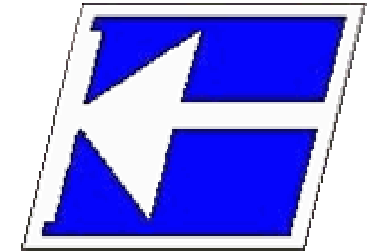


**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina**

**Departamento de Eletrônica**

**Retificadores**

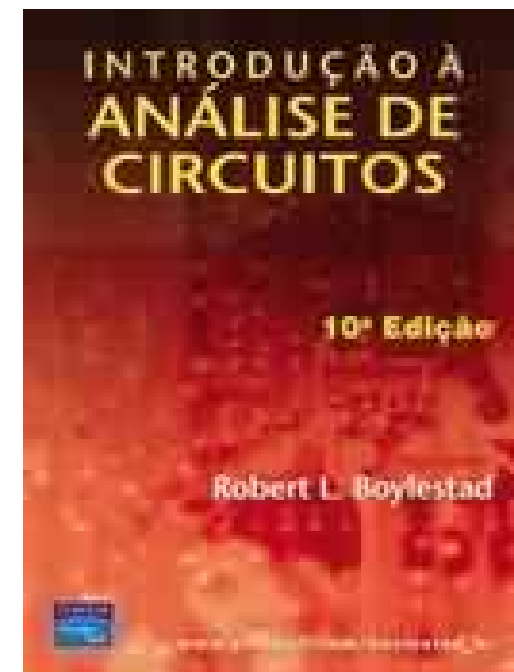


# **Força magnética**

**Clóvis Antônio Petry, professor.**

**Florianópolis, março de 2007.**

# Bibliografia para esta aula



## Nesta 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.

# Força magnetizante

## Vetor campo magnético indutor ou força magnetizante:

- É o campo induzido (gerado) pela corrente elétrica na bobina, independentemente da permeabilidade magnética do material do núcleo (meio);
- Campo magnético indutor ou força magnetizante (H);
- Unidade de medida é Ampères-espira/metro: Ae/m.

$$\mathbf{B} = \frac{\mu \cdot \mathbf{N} \cdot \mathbf{I}}{\ell}$$

$$\frac{\mathbf{B}}{\mu} = \frac{\mathbf{N} \cdot \mathbf{I}}{\ell}$$

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{N} \cdot \mathbf{I}}{\ell}$$

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu}$$

# Força magnetizante

Relação entre os vetores densidade de campo magnético e campo magnético indutor:

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H}$$

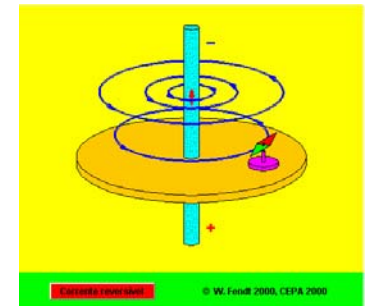
A Densidade de Fluxo Magnético  $B$  é o efeito da Força Magnetizante  $H$  num dado meio  $\mu$ .

No condutor retilíneo: 
$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

Na espira circular: 
$$H = \frac{I}{2 \cdot R}$$

Na bobina toroidal: 
$$H = \frac{N \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

Applets em java →



# Força magnetizante

---

**O campo eletromagnético depende basicamente de:**

- Da intensidade da corrente;
- Da forma do condutor (reto, espira ou solenóide);
- Do meio (permeabilidade magnética);
- Das dimensões;
- Do número de espiras.

# Força magneto-motriz

## FMM:

- Força magneto-motriz (FMM) é a causa da produção do fluxo no núcleo de um circuito magnético;
- Unidade de medida: Ampère-espira [Ae].

$$FMM = N \cdot I$$

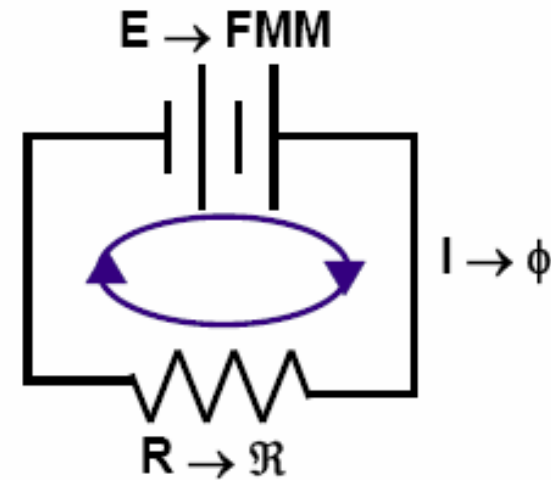
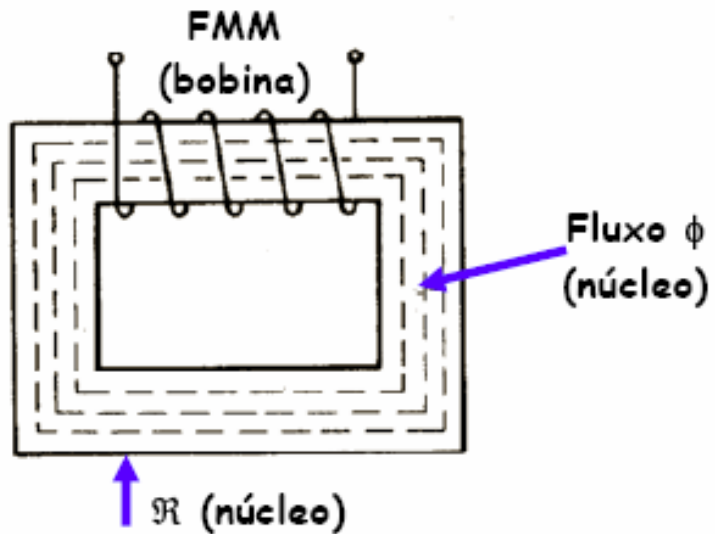
$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{l}$$

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

$$H = \frac{FMM}{l} \longrightarrow \boxed{FMM = H \cdot I}$$

- FMM em [Ae];
- H [Ae/m];
- l [m].

# Força magneto-motriz



$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu \cdot A}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{H \cdot l}{B \cdot A}$$

$$\mu = \frac{B}{H}$$

$$\phi = B \cdot A$$

$$\mathfrak{R} = \frac{\text{FMM}}{\phi}$$

# Força magneto-motriz

## Exemplo 4.4.1

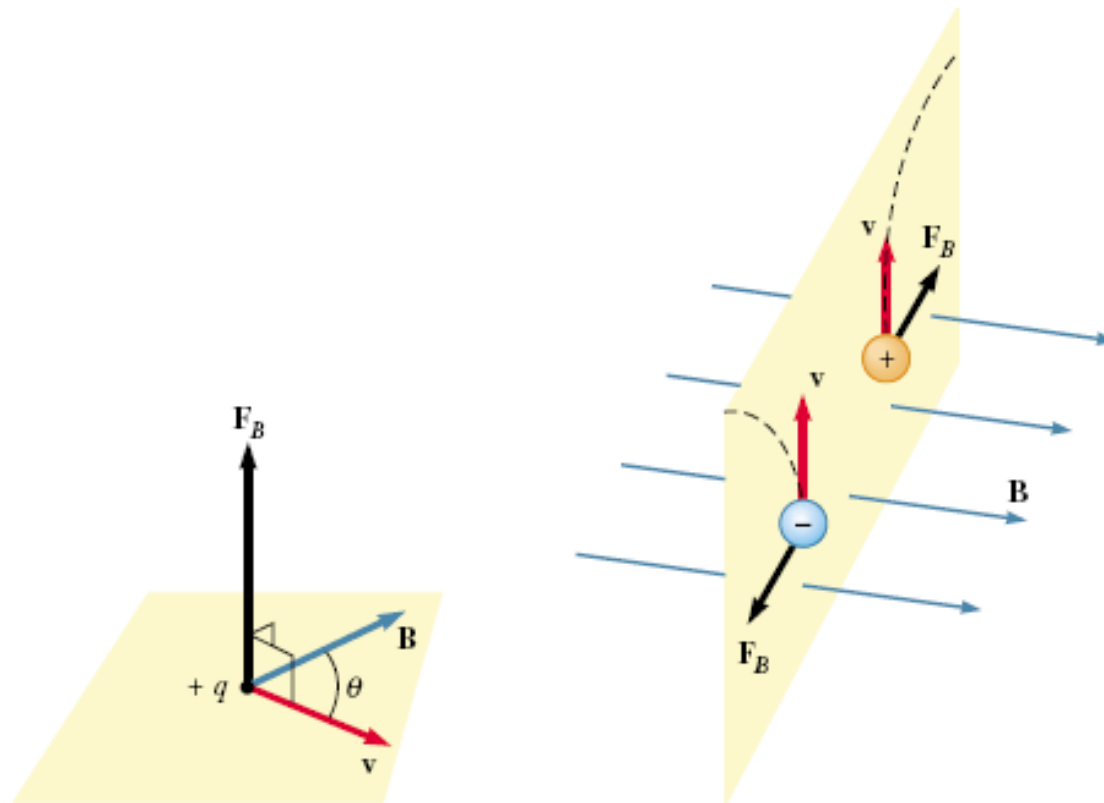
Na figura 4.10 considere que a bobina possui 120 espiras percorridas por uma corrente de 500mA e que o comprimento médio do circuito magnético é  $\ell = 0,15\text{m}$ . Determine o campo magnético indutor e a força magneto-motriz.

$$H = \frac{N \cdot I}{\ell} = \frac{120 \cdot 0,5}{0,15} = 400\text{Ae/m}$$

$$\text{FMM} = H \cdot \ell = 400 \cdot 0,15 = 60\text{Ae}$$

# Força eletromagnética

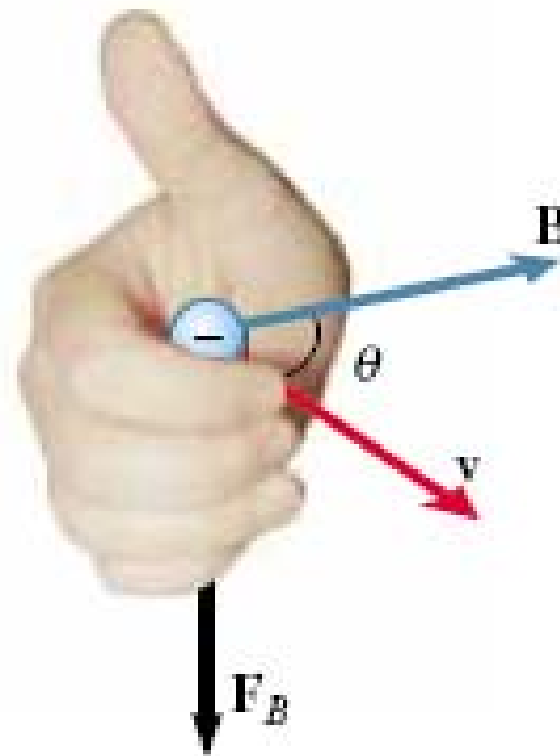
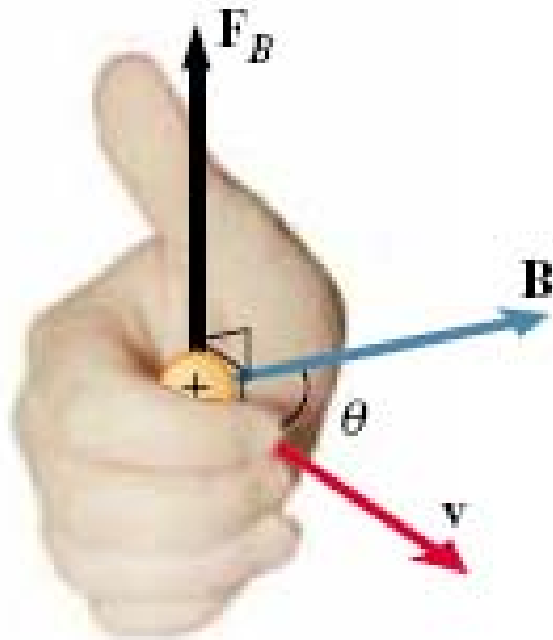
Um condutor percorrido por corrente elétrica, dentro de um campo magnético sofre a ação de uma força eletromagnética.



