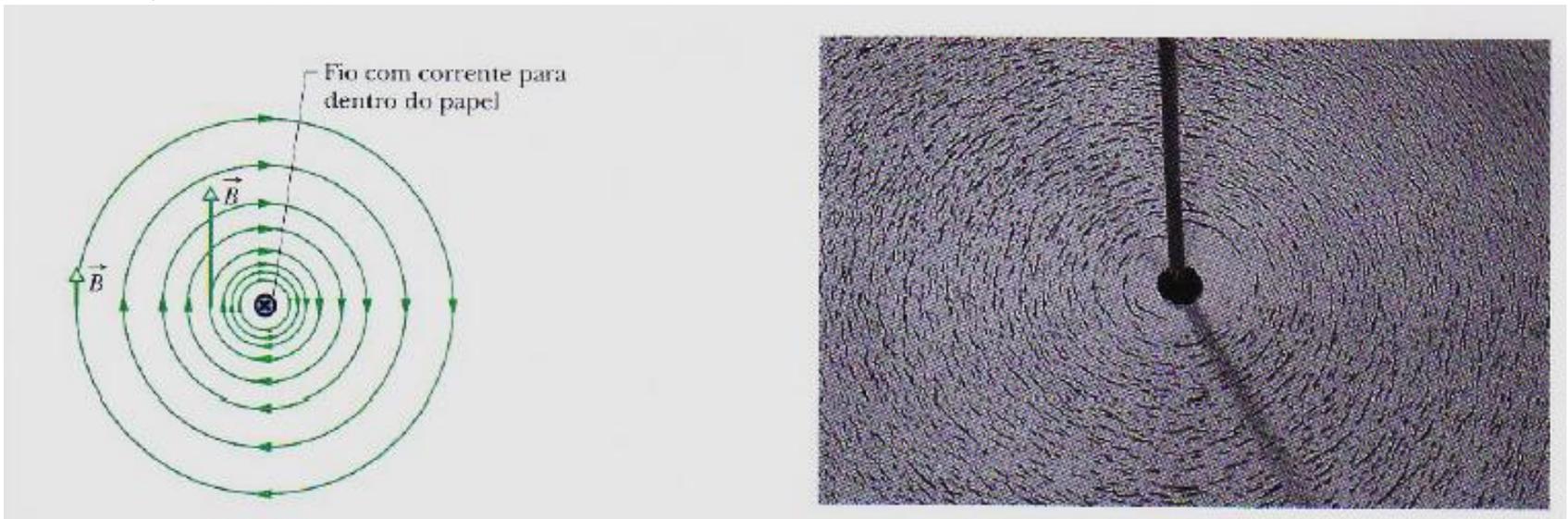
Campo Magnético/fio retilíneo

- ▶ Linhas de campo magnético produzidos por uma corrente num fio retilíneo longo.
 - ▶ Experimentalmente, as agulhas das bússolas se alinham em formato de círculo.



Campo Magnético/fio retilíneo

- ▶ Linhas de campo magnético produzidos por uma corrente num fio retilíneo longo.
 - ▶ Círculos concêntricos ao redor do fio.



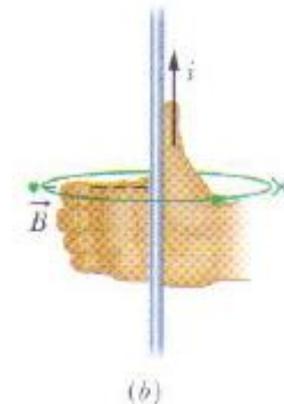
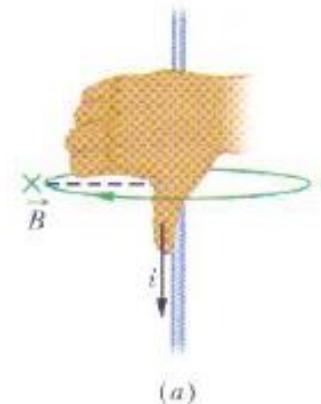
- ▶ Limalhas de ferro se alinham quando passa uma corrente no fio.

Campo Magnético/fio retilíneo

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \quad (\text{fio retilíneo longo})$$

► Regra da mão direita

- a) O campo \mathbf{B} , em qualquer ponto à esquerda do fio (dedão) aponta dentro do papel e do lado direito, para fora.
- b) O campo magnético à esquerda é para fora e à direita do fio, para dentro.

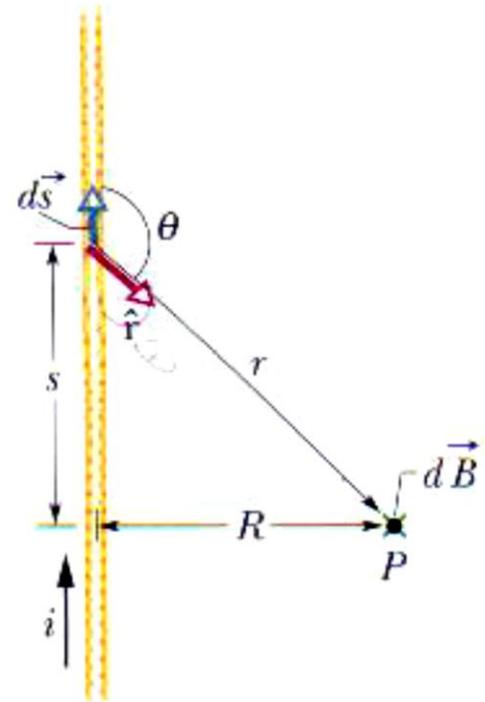


Campo Magnético/fio retilíneo semi-infinito

- ▶ O campo magnético produzido no ponto P pela metade superior ou pela metade inferior do fio é metade do valor da equação $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$

