

Física Aplicada

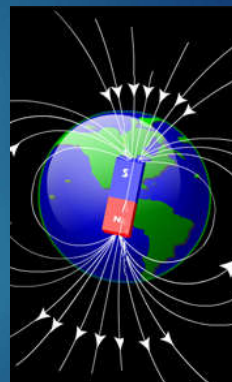
ENG. INFORMÁTICA
2020-2021

As fontes da tecnologia da informação

Temática 3

- Campos Magnéticos
- Força magnética
- Força eletromagnética, Força de Lorentz
- Lei de Biot-Savart e Lei de Ampere
- Indução magnética, Lei de Faraday
- Lei de Lenz
- Transformador Ideal

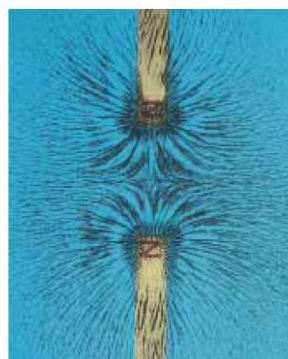
Magnetismo



Some Approximate Magnetic Field Magnitudes

Source of Field	Field Magnitude (T)
Strong superconducting laboratory magnet	30
Strong conventional laboratory magnet	2
Medical MRI unit	1.5
Bar magnet	10^{-2}
Surface of the Sun	10^{-2}
Surface of the Earth	0.5×10^{-4}
Inside human brain (due to nerve impulses)	10^{-13}

Campo Magnético e força magnética



Henry Leap and Jim Lehman

O campo magnético é um campo vetorial a semelhança do campo elétrico

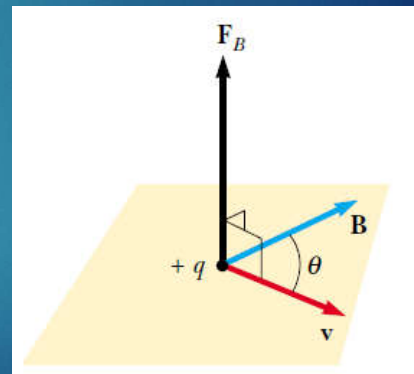
Força magnética

- Quando o vetor velocidade, \vec{v} , faz um ângulo $\theta \neq 0$ com o campo magnético, \vec{B} , a força magnética atua na direção perpendicular ao plano formado pelo vetor \vec{v} e \vec{B} .

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Unidades de campo magnético no SI é o Tesla, T

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \text{m/s}}$$



Força magnética

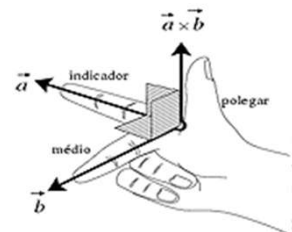
A intensidade da força magnética é determinada pela seguinte equação:

$$|\vec{F}_B| = |q|vB \sin \theta$$

onde θ é o ângulo que a velocidade faz com o campo magnético.

A direção e sentido da força é dada pela regra da mão direita, em que a força magnética é um produto vetorial da velocidade com o campo dando assim origem outro vetor.

Regra da mão direita



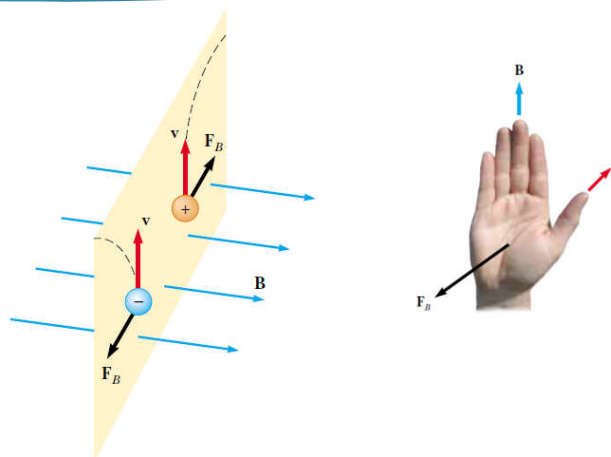
Outra forma de determinar a força magnética é usar o cálculo do determinante de uma matriz