A força é perpendicular aos vetores  $v$  e  $B$ .

## Força eletromagnética

$$\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \rightarrow F_B = |q|vB \sin \theta$$



# Força eletromagnética num condutor retilíneo

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \text{sen}\theta$$

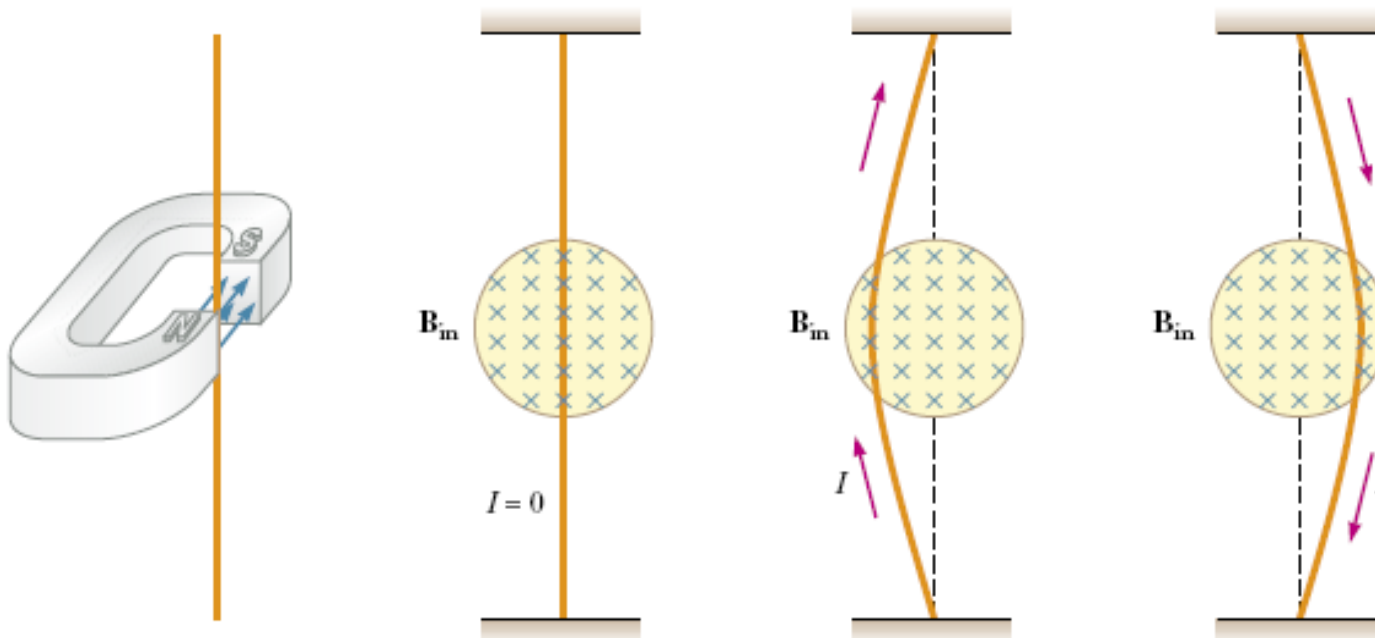
onde:

$F$  - intensidade do vetor força eletromagnética [N];

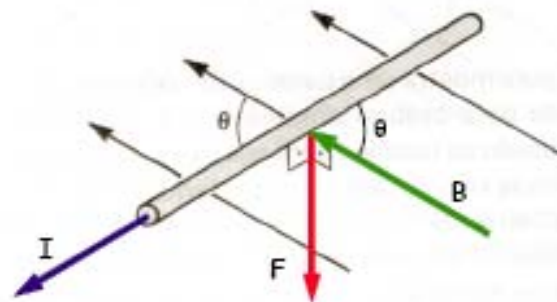
$B$  - densidade de campo magnético ou densidade de fluxo magnético [T];

$\ell$  - comprimento ativo do condutor sob efeito do campo magnético [m];

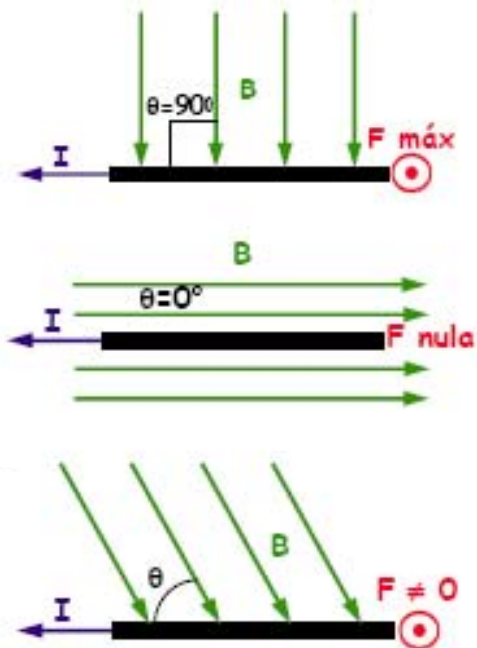
$\theta$  - ângulo entre as linhas de campo e a superfície longitudinal do condutor [ $^{\circ}$  ou rad]



# Força eletromagnética num condutor retilíneo



*Força magnética sobre um condutor retilíneo.*



*Força magnética depende do ângulo de incidência do campo magnético.*

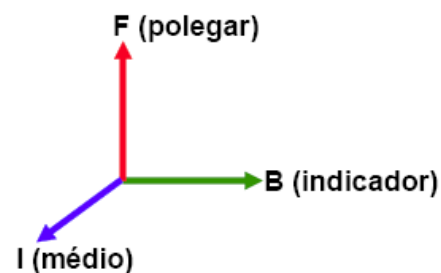
# Força eletromagnética num condutor retilíneo

Regra da mão esquerda – ação motriz:

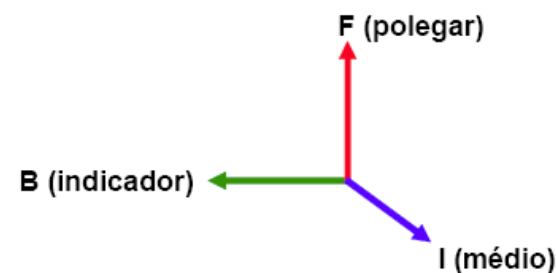
- o dedo polegar indica o sentido da força magnética,  $F$ .
- o dedo indicador representa o sentido do vetor campo magnético,  $B$ .
- o dedo médio indica o sentido do corrente,  $I$ .

Regra de Fleming:

- **Ação Motriz - Regra da Mão Esquerda:** quando resulta uma força:
  - o dedo polegar indica o sentido da força magnética,  $F$ .
  - o dedo indicador representa o sentido do vetor campo magnético,  $B$ .
  - o dedo médio indica o sentido do corrente,  $I$ .
- **Ação Geradora - Regra da Mão Direita:** quando resulta uma corrente gerada:
  - o dedo polegar indica o sentido da força magnética,  $F$ .
  - o dedo indicador representa o sentido do vetor campo magnético,  $B$ .
  - o dedo médio indica o sentido do corrente,  $I$ .

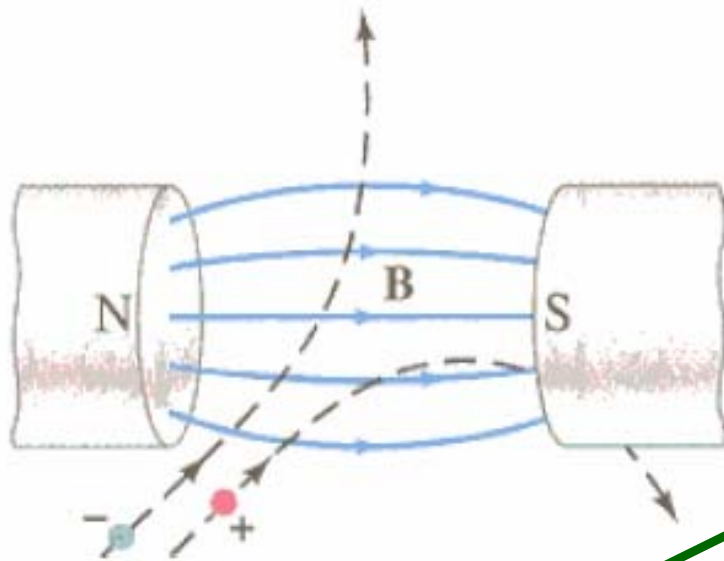


Ação Motriz: mão esquerda



Ação Geradora: mão direita

# Força eletromagnética sobre uma partícula



$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \text{sen}\theta$$

$$I = \frac{q}{t}$$

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \text{sen}\theta$$

$$F = B \cdot \frac{q}{t} \cdot v \cdot t \cdot \text{sen}\theta$$

F - módulo do vetor força magnética resultante sobre a partícula carregada [N];

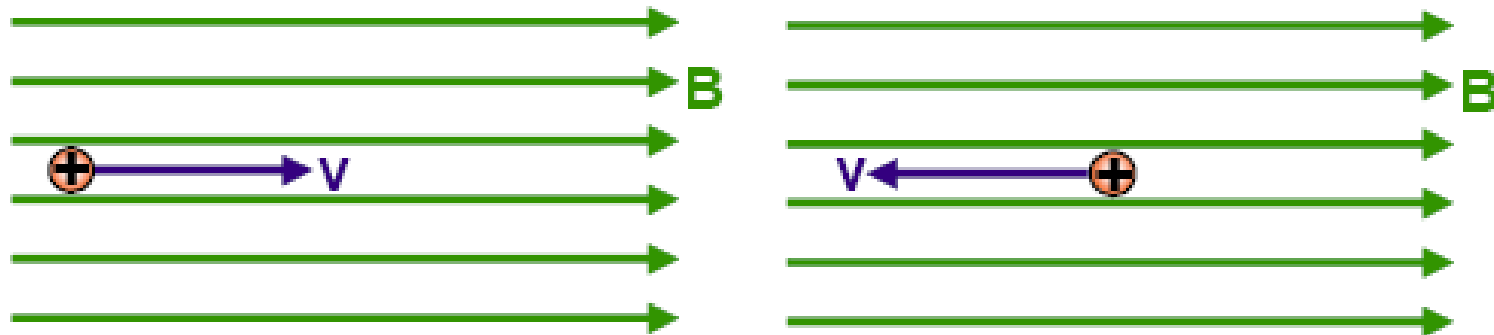
B - módulo da densidade de campo magnético ou densidade de fluxo [T];

q - quantidade de carga elétrica da partícula [C];