- ▶ Então:

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi R} \quad (\text{fio retilíneo semi-infinito})$$

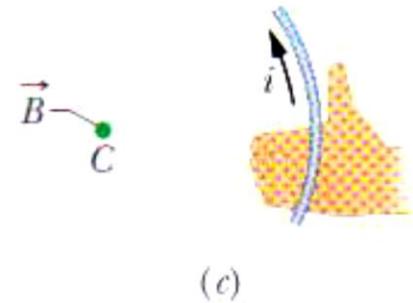
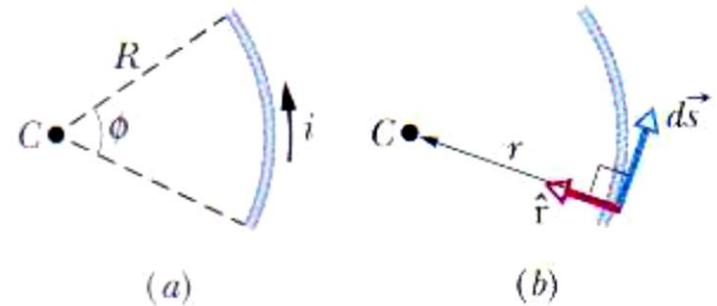


Campo Magnético/arco de circunferência

- ▶ O campo magnético produzido no ponto P, quando este ponto é no centro da curvatura é relativamente simples

$$B = \frac{\mu_0 i \phi}{4\pi R}$$

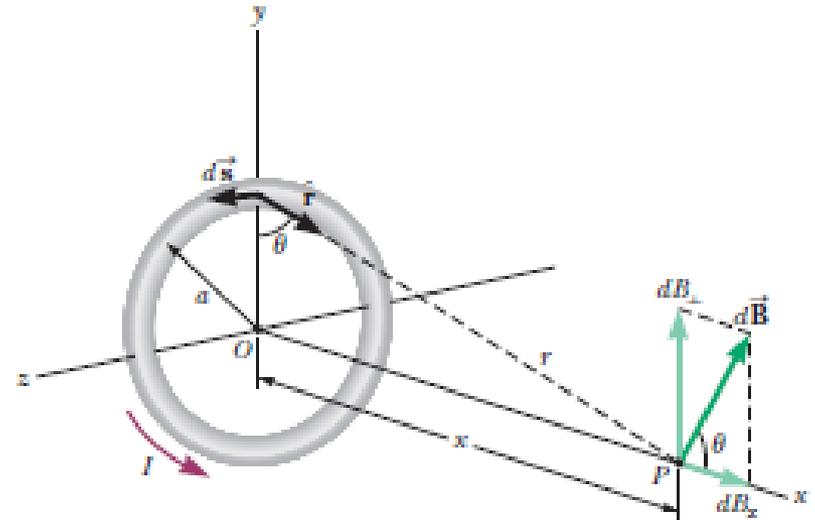
(no centro de um arco de circunferência)



Campo Magnético/arco de circunferência completa

- ▶ O campo magnético produzido no ponto P, quando este ponto é no centro da curvatura completa é dado com a substituição do ângulo ϕ por 2π .

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

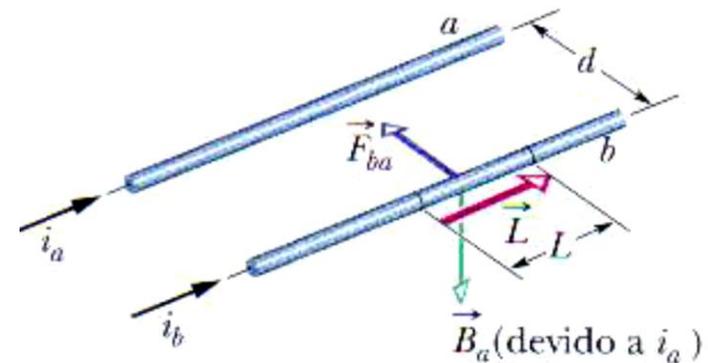


Campo Magnético/Força entre 2 condutores paralelos

Para determinar a força exercida sobre um fio percorrido por corrente por outro fio percorrido por corrente determine primeiro o campo produzido pelo segundo fio na posição do primeiro; em seguida, determine a força exercida pelo campo sobre o primeiro fio.

- ▶ O módulo do campo magnético de B_a em qualquer ponto do fio b é dado por:

$$B_a = \frac{\mu_0 i_a}{2\pi d}$$



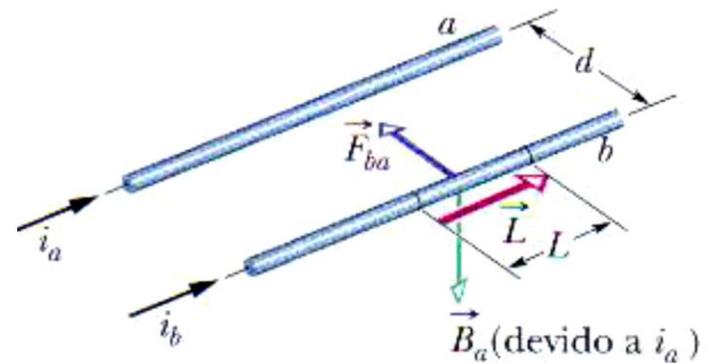
Campo Magnético/Força entre 2 condutores paralelos

- ▶ Assim, com o campo calculado, determina-se a força do condutor b em a :

$$\vec{F}_{ba} = i_b \vec{L} \times \vec{B}_a$$

- ▶ Sendo L e B perpendiculares, sen 90° , então, F_{ba} :

$$= \frac{\mu_0 L i_a i_b}{2\pi d}$$



Correntes paralelas se atraem e correntes antiparalelas se repelem.

