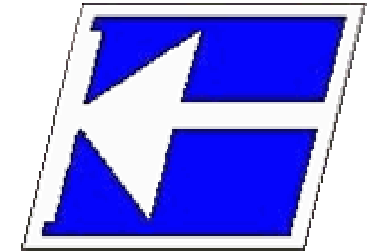


**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina**

**Departamento de Eletrônica**

**Retificadores**

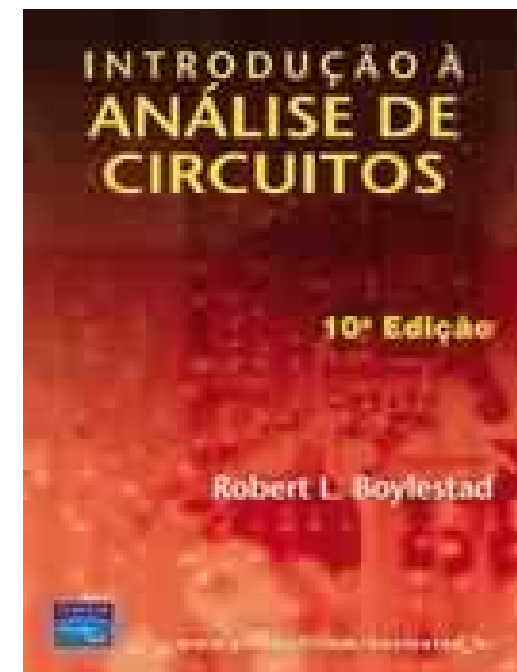


# **Fontes e cálculo de campos magnéticos**

**Clóvis Antônio Petry, professor.**

**Florianópolis, março de 2007.**

# Bibliografia para esta aula



## Nesta aula

---

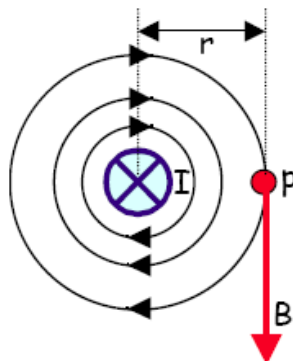
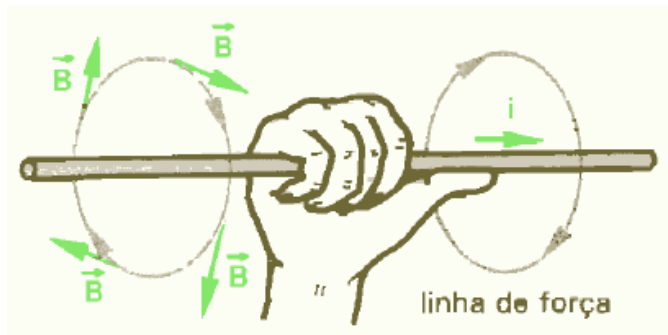
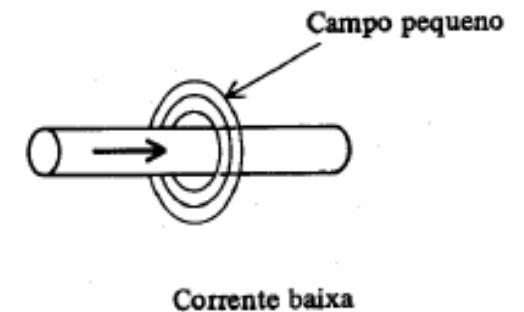
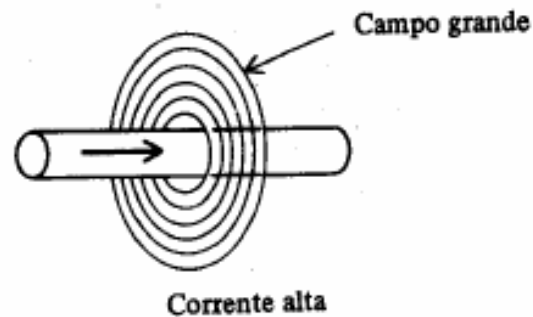
### **Seqüência de conteúdos:**

1. Fontes do campo magnético;
2. Campo em torno de um condutor retilíneo;
3. Campo em torno de uma espira circular;
4. Campo magnético no centro de uma bobina longa;
5. Campo magnético gerado por um toróide;
6. Exercícios.

# Campo magnético no condutor retilíneo

Campo magnético gerado em torno de um condutor retilíneo:

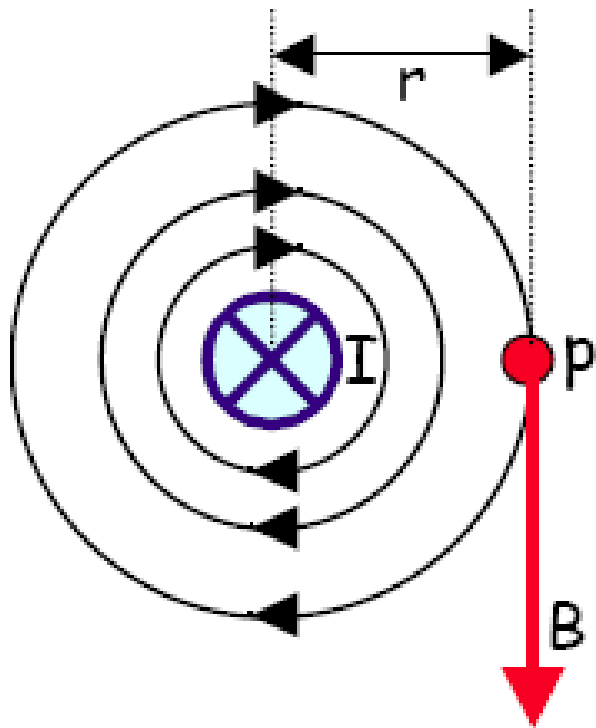
Dependência entre campo e intensidade da corrente.