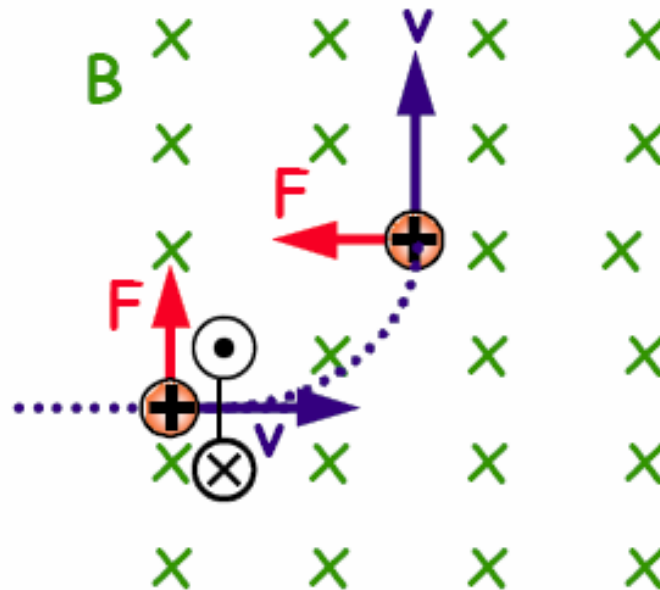
v - velocidade de deslocamento [m/s]

θ - ângulo entre a direção de deslocamento e as linhas de campo [° ou rad]

# Força eletromagnética sobre uma partícula

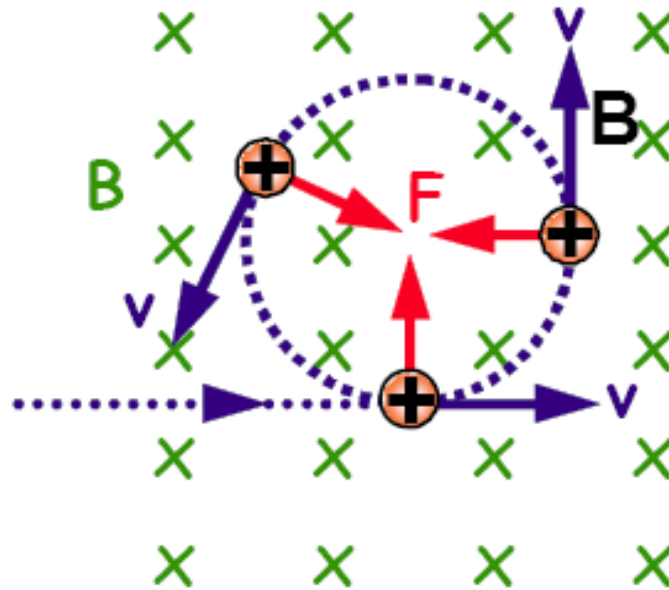


*partícula positiva em movimento retilíneo uniforme na mesma direção do campo.*



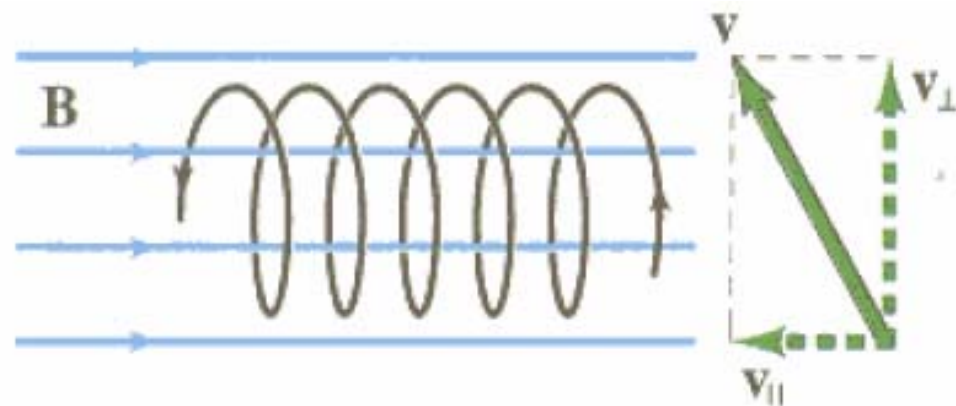
*Força exercida sobre uma partícula em deslocamento transversal à direção do campo.*

# Força eletromagnética sobre uma partícula

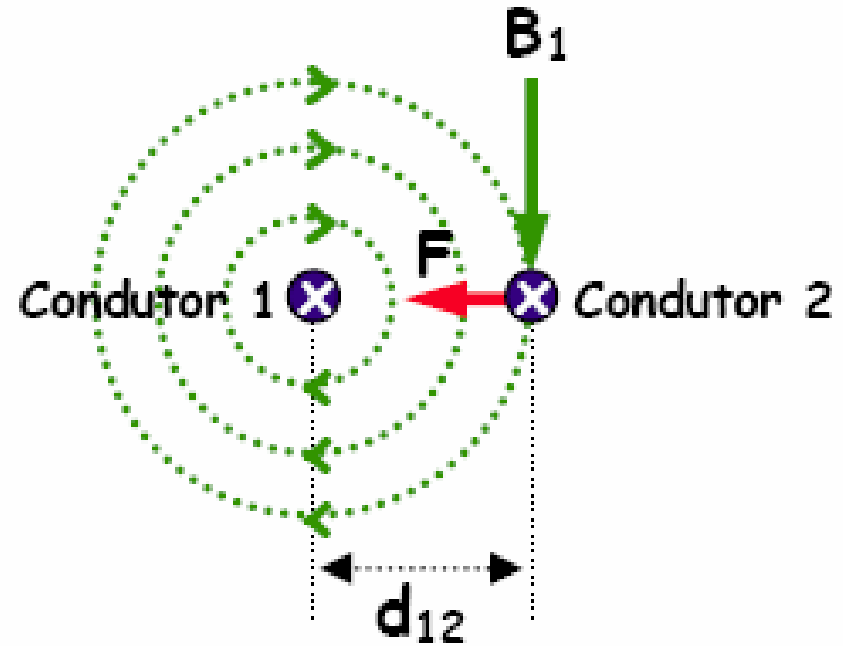
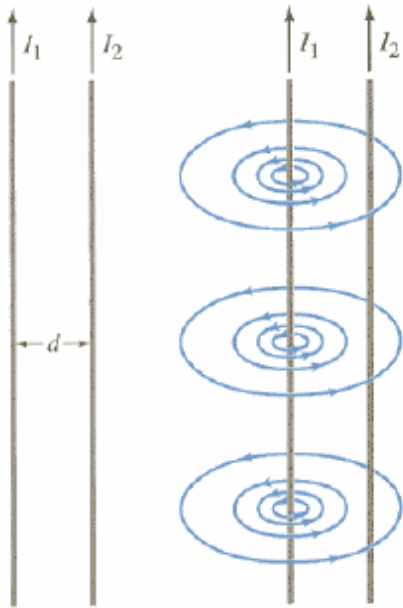


*Partícula em Movimento Circular Uniforme (MCU)*

*Partícula em movimento helicoidal* →



# Força eletromagnética entre condutores paralelos



Campo num condutor:

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

Ação da corrente  $I_1$  no condutor 2:

$$B_1 = \frac{\mu \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

$$F_{12} = B_1 \cdot I_2 \cdot \ell_2 \cdot \text{sen}90^\circ$$

$$F_{12} = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \ell_2}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

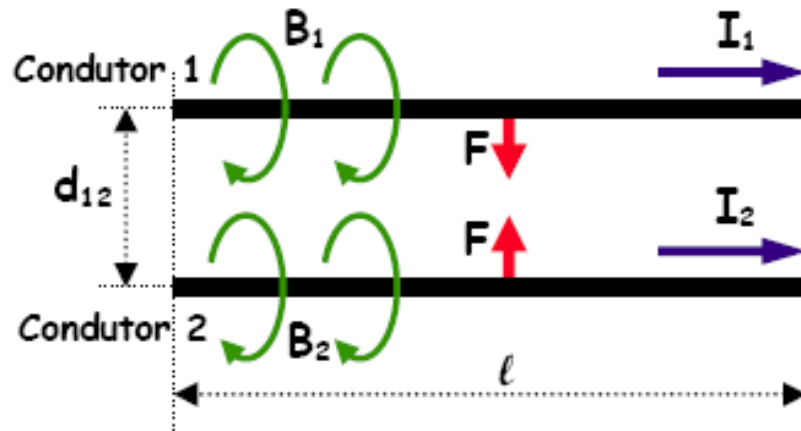
$$F_{12} = F_{21} = F$$

$$F = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \ell_2}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

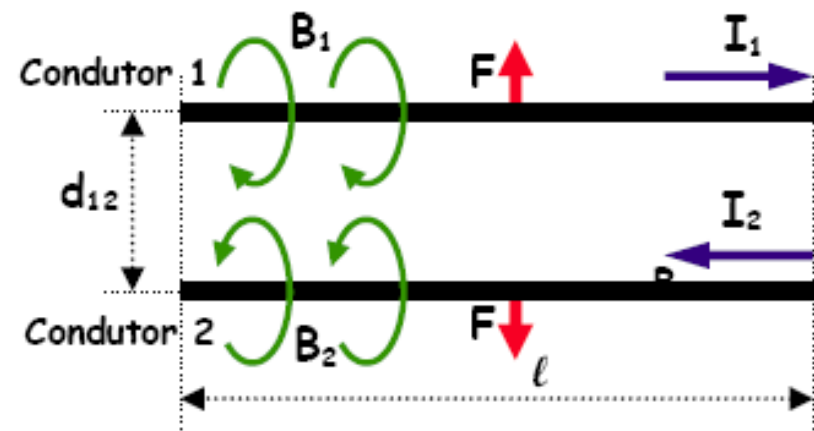
# Força eletromagnética entre condutores paralelos

Expressando a força em N/m:  $\longrightarrow$

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot d_{12}}$$

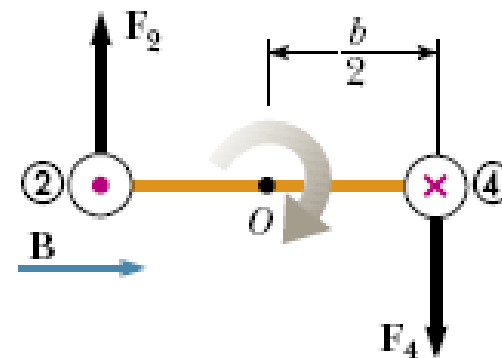
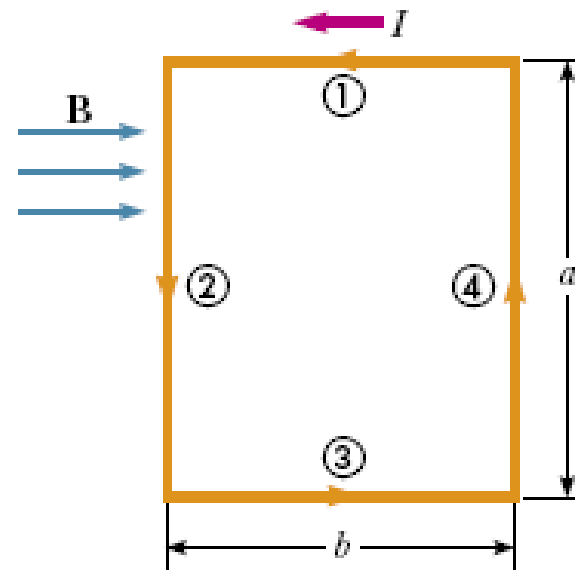
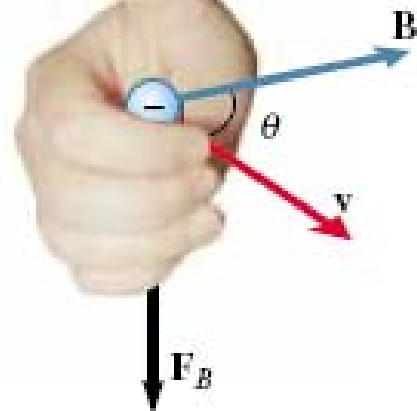
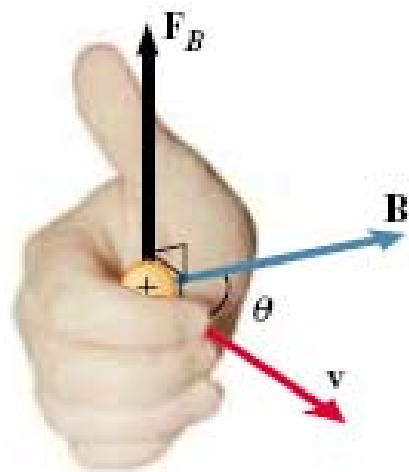