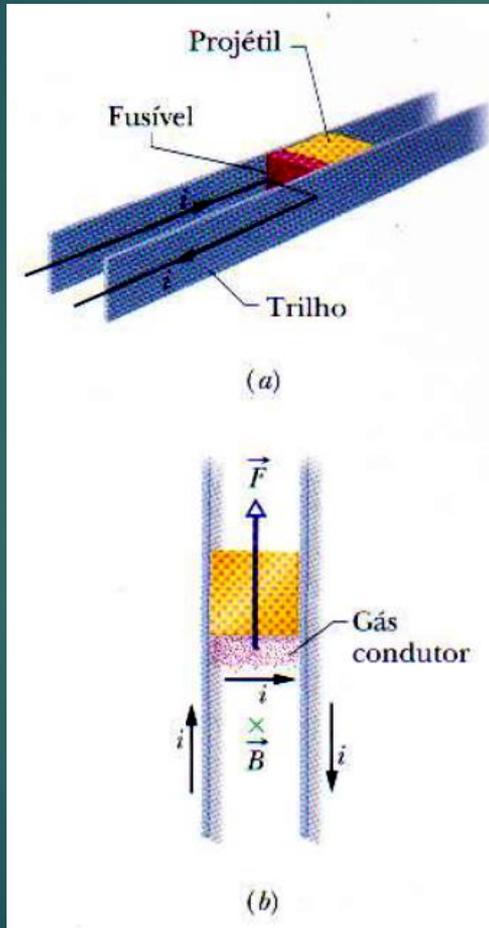
► Teste



TESTE 1 A figura mostra três fios longos, paralelos, igualmente espaçados, percorridos por correntes de mesmo valor absoluto, duas para fora do papel e uma para dentro do papel. Coloque os fios na ordem do módulo da força a que estão sujeitos devido à corrente nos outros dois fios, começando pelo maior.



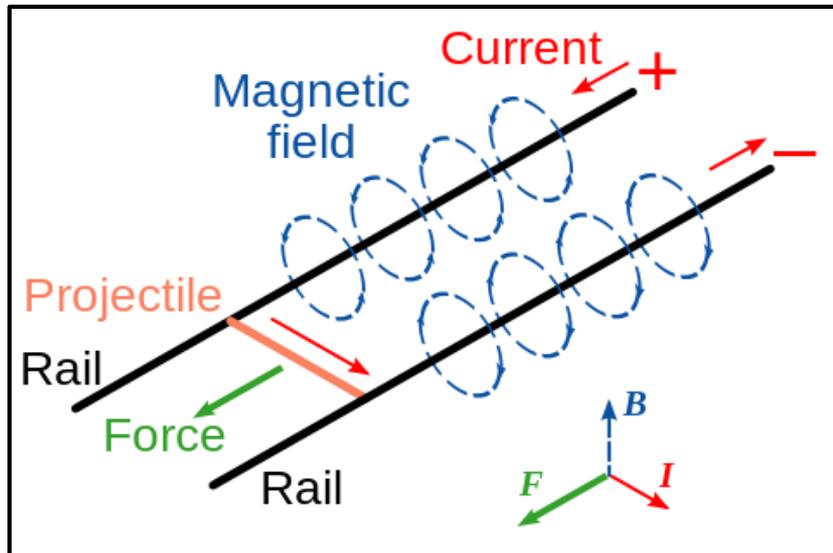
Campo Magnético/canhão eletromagnético



- Uma das aplicações da força dada pela fórmula de força entre dois condutores paralelos é o **CANHÃO ELETROMAGNÉTICO**.
- Uma força magnética acelera um projétil, fazendo-o adquirir alta velocidade em um curto período de tempo.
- É previsto que no futuro possa-se utilizar este equipamento para lançar no espaço materiais resultantes de operações na Lua ou em asteroides.

Canhão eletromagnético/ Utilizações

- ▶ Railgun – Canhão Eletromagnético
- ▶ O canhão tem dois trilhos de metal sobre os quais é colocado o projétil. O disparo ocorre por meio da passagem de uma forte corrente elétrica pelos trilhos. Não é utilizada pólvora ou qualquer outra propulsão química.



Campo Magnético/Atividade Cerebral

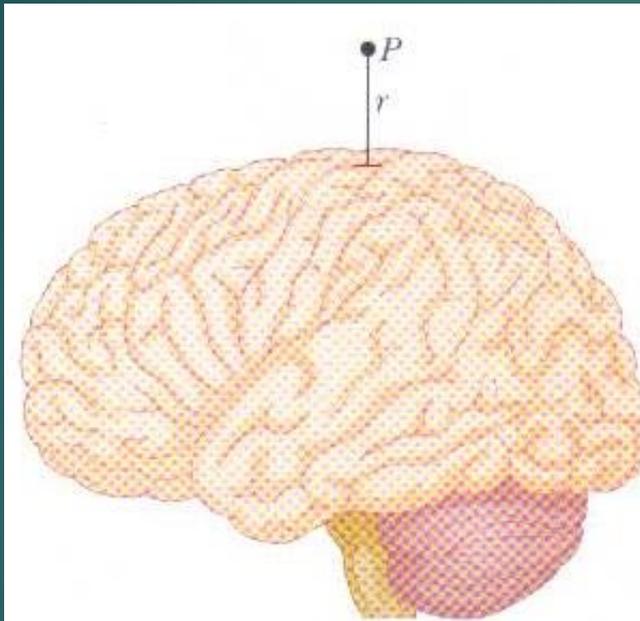


FIG. 29-7 Um pulso na parede de uma fissura na superfície do cérebro produz um campo magnético no ponto P situado a uma distância r .