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = \det \begin{bmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}$$

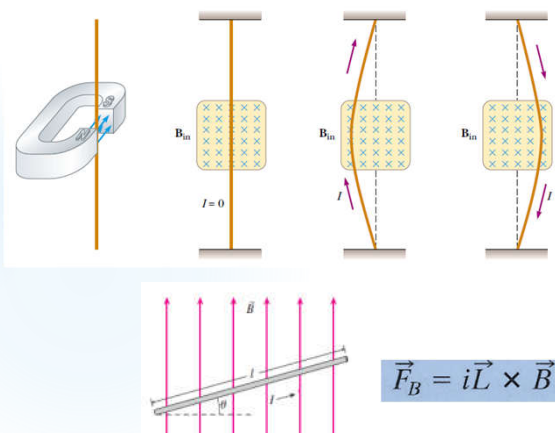
Força magnética

A força magnética atua sobre a partícula carregada que se move com uma determinada velocidade no campo magnético.

- ▶ A componente da força magnética na direção da velocidade é sempre nula, logo não pode alterar a intensidade da velocidade da partícula, portanto não altera a energia cinética da partícula.
- ▶ No entanto, a força magnética pode alterar a direção da velocidade, alterando assim a sua trajetória.



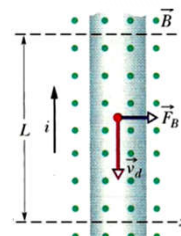
Força magnética num condutor percorrido por uma corrente



$$F_B = qv_d B \sin \phi = \frac{iL}{v_d} v_d B \sin 90^\circ$$

$$q = it = i \frac{L}{v_d}$$

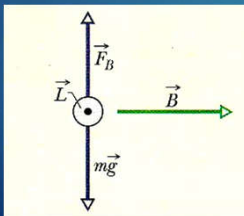
$$F_B = iLB$$



Exemplo:

Um fio retilíneo de cobre, é percorrido por uma intensidade de corrente $i = 28 \text{ A}$.

Determine o módulo e orientação (direção e sentido) do menor campo magnético B , capaz de manter o fio suspenso. A densidade linear do fio é $46,6 \text{ g/m}$



$$\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$$

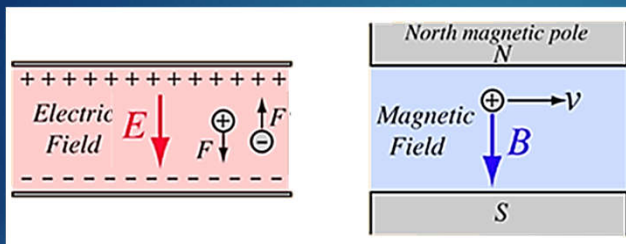
$$F_B = iLB \sin \phi$$

$$iLB \sin \phi = mg$$

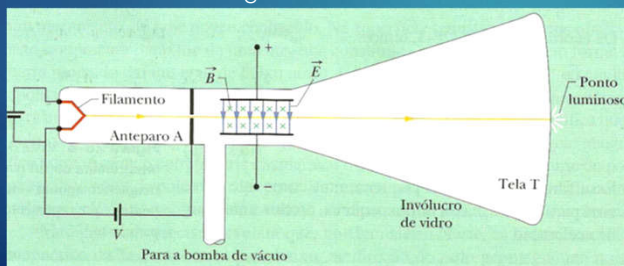
$$B = \frac{mg}{iL \sin \phi} = \frac{(m/L)g}{i}$$

$$B = \frac{(46,6 \times 10^{-3} \text{ kg/m})(9,8 \text{ m/s}^2)}{28 \text{ A}}$$