Atração

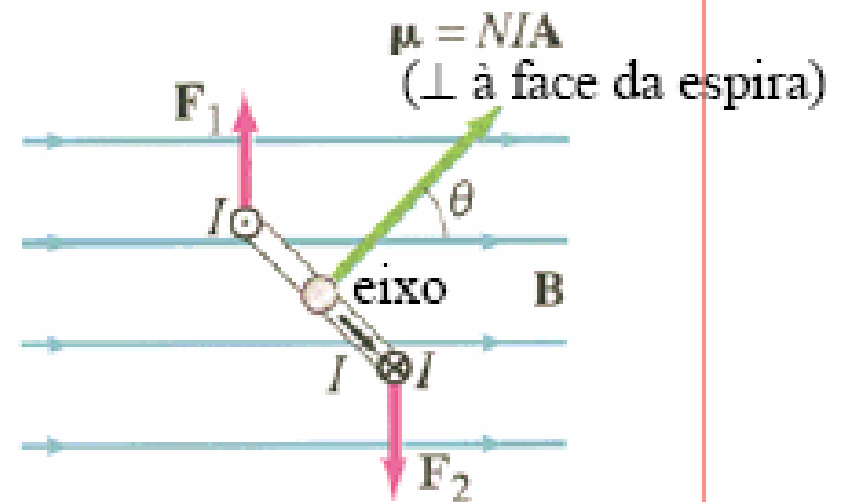
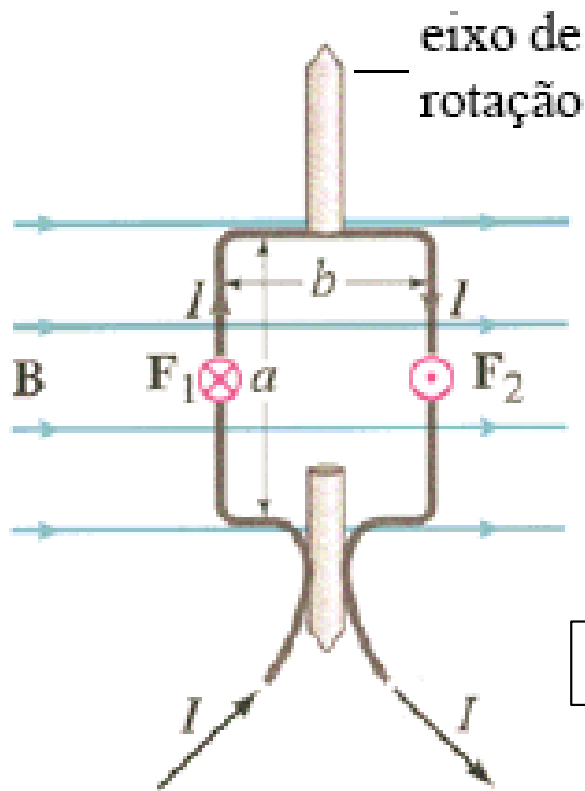


Repulsão

# Torque em uma espira



# Torque em uma espira



$$\tau = N \cdot B \cdot I \cdot A \cdot \text{sen}\theta$$

$\tau$  - torque de giro [N.m];

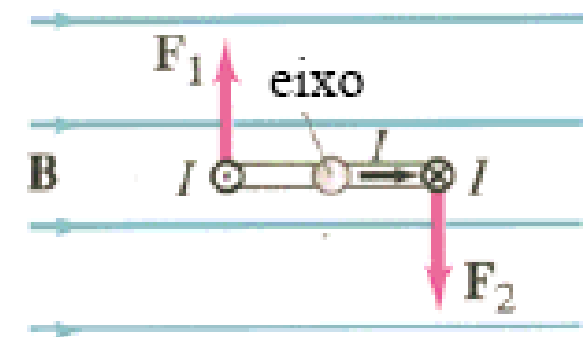
$N$  - número de espiras;

$B$  - densidade de campo magnético [T];

$I$  - corrente elétrica na(s) espira(s) [A];

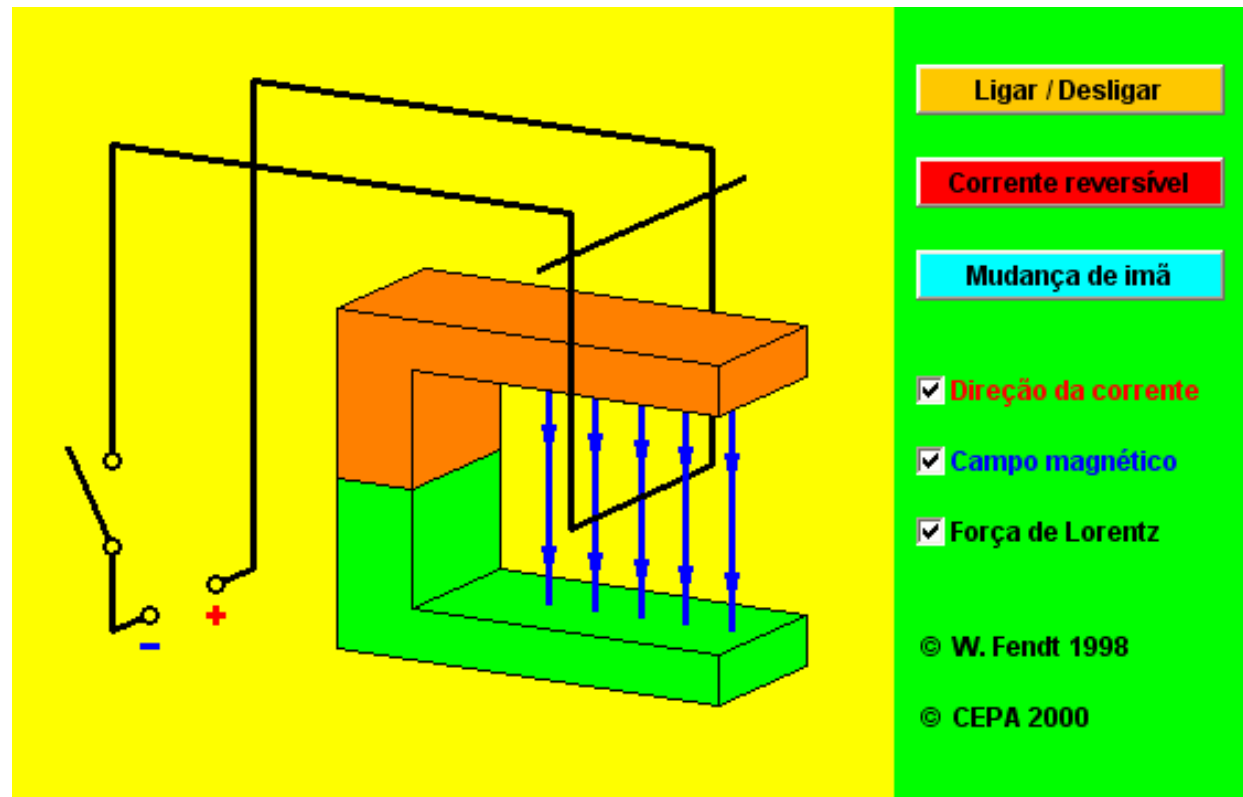
$A$  - área das espiras ( $a \times b$ ) [m<sup>2</sup>];

$\theta$  - ângulo da face da espira com a direção das linhas de campo [° ou rad].

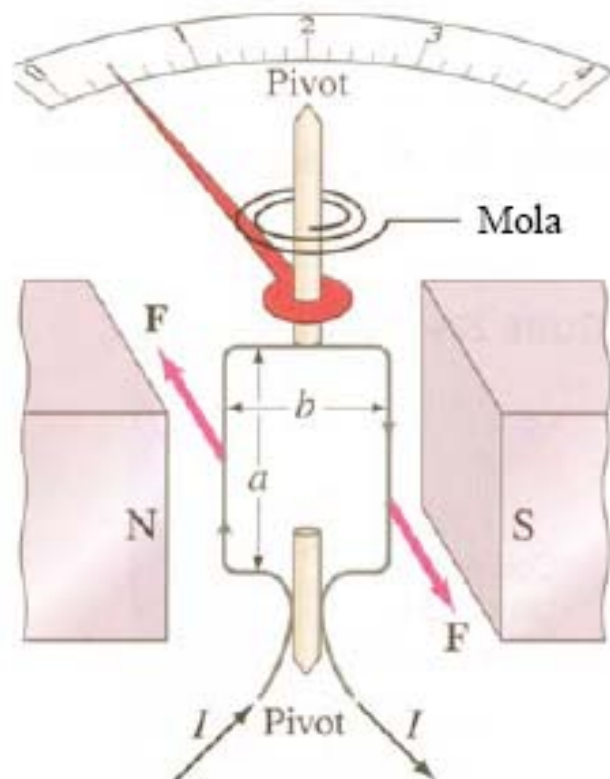


# Torque em uma espira

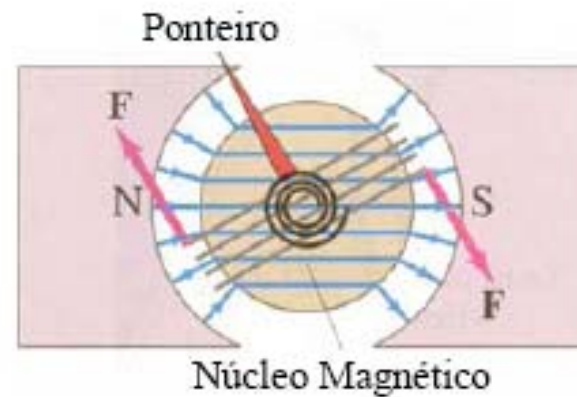
Applets em java →



# Aplicações – Amperímetro



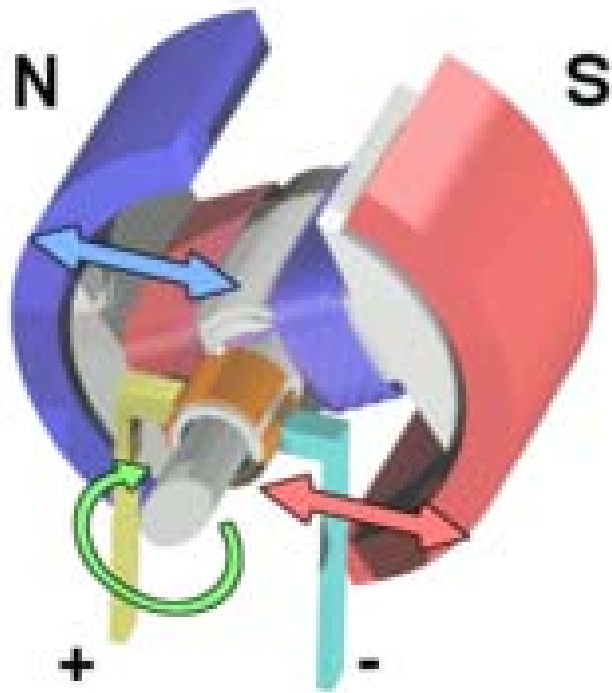
(a)