- Um novo método para estudar o funcionamento dos cérebros é a *magnetencefalografia* (*MEG*) onde é possível verificar os pulsos elétricos enviados ao longo dos circuitos nervosos, de acordo com uma atividade exercida pelo ser humano.
- Esses pulsos, geram campo magnético. Mas esse campo é extremamente baixo.
- O instrumento utilizado para isto é o *SQUID*, que mede campos menores do que 1pT .

Lei de Ampère

▶ Ampère (definição):

uma das sete unidades básicas do SI. A definição, adotada em 1946, é a seguinte: “O ampère é a corrente constante que, quando mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito e seção reta desprezível, separados por 1 m de distância no vácuo, produz em cada um uma força de módulo 2×10^{-7} newtons por metro de comprimento dos fios”.

Lei de Ampère

- ▶ **Ampère**
- ▶ Apesar de receber o nome de André-Marie Ampère, a lei foi proposta por James Clerk Maxwell (1831-1979).
- ▶ Halliday



André-Marie Ampère
French Physicist (1775–1836)

Lei de Ampère

- ▶ É possível calcular o \mathbf{B} total a qualquer distribuição de correntes, se existir simetria (planar, esférica ou cilíndrica).

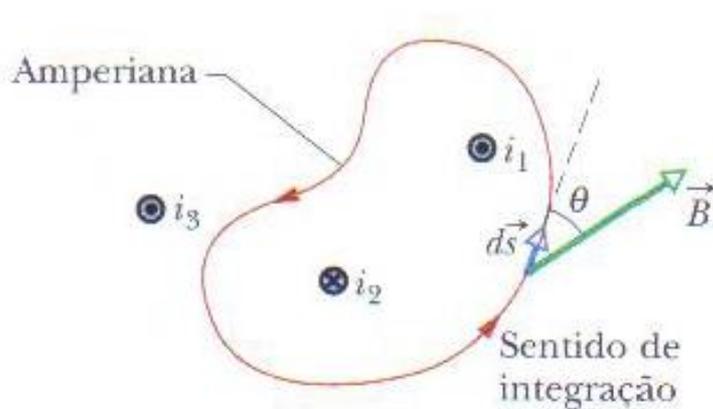


FIG. 29-12 Aplicação da lei de Ampère a uma amperiana arbitrária que envolve dois fios retilíneos longos, mas não um terceiro. Observe o sentido das correntes.



FIG. 29-13 Uso da regra da mão direita da lei de Ampère para determinar os sinais das correntes envolvidas por uma amperiana. A situação é a da Fig. 29-12.

Lei de Ampère

- ▶ “ A integral de linha de $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ em torno de qualquer caminho fechado é igual a $\mu_0 \cdot i$, onde i é a corrente constante total passando através de qualquer superfície delimitada pelo caminho fechado.”

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{\text{env}} \quad (\text{lei de Ampère})$$

Lei de Ampère

► Teste

Quick Quiz 30.3 Rank the magnitudes of $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ for the closed paths *a* through *d* in Figure 30.11 from greatest to least.

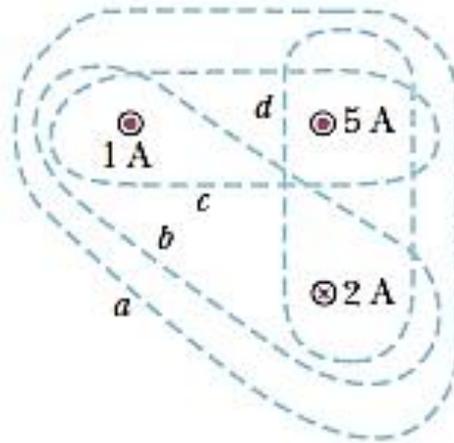


Figure 30.11 (Quick Quiz 30.3)
Four closed paths around three current-carrying wires.

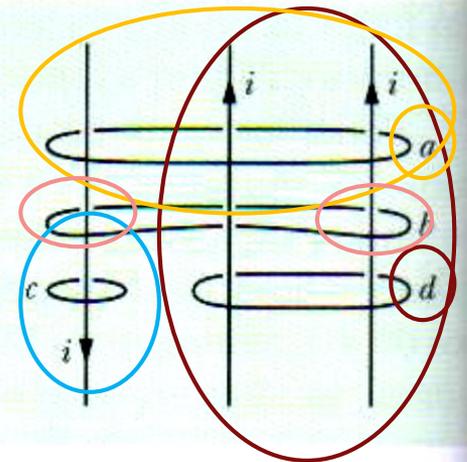
$$c > a > d > b$$

Lei de Ampère

► Teste



TESTE 2 A figura mostra três correntes de mesmo valor absoluto i (duas paralelas e uma antiparalela) e quatro amperianas. Coloque as amperianas em ordem de acordo com o valor absoluto de $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$, começando pelo maior.



$$d > a = c > b$$

Lei de Ampère

► Teste

Quick Quiz 30.4 Rank the magnitudes of $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ for the closed paths *a* through *d* in Figure 30.12 from greatest to least.