Vetor densidade de campo magnético ( $B$ ) é sempre tangente às linhas de campo.

# Campo magnético no condutor retilíneo

Campo magnético no ponto P:



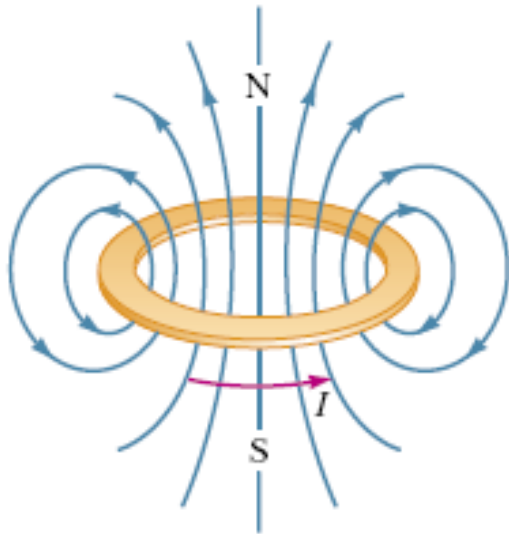
$$B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

B [T] depende de:

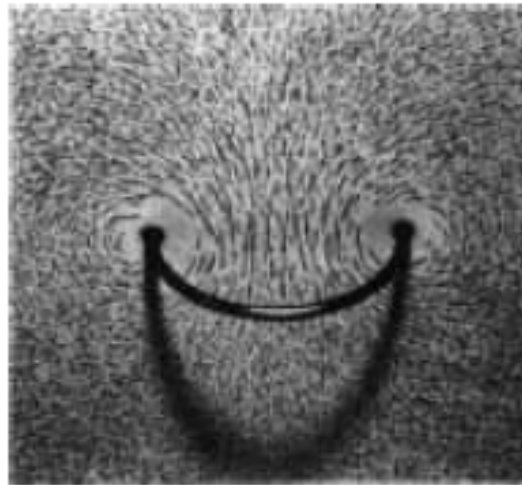
- Permeabilidade do meio =  $\mu$  [Tm/A];
- Corrente = I [A];
- Distância do ponto P do condutor = r [m].

Dedução da expressão acima ...

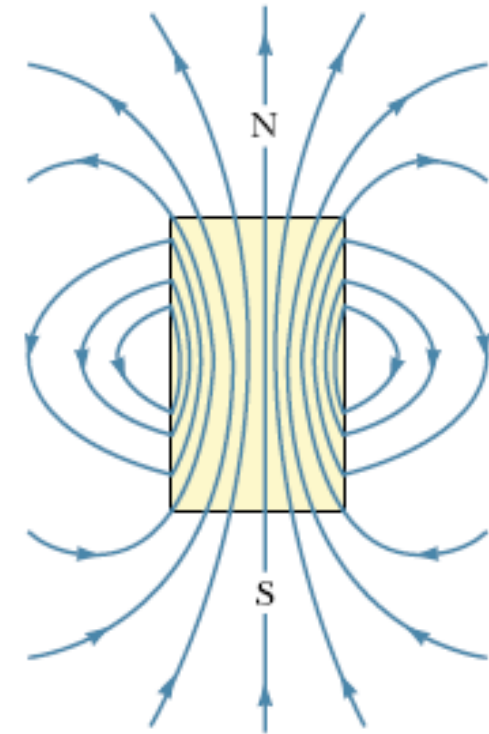
# Campo magnético na espira circular



Linhas de campo  
ao redor de uma  
espira de corrente.

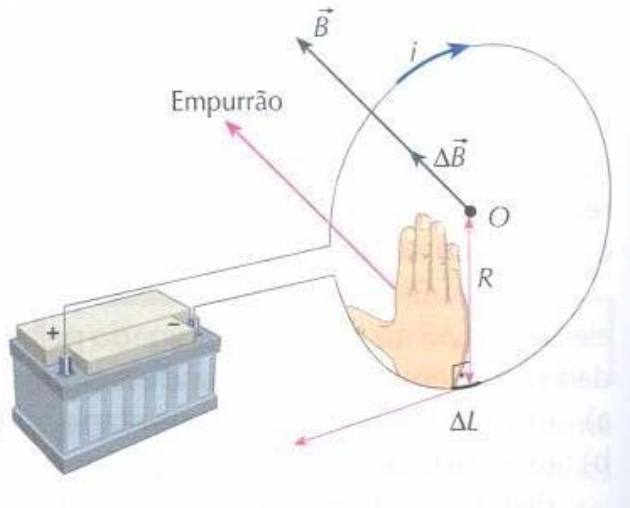


Linhas de campo  
ao redor de uma  
espira de corrente,  
observadas com ajuda  
de limalha de ferro.

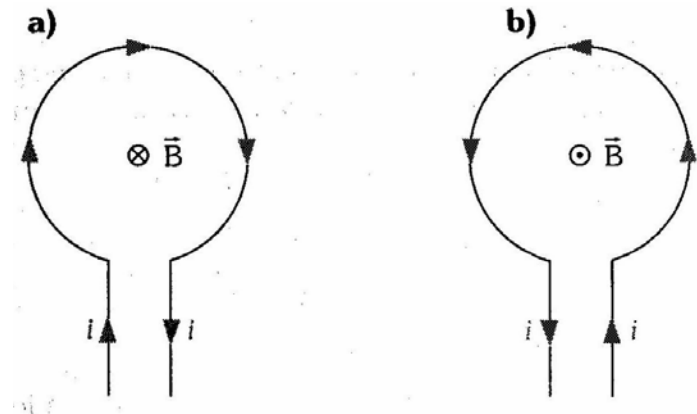


Linhas de campo  
ao redor de uma  
barra de ferro.