$$B = 1,6 \times 10^{-2} \text{ T.}$$



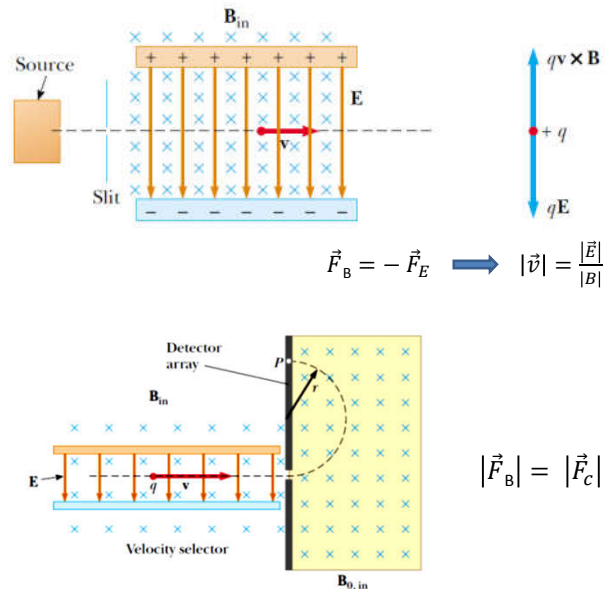
Experiência de J. J. Thomson – determinação da razão entre a massa e a carga do elétron



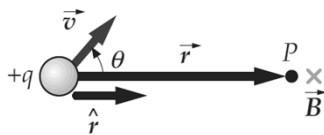
Força de Lorentz
OU
força eletromagnética

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Movimento de uma partícula na presença de campo elétrico e magnético



Campo magnético devido a uma carga que se desloca a uma velocidade, v

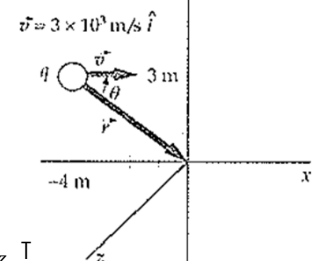


$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$$

Permeabilidade magnética no vazio

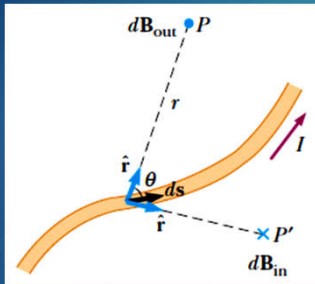
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

Exemplo: Uma partícula pontual de carga $q=4,5\text{nC}$ move-se com uma velocidade de:



Qual o campo magnético na origem quando a partícula se encontra no ponto $x=-4\text{m}$ e $y=3\text{m}$

Campo magnético num ponto P, devido a uma corrente I , em um elemento de comprimento ds

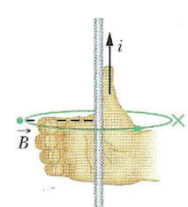
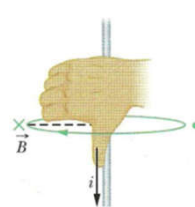
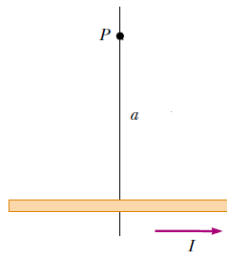
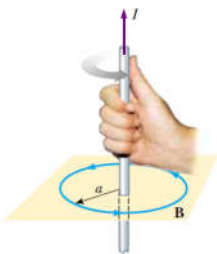