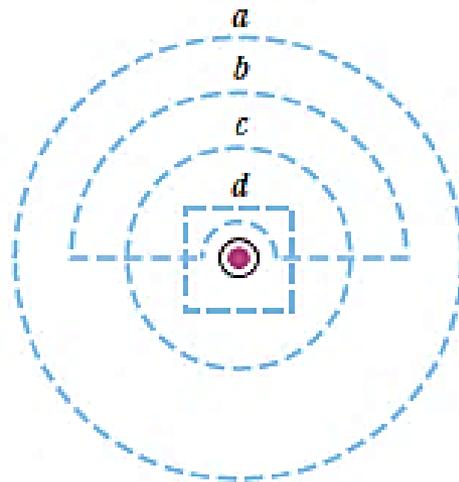
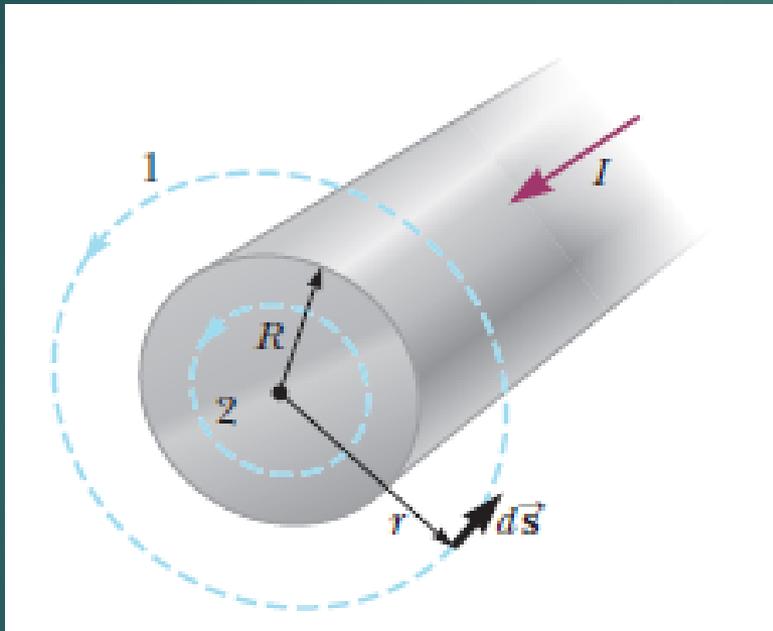


Figure 30.12 (Quick Quiz 30.4)
Several closed paths near a single current-carrying wire.

$$a=c=d>b=0$$

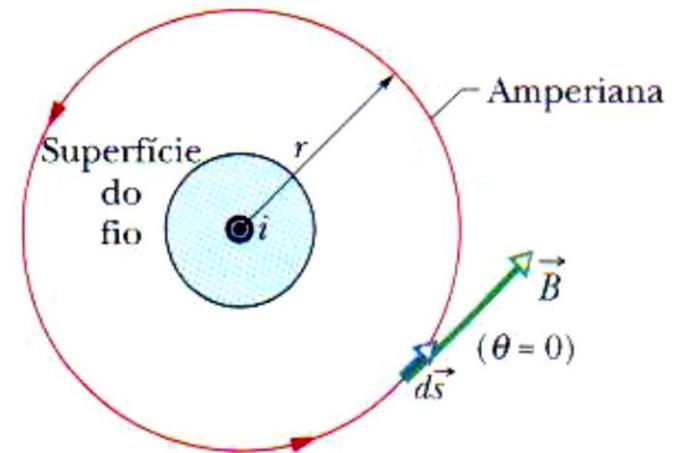
Campo Magnético/fio longo retilíneo

Circunferência 1



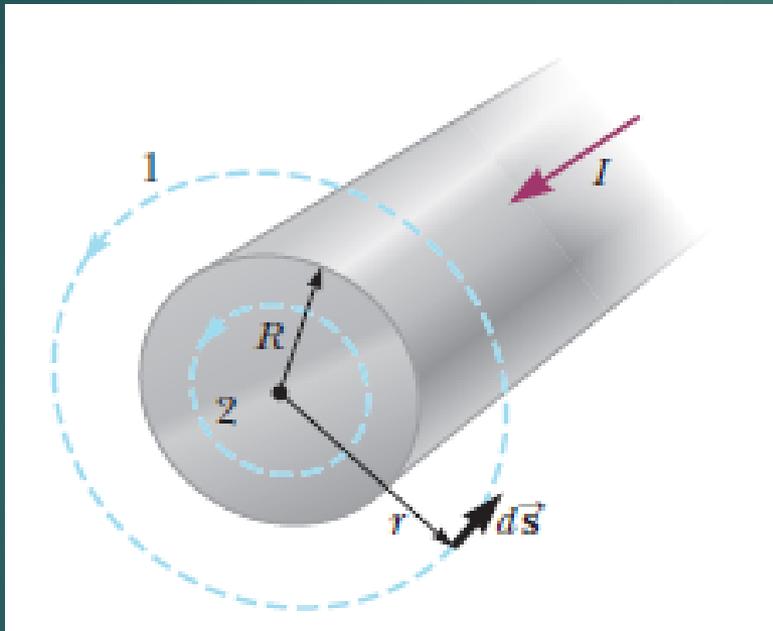
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = B \oint ds = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{for } r \geq R)$$