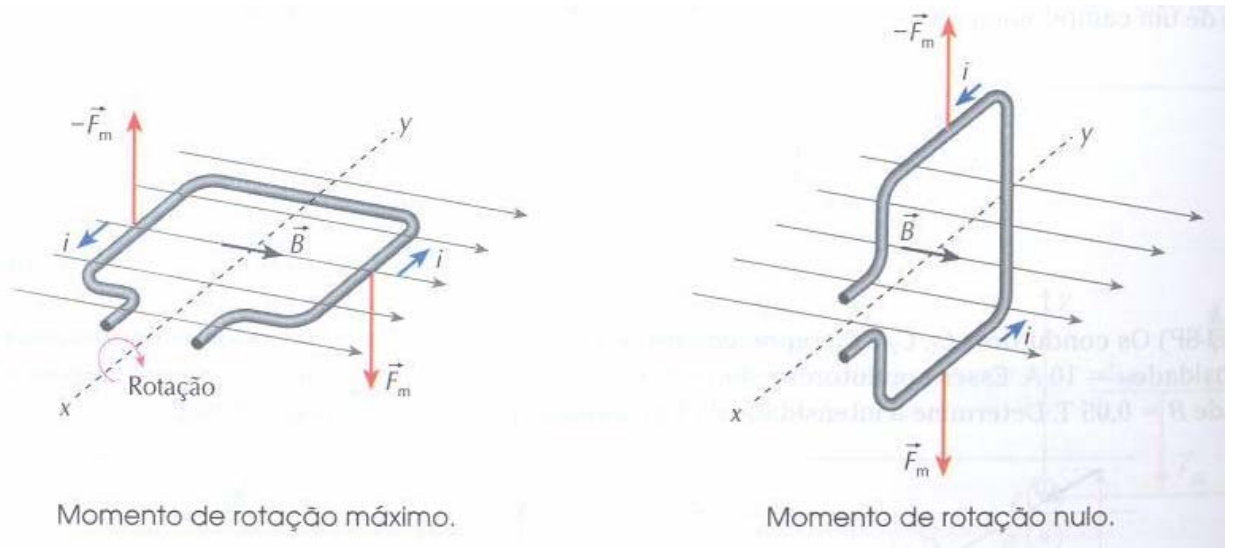
(b)

*Amperímetro básico; (a) vista lateral; (b) vista superior. (Fonte: Giancoli, 2000)*

# Aplicações – Motor CC



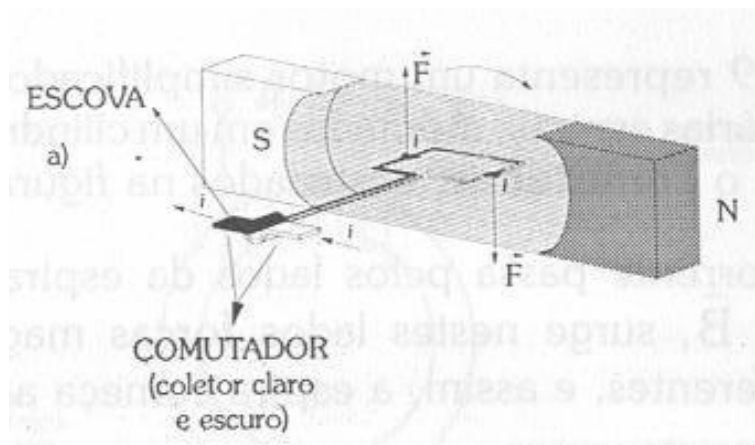
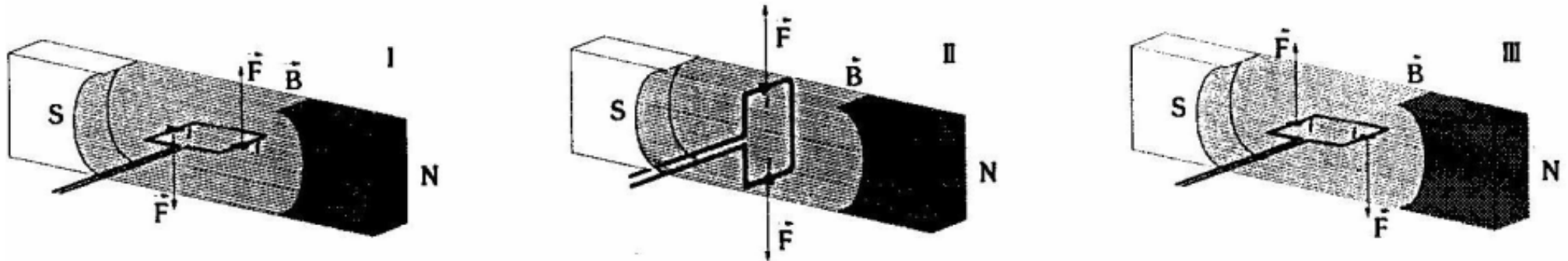
Construção de um motor CC



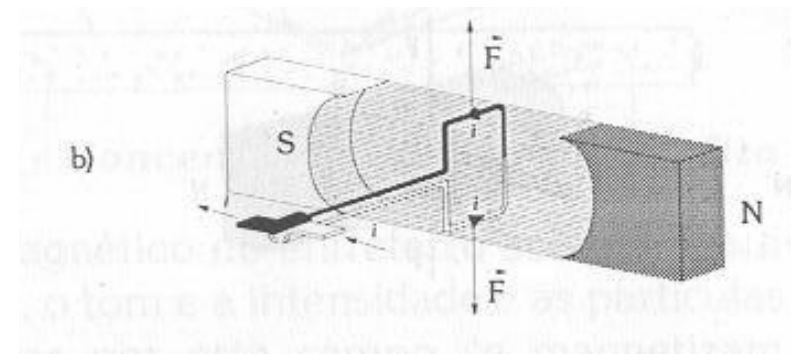
Funcionamento dos motores de CC

# Aplicações – Motor CC

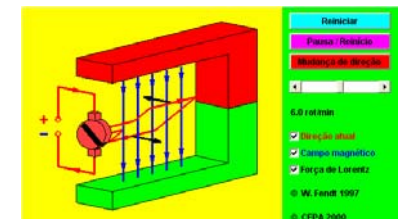
## Forças num motor de CC



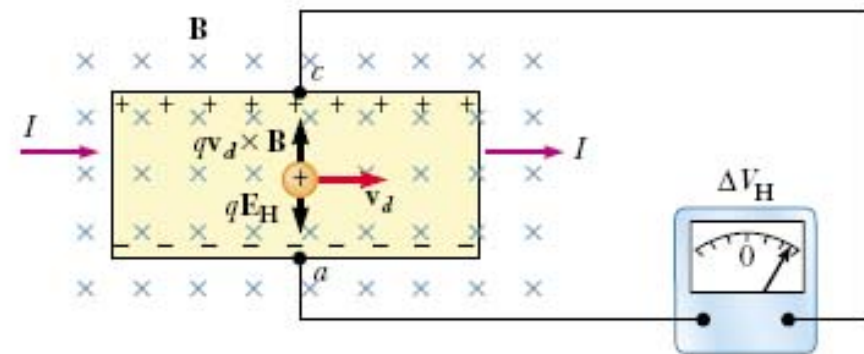
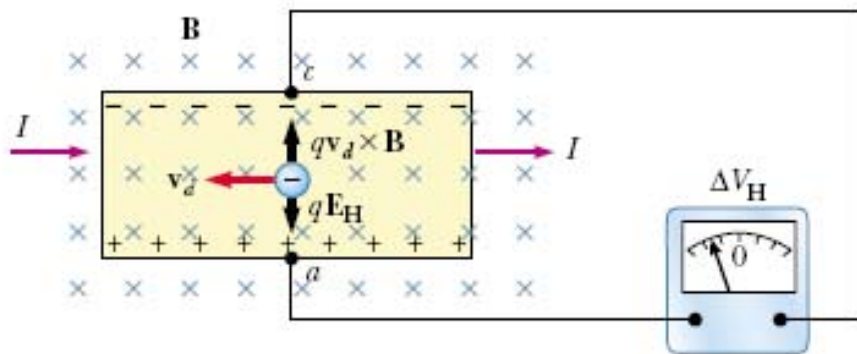
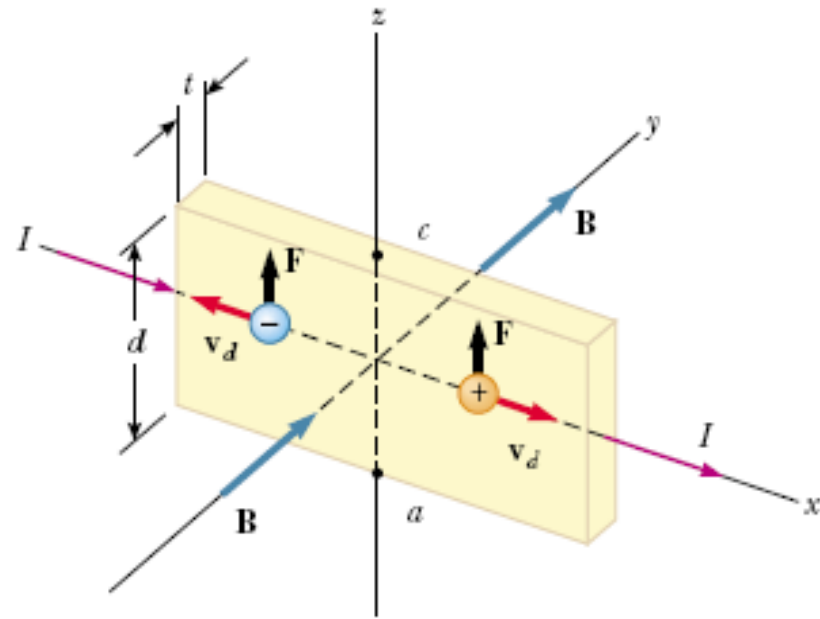
Funcionamento do motor CC