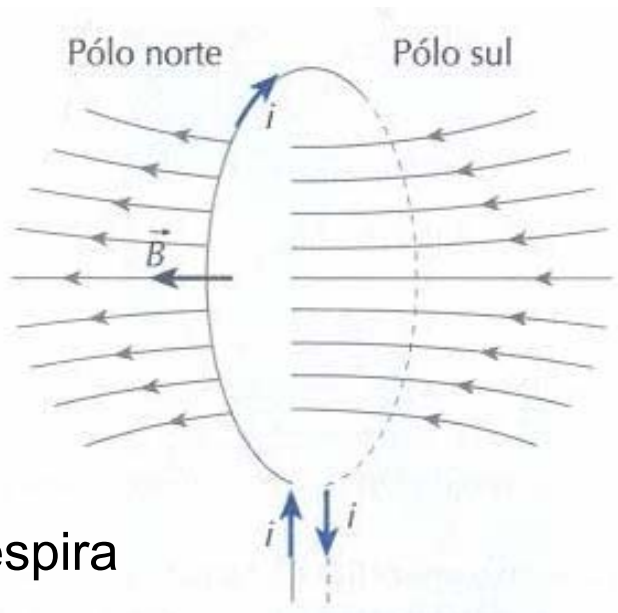
# Campo magnético na espira circular



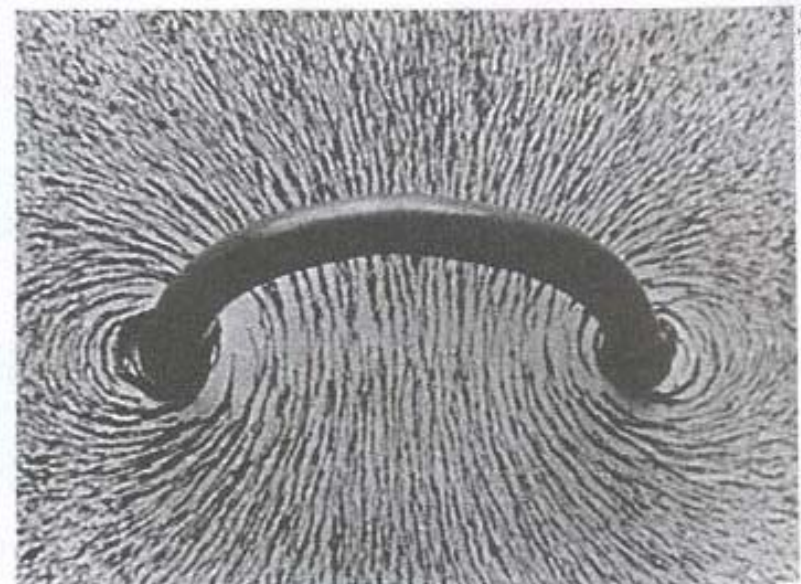
Circuito elétrico



Representação

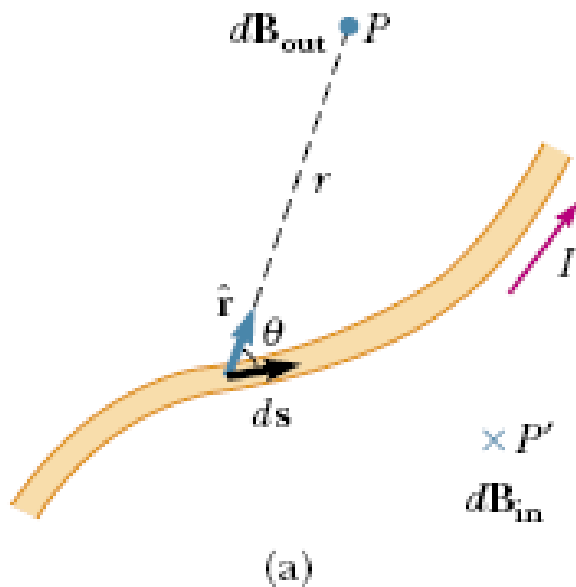


Campo na espira



# Campo magnético na espira circular

Reescrevendo a expressão de Biot-Savart:



Lembrar que:

$$|\mathbf{v} \times \mathbf{w}| = |\mathbf{v}| \cdot |\mathbf{w}| \cdot \text{sen}(\theta)$$

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

$$ds \times \hat{\mathbf{r}} = ds \cdot \text{sen}(\theta)$$

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot ds \cdot \text{sen}(\theta)}{r^2}$$

# Campo magnético na espira circular

Usando a lei de Biot-Savart:

$$\Delta B = \frac{\mu_o \cdot I \cdot \Delta L \cdot \text{sen}(\alpha)}{4\pi \cdot r^2}$$