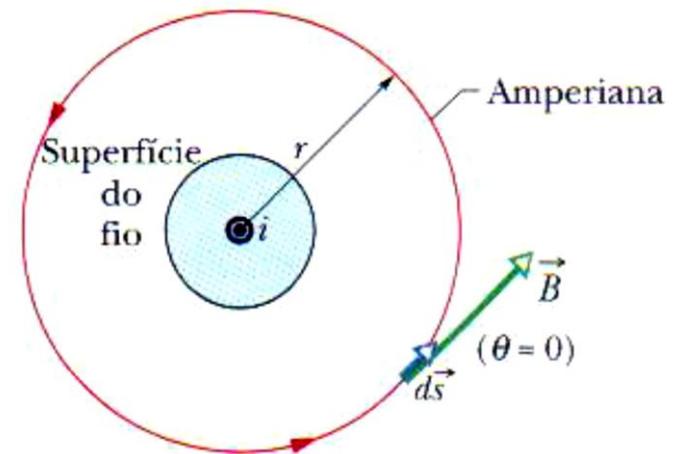
Campo Magnético/fio longo retilíneo

Circunferência 2



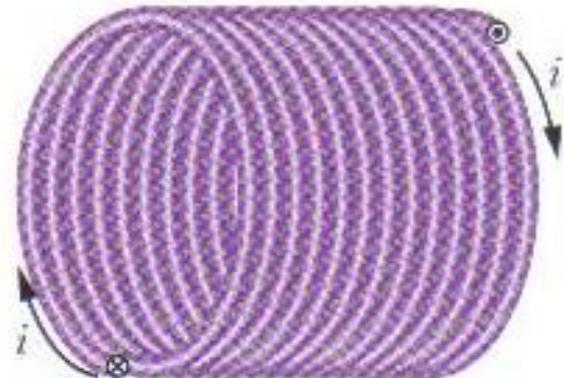
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B(2\pi r) = \mu_0 I' = \mu_0 \left(\frac{r^2}{R^2} I \right)$$

$$B = \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} \right) r \quad (\text{for } r < R)$$



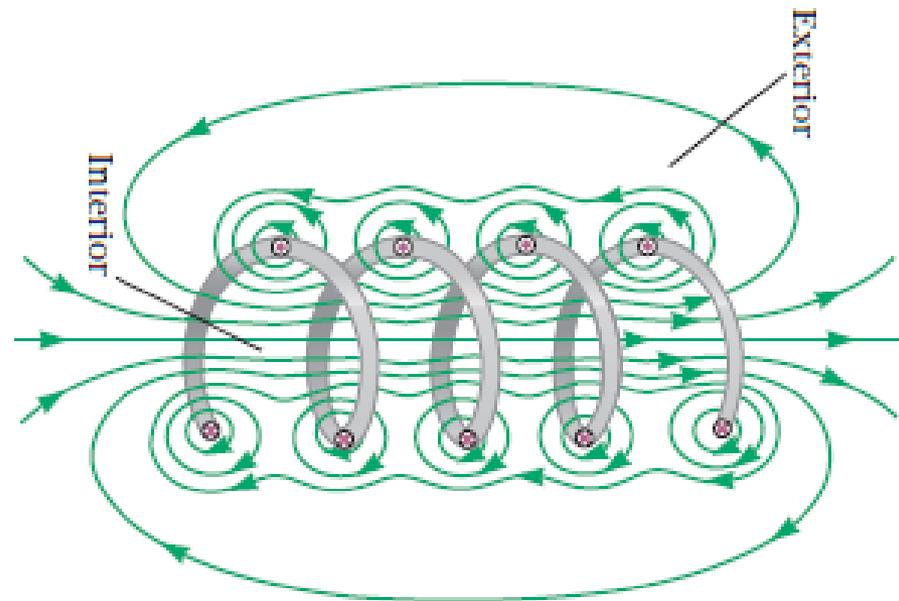
Campo Magnético/Solenóide

CAMPO MAGNÉTICO
PRODUZIDO POR UMA
CORRENTE NUMA BOBINA
HELICOIDAL FORMADA POR
ESPIRAS CIRCULARES.



Campo Magnético/Solenóide

EM PONTOS MUITOS PRÓXIMOS DE UMA ESPIRA O FIO SE COMPORTA MAGNETICAMENTE QUASE COMO UM FIO RETILÍNEO.



$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I \quad (\text{solenoid})$$

Campo Magnético/Solenóide

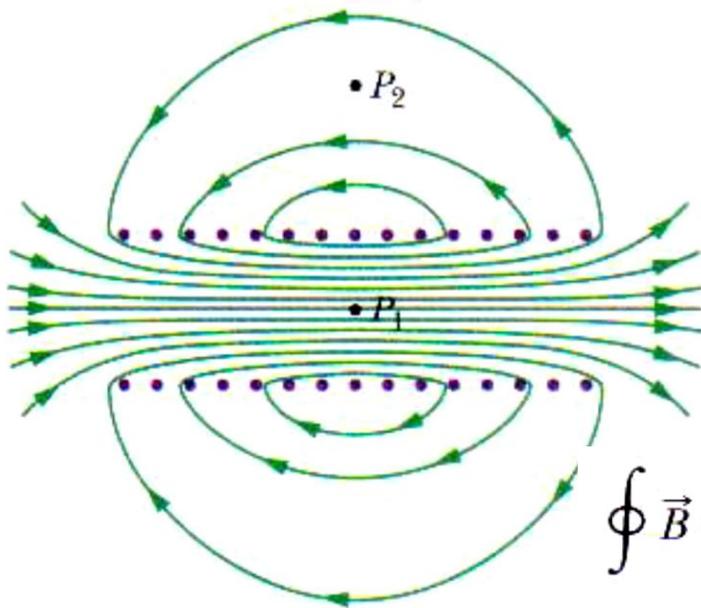


FIG. 29-19 Linhas de campo magnético em um solenóide real. O campo é intenso e uniforme em pontos do interior do solenóide, como P_1 , e muito mais fraco em pontos do lado de fora do solenóide, como P_2 .