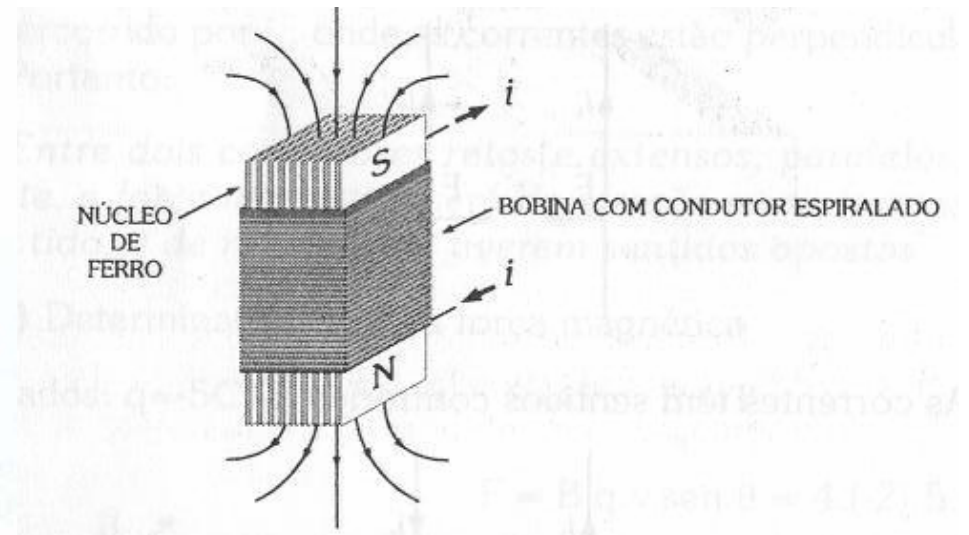
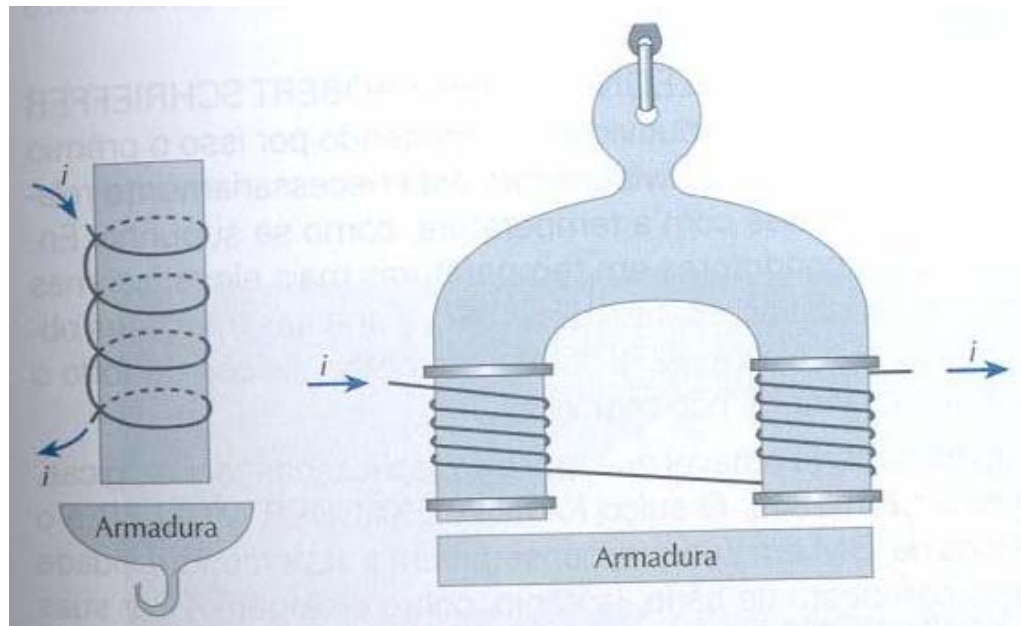
Applets em java →



# Aplicações - Efeito Hall



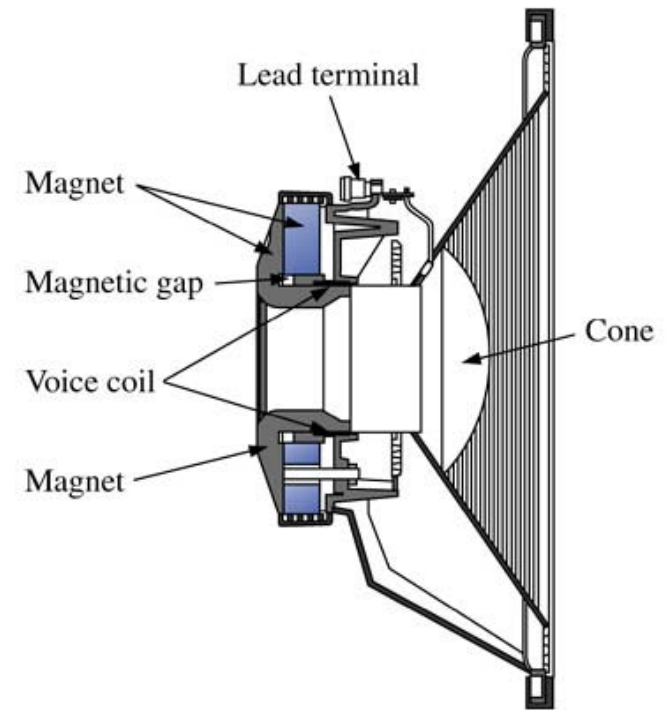
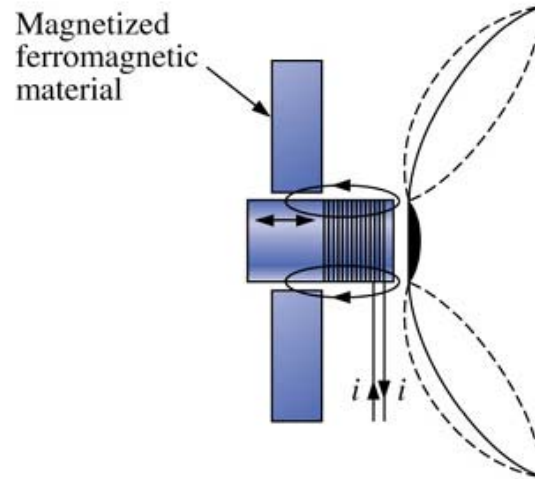
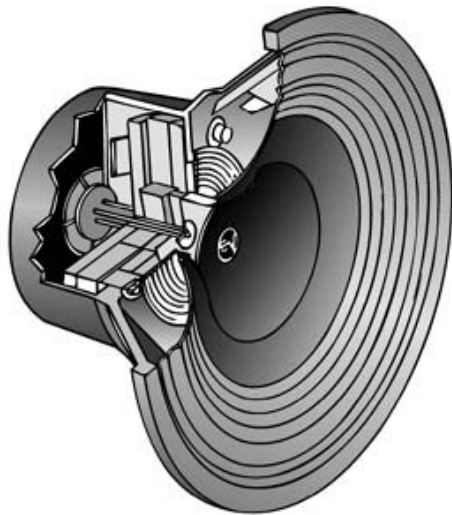
# Aplicações - Eletroímã