$$\alpha = 90^\circ$$

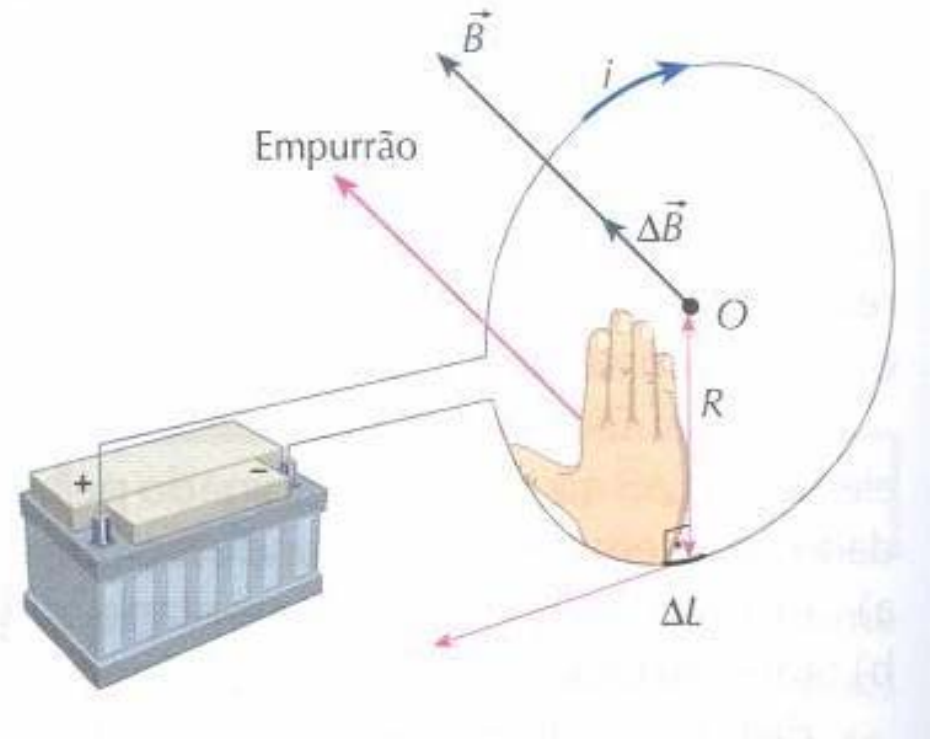


$$\Delta B = \frac{\mu_o \cdot I \cdot \Delta L}{4\pi \cdot R^2}$$



$$B = \frac{\mu_o \cdot I \cdot \sum \Delta L}{4\pi \cdot R^2} \rightarrow \sum \Delta L = 2\pi \cdot R \rightarrow$$

$$B = \frac{\mu_o}{2} \frac{I}{R}$$



# Campo magnético na espira circular

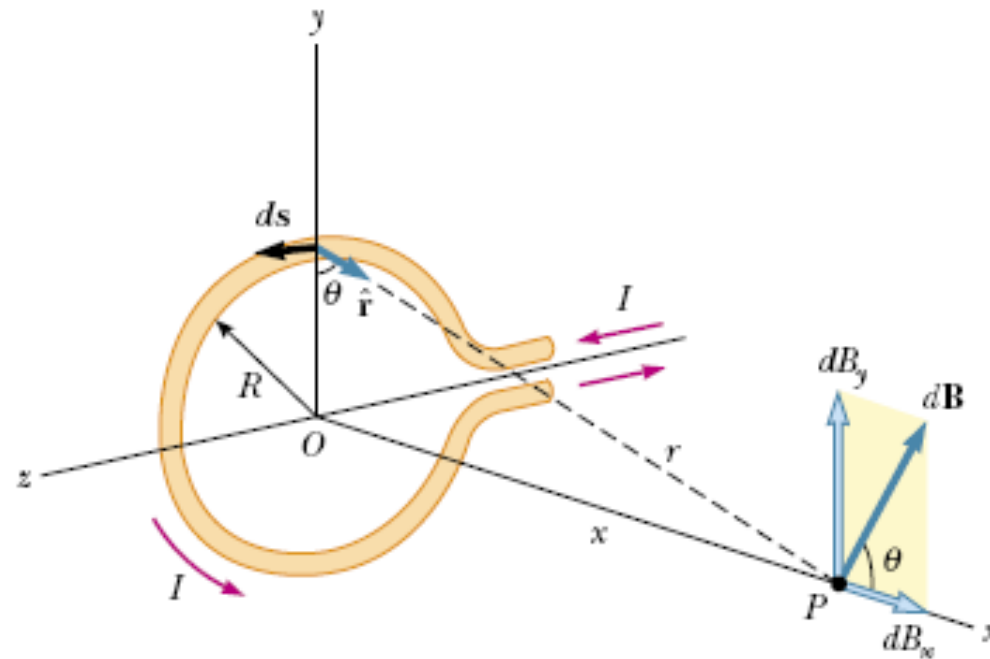
$$B = \frac{\mu_0 I}{2 R}$$

B [T] depende de:

- Permeabilidade do meio =  $\mu$  [Tm/A];
- Corrente = I [A];
- Raio da espira = R [m].

# Campo magnético na espira circular

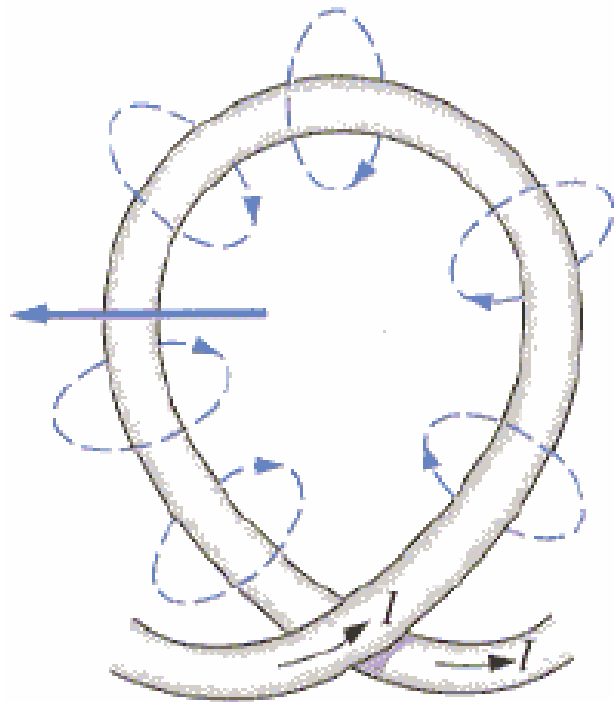
Se o ponto P estiver afastado do centro da espira:



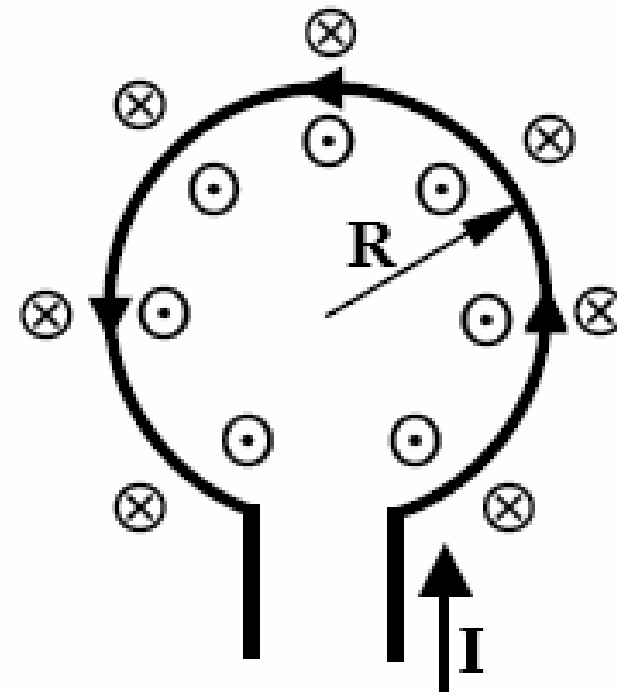
Demonstre que o campo no ponto P é dado por:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I \cdot R^2}{x^3}$$

# Campo magnético na espira circular



Concentração de linhas de campo no interior da espira.



Representação das linhas de campo geradas pela espira.

# Lei de Ampère

## Lei de Ampère:

- Aplicação da lei de Biot-Savart na presença de simetrias;
- Integral fechada ao longo de um laço (uma curva fechada).

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint B \cdot \cos(\theta) \cdot ds = \mu_o \cdot i_{env}$$

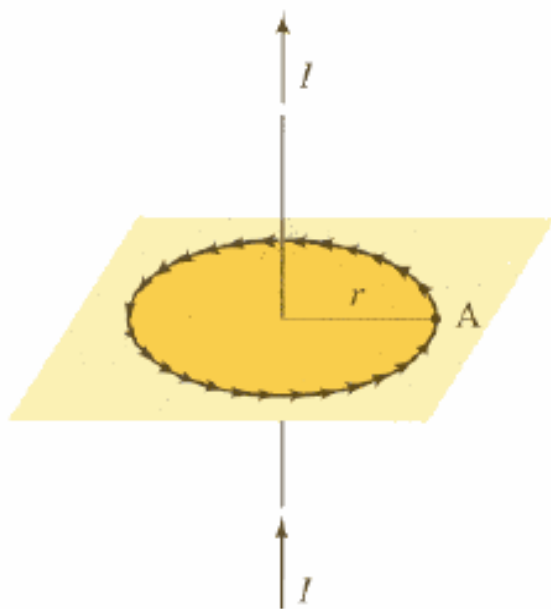
Onde:

- B é a densidade de campo [T];
- ds ou dl vetor comprimento infinitesimal [m];
- $i_{env}$  é a corrente envolvida pela linha de campo [A].

# Lei de Ampère

## Exemplo de aplicação da Lei de Ampère:

Campo ao redor de um condutor retilíneo

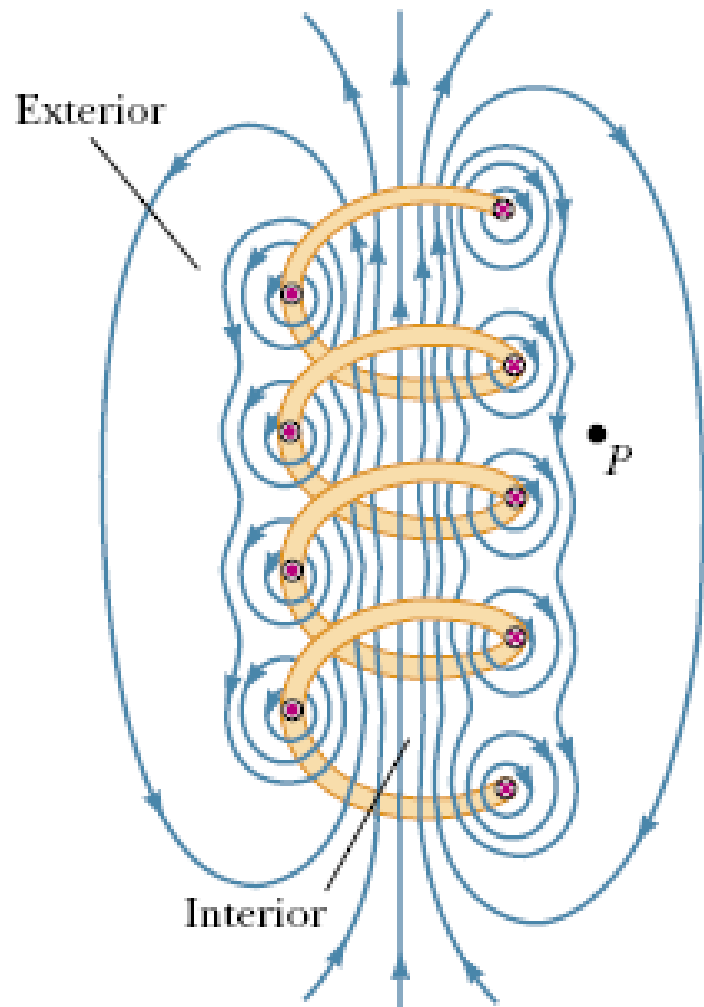


$$\mu_o \cdot I = \oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = B \cdot (2\pi \cdot r)$$