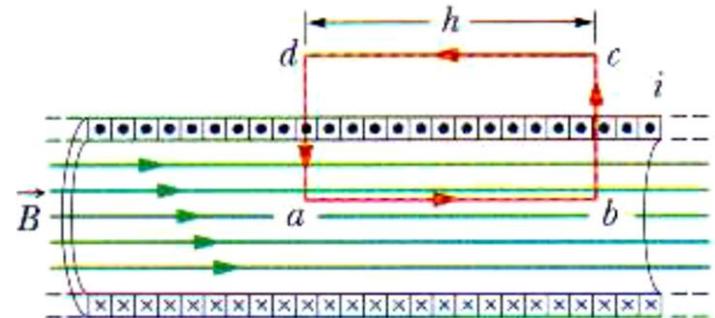


FIG. 29-20 Aplicação da lei de Ampère a um solenóide ideal percorrido por uma corrente i . A amperiana é o retângulo $abcd$.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{s}.$$

$$B = \mu_0 i n \quad (\text{solenóide ideal})$$

n =número de espiras

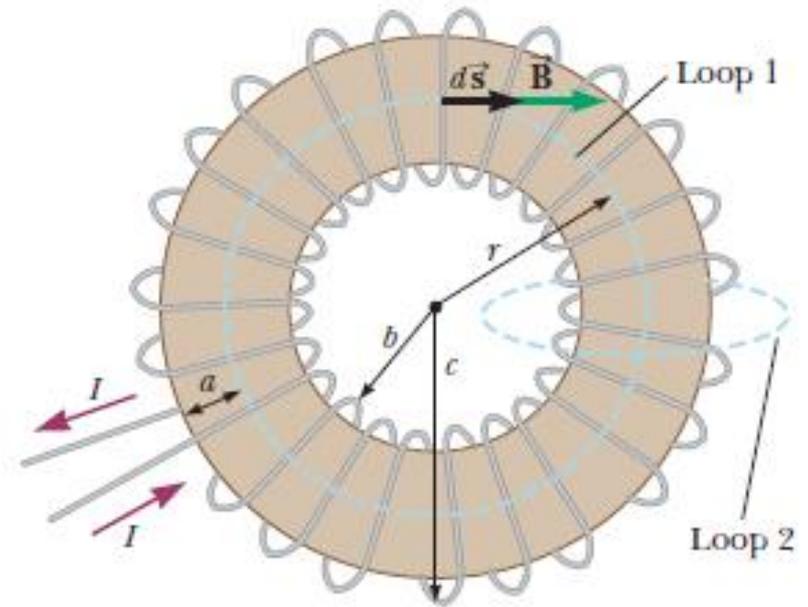
Campo Magnético/Toróide

É CONSIDERADA UMA
SOLENOIDE CILÍNDRICA,
QUE FOI ENCURVADA ATÉ
SUAS EXTREMIDADES SE
TOCAREM FORMANDO UM
ANEL.



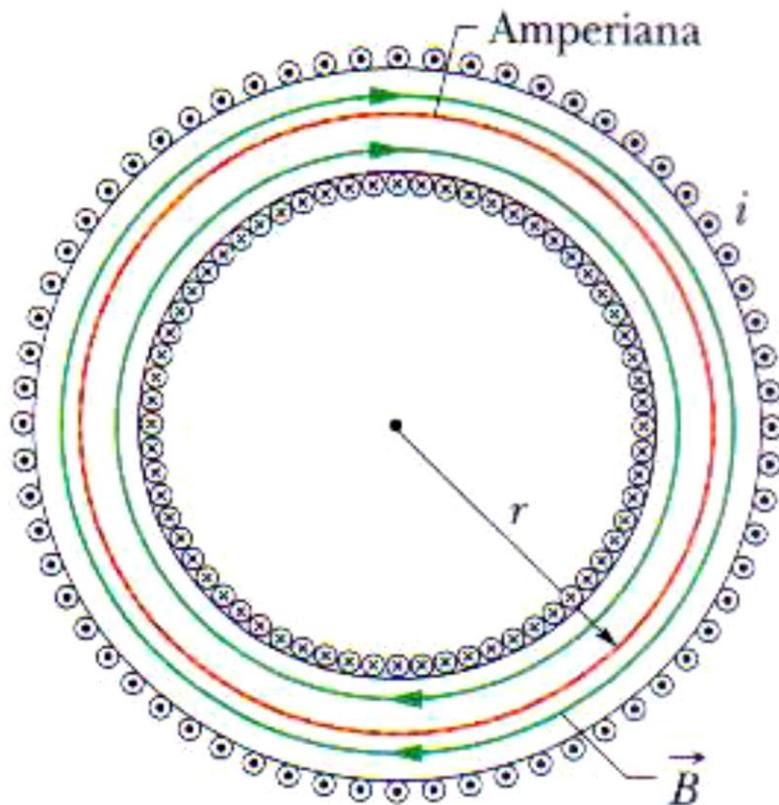
Campo Magnético/Toróide

POR SIMETRIA AS LINHAS DE B FORMAM CIRCUNFERÊNCIAS CONCÊNTRICAS NO INTERIOR DA TORÓIDE.