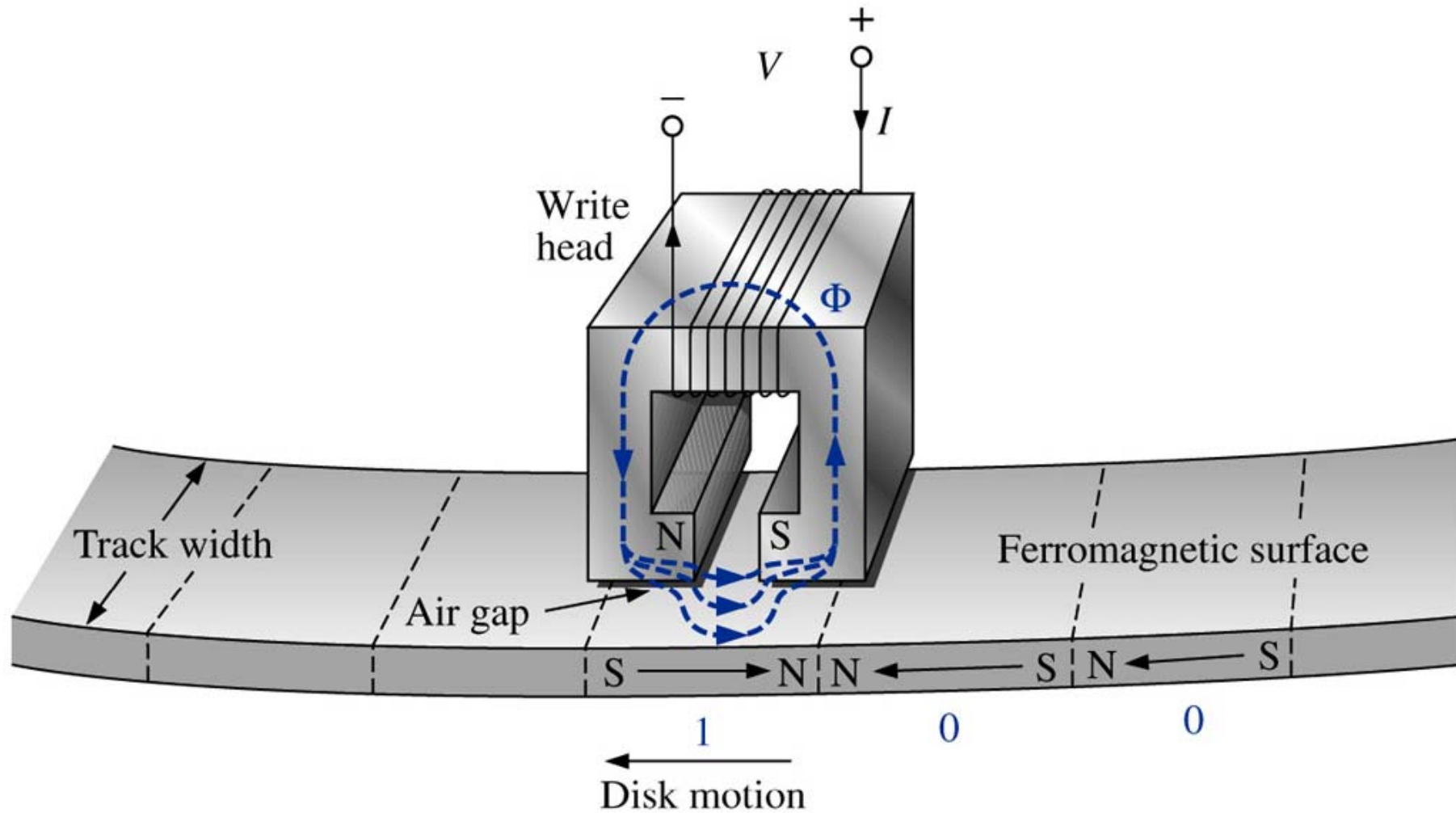
Eletroímã Circular



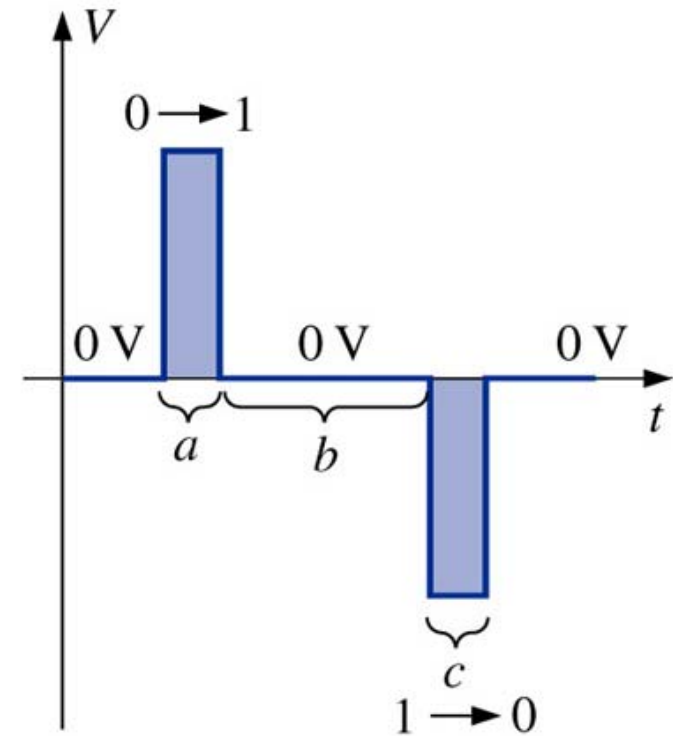
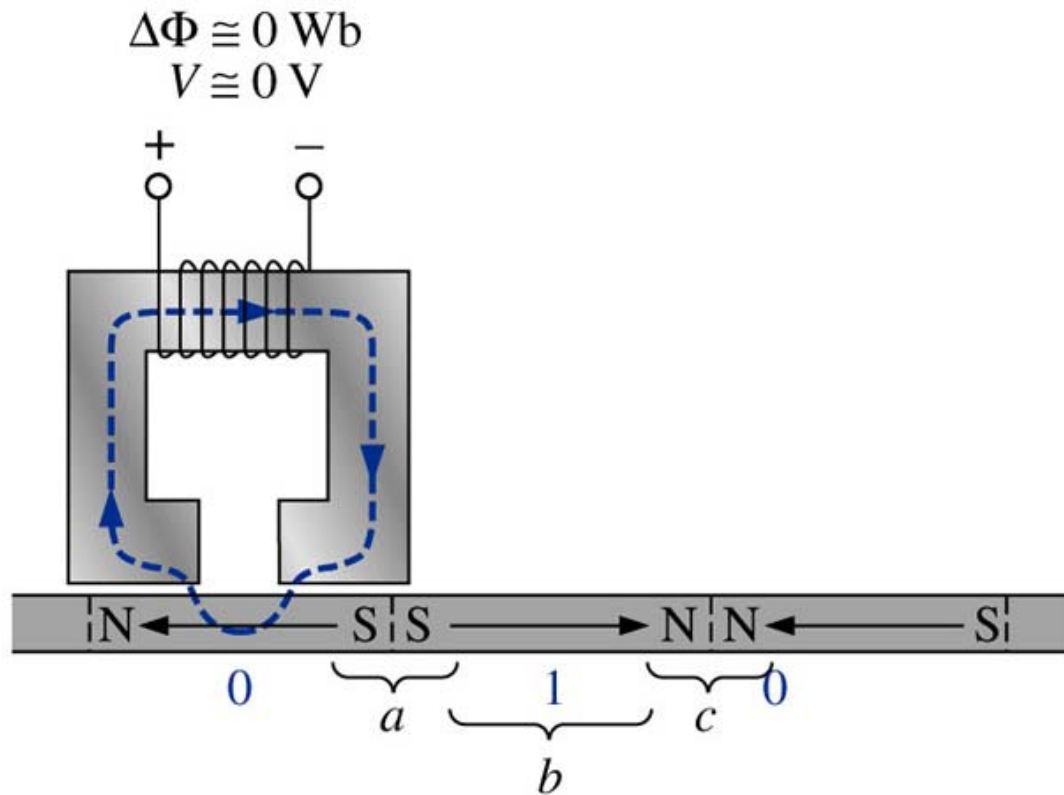
# Aplicações - Alto-falante