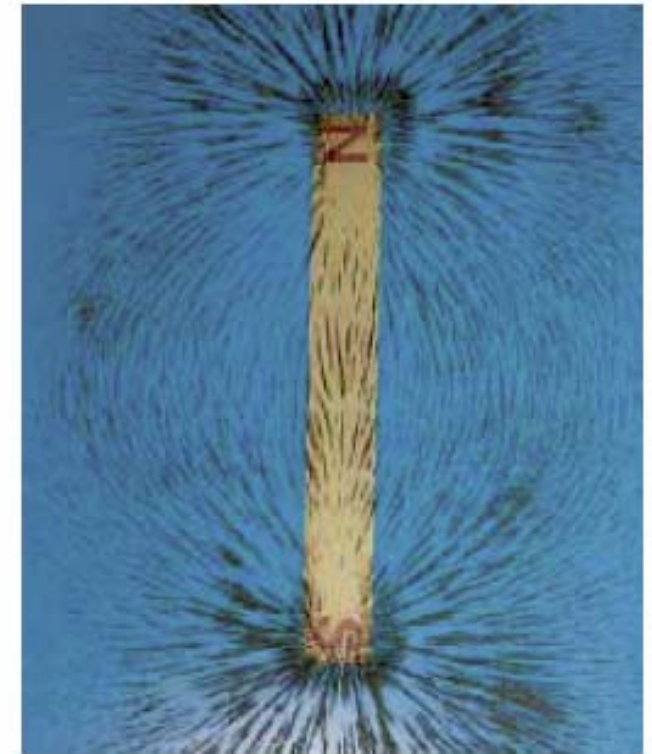
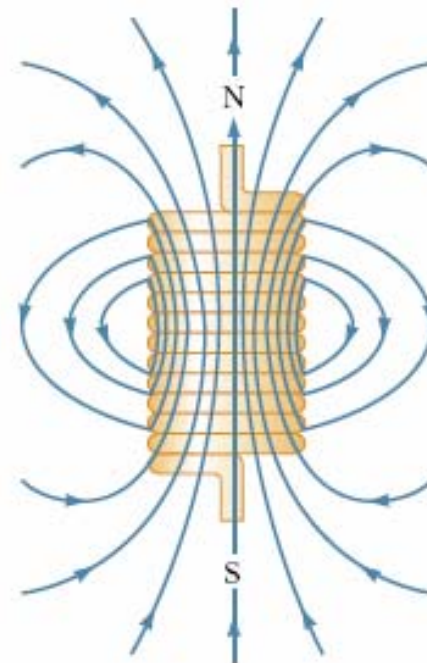
$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

# Campo magnético no centro de uma bobina longa

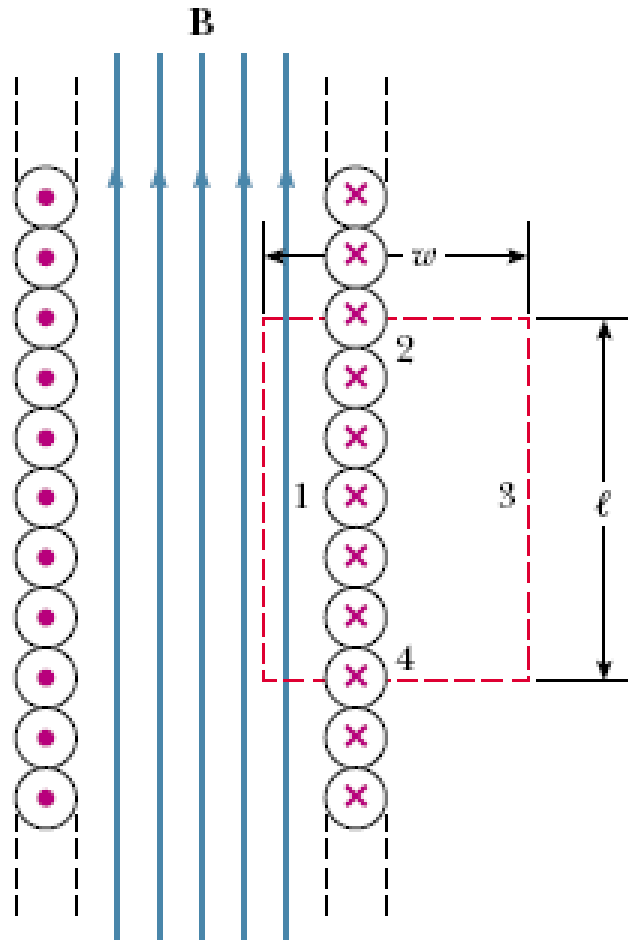


Campo magnético em uma bobina longa (solenóide).



Semelhança entre as linhas de campo de um solenóide e um ímã do tipo barra.

# Campo magnético no centro de uma bobina longa



Corte de uma bobina longa, considerando o campo no interior uniforme e no exterior nulo.