$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (\text{toroid})$$

Campo Magnético/Toróide

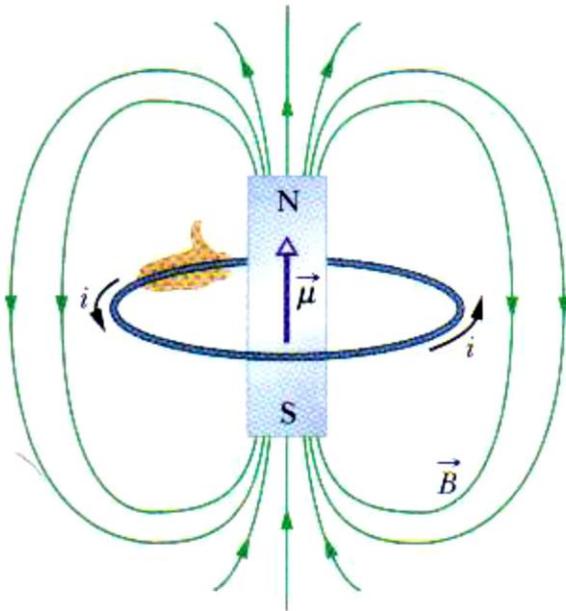


$$(B)(2\pi r) = \mu_0 i N,$$

$$B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi r} \quad (\text{toróide})$$

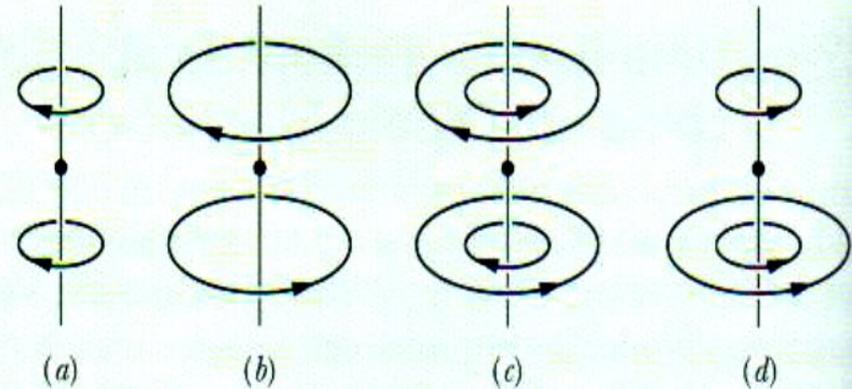
EXERCÍCIO QUADRO*

Campo Magnético/dipolo magnético



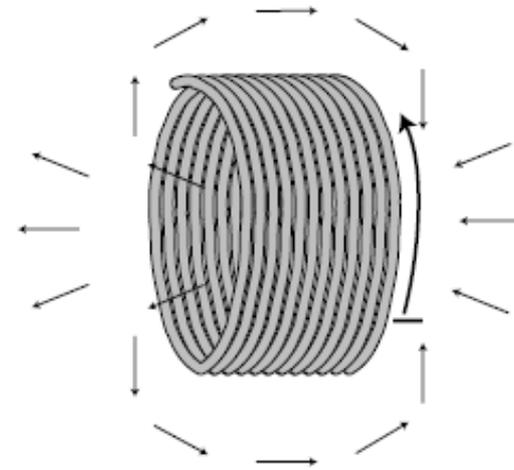
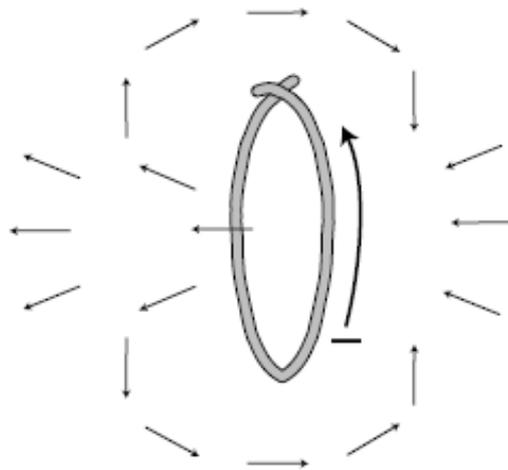
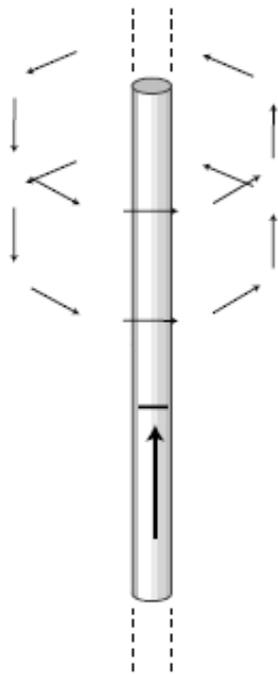
$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\vec{\mu}}{z^3} \quad (\text{bobina percorrida por corrente})$$

TESTE 3 A figura mostra quatro pares de espiras circulares de raio r ou $2r$, com o centro em eixos verticais (perpendiculares ao plano das espiras) e percorridas por correntes de mesmo valor absoluto, nos sentidos indicados. Coloque os pares na ordem do módulo do campo magnético em um ponto sobre o eixo central a meio caminho entre os anéis, começando pelo maior.



$$d > a > (c \text{ e } b = 0)$$

Campo magnético devido a corrente fio/anel/solenóide



Referências Bibliográficas

- ▶ HALLIDAY, Resnick. Física 3. 4ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 1996.
- ▶ TIPLER, Paul. Física Volume 2. 5ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2006.
- ▶ SEARS E ZEMANSKY, Física 3. São Paulo. Addison Wesley, 2003, v3.
- ▶ HALLIDAY, Resnick. Física 3. 8ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2009.
- ▶ CROWELL, Benjamin. Electricity and Magnetism. California, USA. Ed. Light and Matter, 2002.
- ▶ SERWAY, R.A.& JEWETT, J.W. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. 8ª edição. Ed Brooks/Cole Cengage, 2010.
- ▶ ULABY, Fawwaz T. Eletromagnetismo para engenheiros. Porto Alegre/RS. Editora Bookman, 2007. (original da Universidade de Michigan).