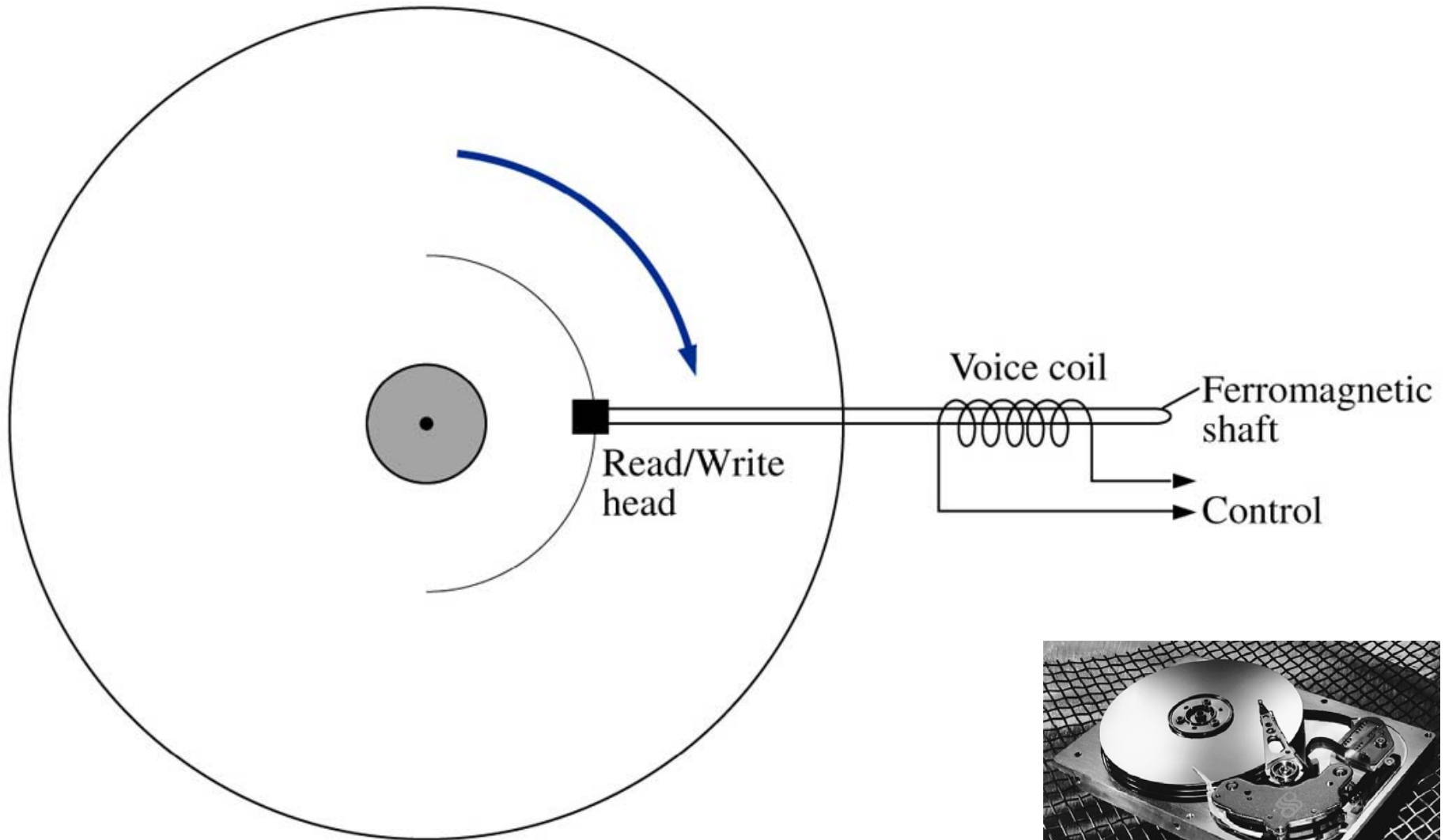
# Aplicações – Gravação magnética



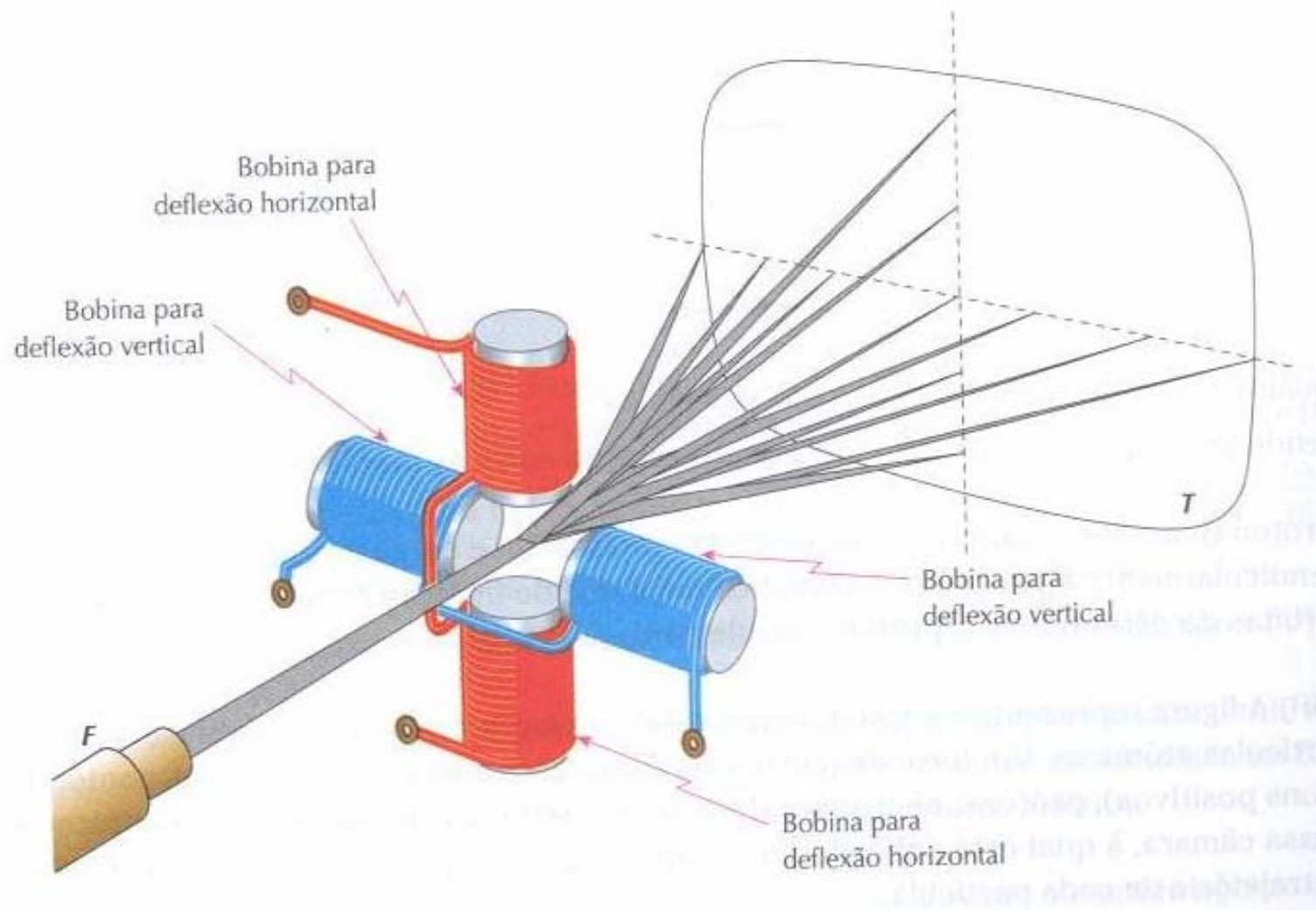
# Aplicações – Gravação magnética



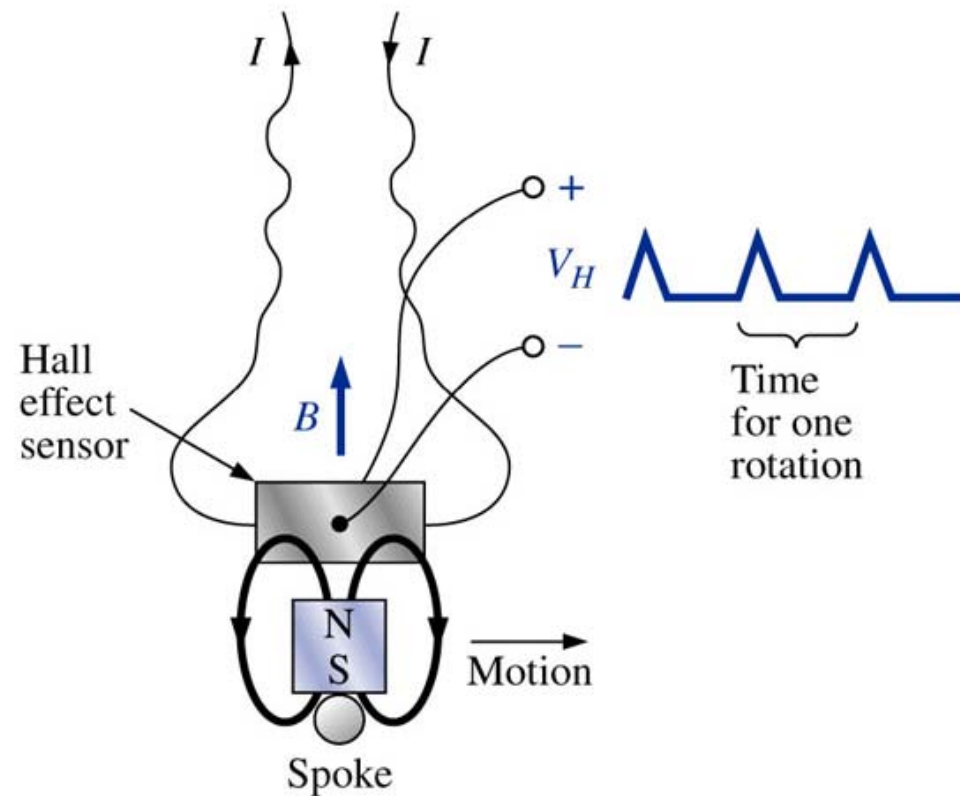
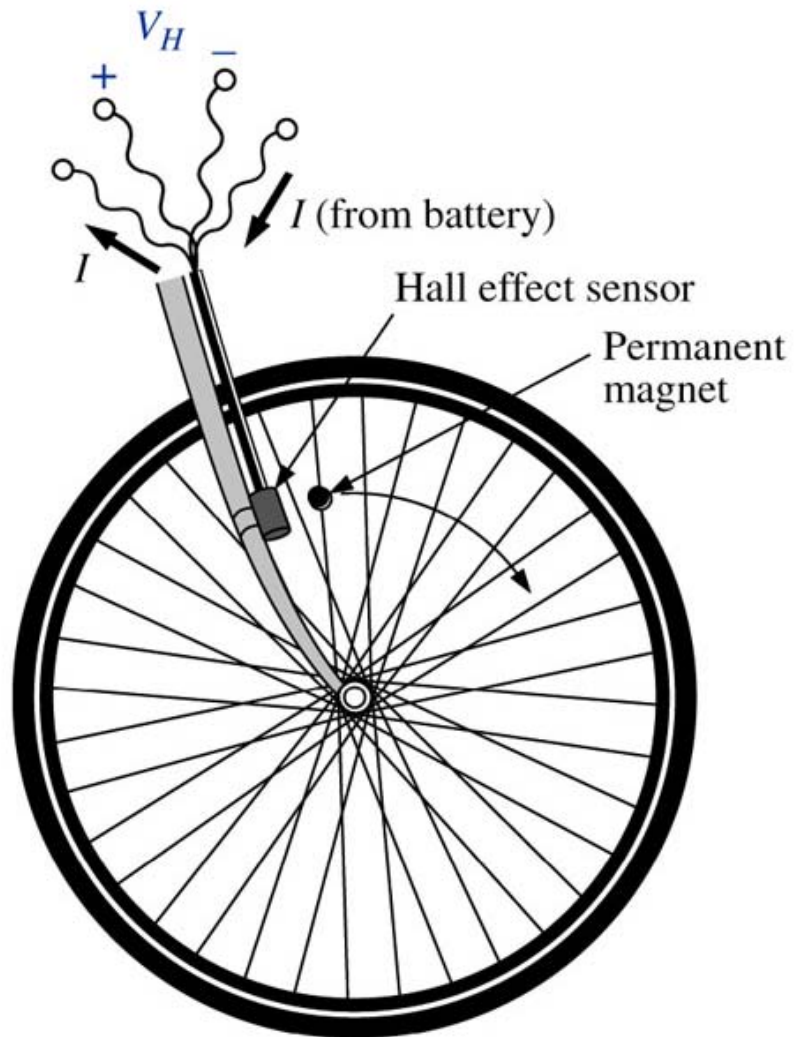
# Aplicações – Gravação magnética



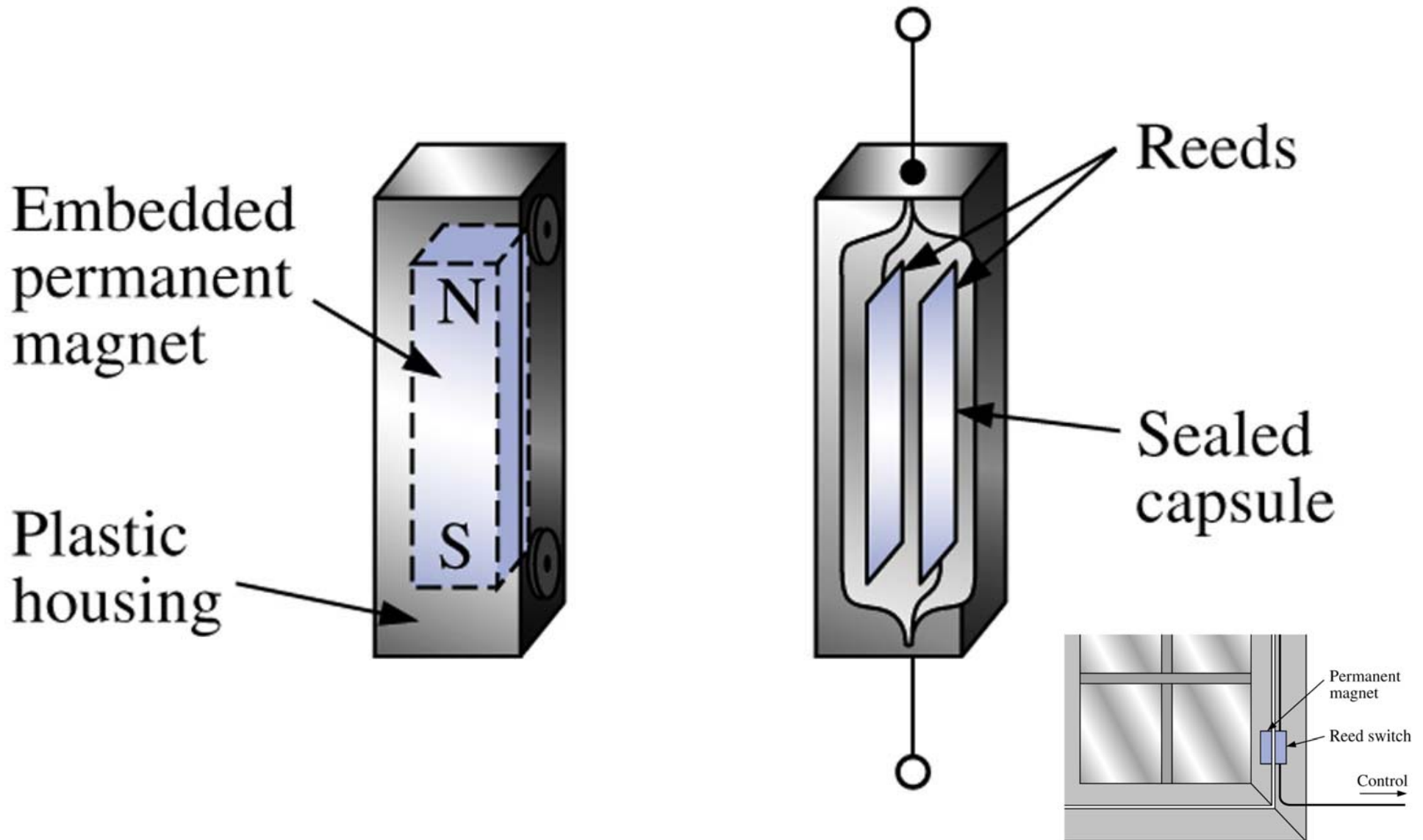
# Aplicações – Tubo de raios catódicos



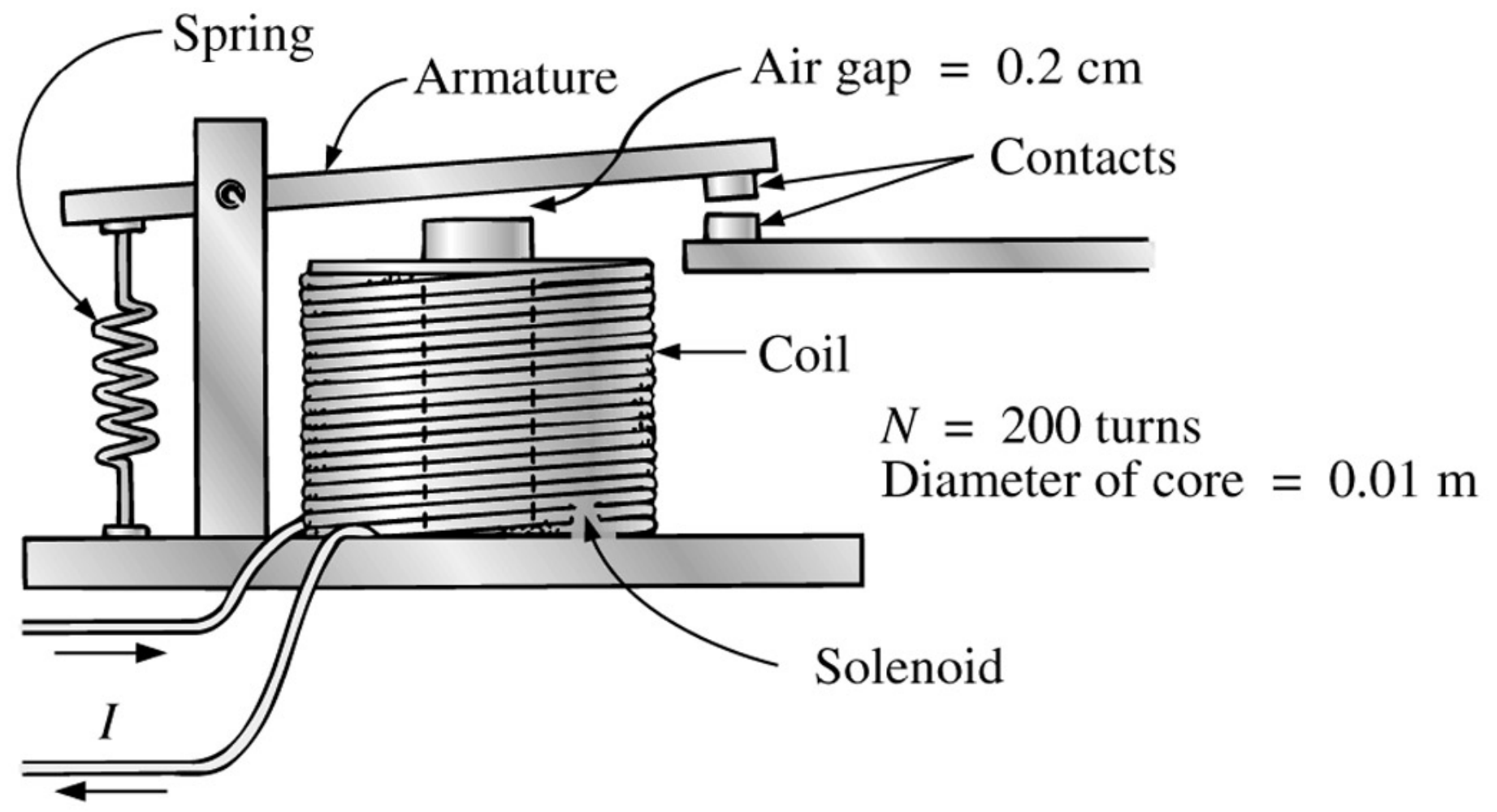
# Aplicações – Indicador de velocidade



# Aplicações – Sensor magnético



# Aplicações – Sensor magnético



# Na próxima aula

---

## **Seqüência de conteúdos:**

1. Variação de fluxo magnético;
2. Indução eletromagnética.