Aplicando a Lei de Ampère:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \cdot I_{env}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int B \cdot dl = B \cdot \int dl = B \cdot l$$

$$\mu_o \cdot I_{env} = \mu_o \cdot N \cdot I$$

$$B \cdot l = \mu_o \cdot N \cdot I$$

$$B = \frac{\mu_o NI}{l}$$

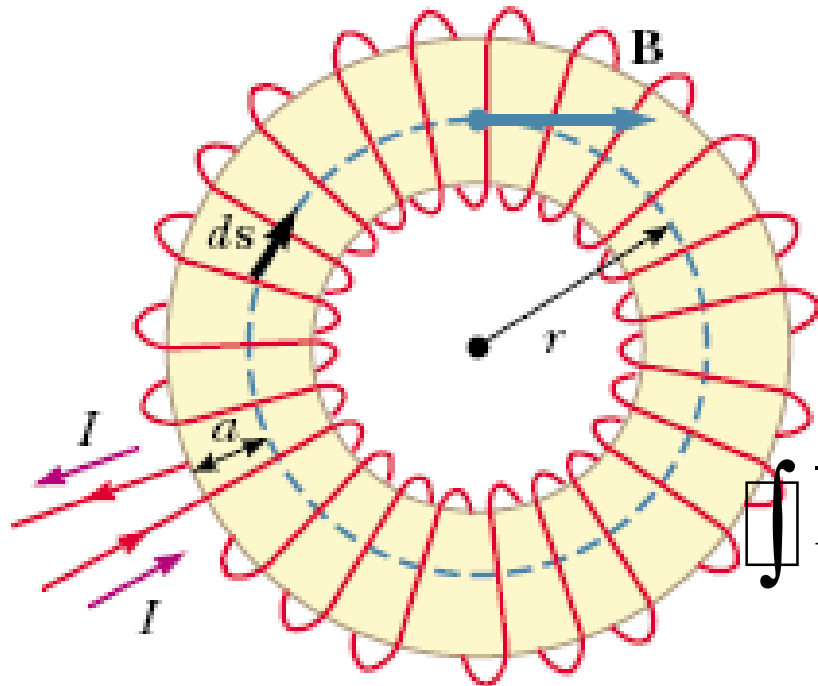
# Campo magnético no centro de uma bobina longa

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

Onde:

- B = densidade de campo magnético [T];
- $\mu_0$  = permeabilidade do meio [TA/m];
- N = número de espiras da bobina [espiras];
- I = intensidade da corrente [A];
- l = comprimento longitudinal da bobina [m].

# Campo magnético de um toróide



Aplicando a Lei de Ampère:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \cdot I_{env}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int B \cdot ds = B \cdot \int ds = B \cdot (2\pi \cdot r)$$

$$\mu_o \cdot I_{env} = \mu_o \cdot N \cdot I$$

$$B \cdot 2\pi \cdot r = \mu_o \cdot N \cdot I$$

$$B = \frac{\mu_o N I}{2\pi \cdot r}$$

# Exercícios

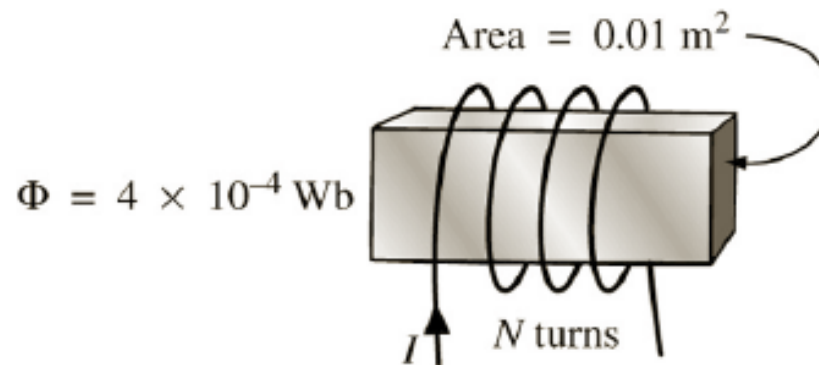
- P1) O que é campo magnético? Como pode ser representado? Quais as características dessa representação?
- P2) Qual a explicação para a origem dos fenômenos magnéticos?
- P3) Os pólos de um ímã podem ser separados? Porquê? O que é um ímã elementar?
- P4) Como se explica a imantação de um material? O que são domínios magnéticos?
- P5) Como as substâncias se classificam quanto às propriedades magnéticas? Cite exemplos.
- P6) O que é campo magnético uniforme? Quais suas características?
- P7) Quais afirmativas são verdadeiras:
- I - Uma partícula eletrizada pode gerar isoladamente um campo elétrico ou um campo magnético, conforme esteja em repouso ou em movimento, respectivamente;
  - II - Uma agulha imantada é colocada numa região de um campo magnético. Ela se orienta na direção do campo, estando seu pólo norte no sentido do campo.
  - III - As linhas de indução de um ímã têm origem no pólo norte e terminam no pólo sul.
  - IV - Uma bússola é colocada em paralelo com um condutor. Estabelecida a corrente no condutor, a bússola se move e estaciona em uma posição que se afasta tanto mais da posição inicial quanto mais intensa for a corrente.
  - V - A corrente elétrica produzida por um campo magnético variável é denominada corrente induzida.
  - VI - Dois condutores percorridos por correntes elétricas de mesmo sentido se repelem.
- P8) Explique como Oersted descobriu o eletromagnetismo. Qual o seu princípio básico?
- P9) Quais os três fenômenos eletro-magnéticos? Explique-os e cite exemplos de aplicações práticas.
- P10) O que é permeabilidade e relutância magnéticas?
- P11) Por que a forma como o condutor está disposto influi na intensidade do campo eletromagnético? Em que caso é mais intenso?

# Exercícios

P20) Calcular o campo magnético no centro de um solenóide de 10 cm de comprimento, com 600 espiras e percorrido por uma corrente de 2 A ? *R: 12000Ae/m*

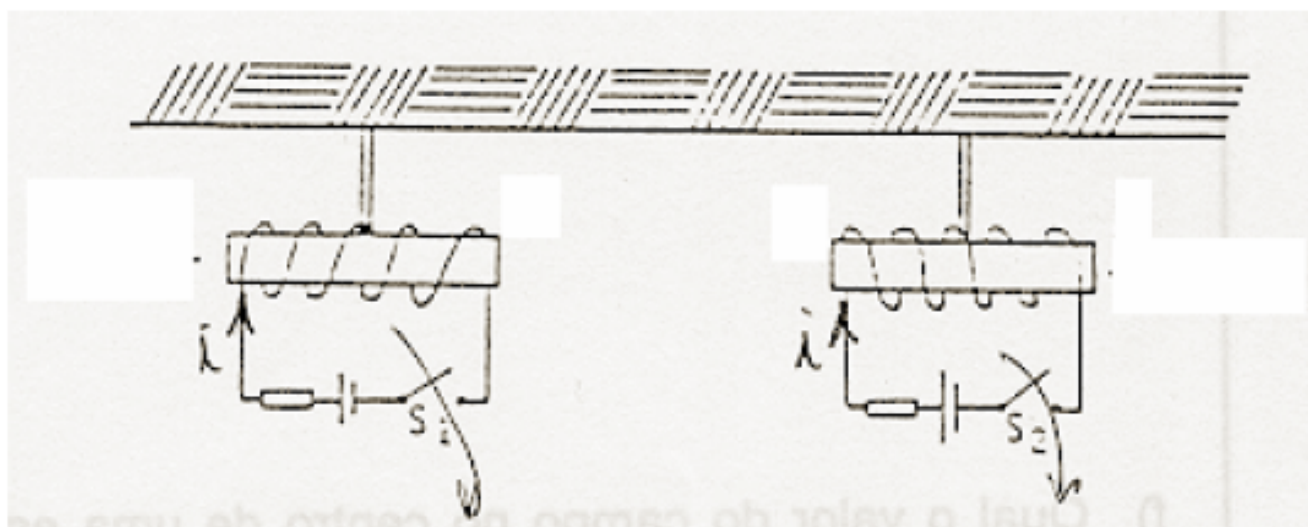
P21) Para o eletroímã da figura abaixo:

- determine a densidade de fluxo magnético no núcleo; *R: 0,04T*
- desenhe as linhas de campo magnético e sua orientação;
- indique os pólos norte e sul.



## Exercícios

P22) Dois blocos de ferro estão suspensos por fios e constituem os núcleos de dois eletroímãs, como na figura a seguir:



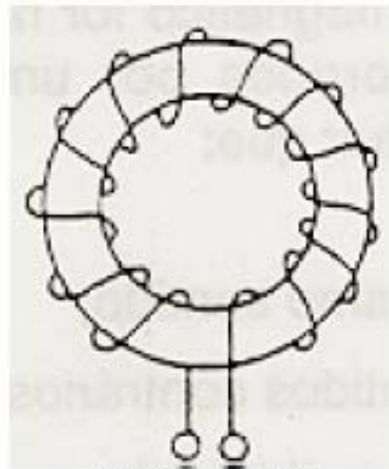
(Fonte: CEFET/PR)

Assinale a alternativa *incorreta*:

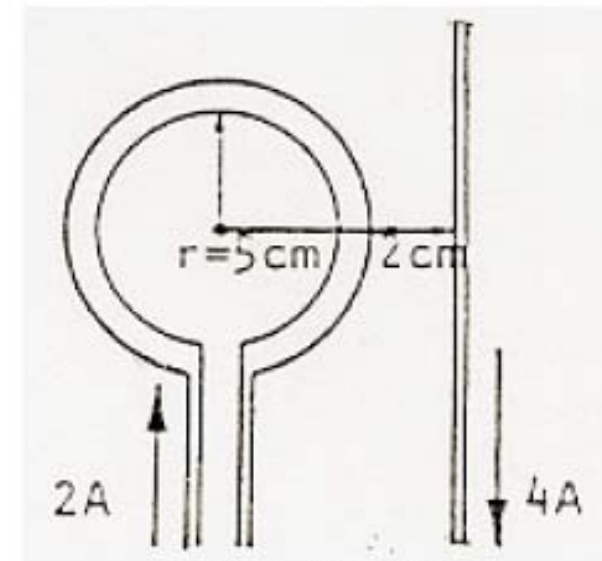
- Fechando-se a chave  $S_1$ , mantendo-se a chave  $S_2$  aberta, os dois blocos de ferro irão atrair-se;
- Fechando-se as duas chaves  $S_1$  e  $S_2$  ao mesmo tempo, os blocos irão repelir-se;
- Fechando-se a chave  $S_2$ , mantendo-se a chave  $S_1$  aberta, não haverá atração entre os blocos;
- Fechando-se as duas chaves  $S_1$  e  $S_2$  ao mesmo tempo, os blocos não irão atrair-se.

# Exercícios

P23) Calcule o valor do campo magnético indutor no interior do núcleo de um solenóide toroidal de raio interno de 10 cm e raio externo de 12 cm, onde estão enroladas 1000 espiras percorridas por uma corrente de 1A. *Resp: 1446,9Ae/m*



(Fonte: CEFET/PR)



(Fonte: CEFET/PR)

P28) Calcular o valor do campo magnético no centro da espira da figura a seguir. *R: 29,1Ae/m*

# Na próxima aula

---

## **Seqüência de conteúdos:**

1. Força magnetizante;
2. Força magneto-motriz;
3. Força eletromagnética;
4. Força eletromagnética no condutor retilíneo;
5. Força eletromagnética em condutores paralelos;
6. Força eletromagnética em uma partícula carregada;
7. Torque de giro de uma espira.