$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

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

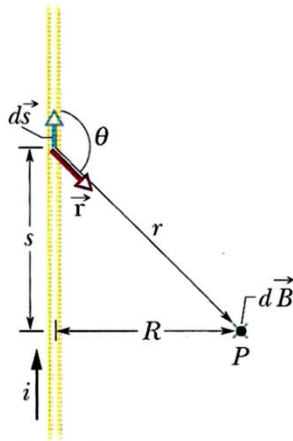
Onde μ_0 é a permeabilidade magnética no vácuo
 \hat{r} o versor do vetor \vec{r} , isto é o vetor diretor que define a direção até ao ponto P que se quer determinar o campo magnético \vec{B}
A integração vai depender da forma geométrica do fio

Campo magnético devido a um fio condutor fino, percorrido por uma corrente



$$B_{\text{fio-retilineo}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Lei de Biot-Savart para fio retilíneo longo (infinito)



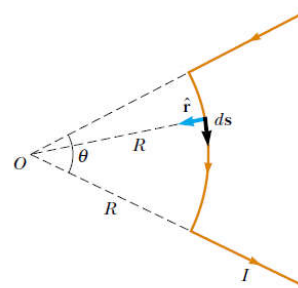
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i ds \sin \theta}{r^2}$$

$$B = 2 \int_0^\infty dB = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \int_0^\infty \frac{\sin \theta ds}{r^2} \quad r = \sqrt{s^2 + R^2}$$

$$\sin \theta = \sin(\pi - \theta) = \frac{R}{\sqrt{s^2 + R^2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \int_0^\infty \frac{R ds}{(s^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \left[\frac{s}{(s^2 + R^2)^{1/2}} \right]_0^\infty = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$

Lei de Biot-Savart para um segmento de fio curvo ou circular

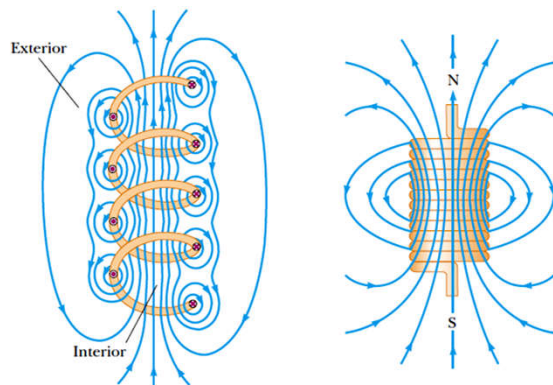


$$B = \frac{\mu_0 I \theta}{4\pi R} \quad \text{Onde } \theta \text{ é expresso em radianos}$$

No caso de se ter uma circunferência, θ é igual a 2π logo:

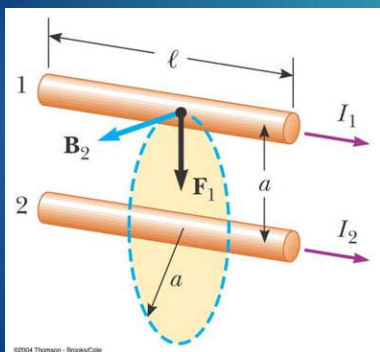
$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

Lei de Biot-Savart para um solenoide



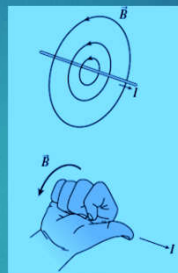
$$B_{\text{solenoid}} = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$$

Força magnética entre dois fios condutores



$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

$$B_{\text{fio 2}} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$



onde a é a distância entre o fio e o ponto onde queremos determinar o campo Magnético.

Substituindo na equação da força temos que a força que o fio 1 sente devido a presença do fio 2 será:

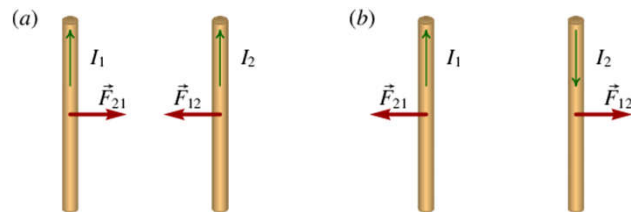
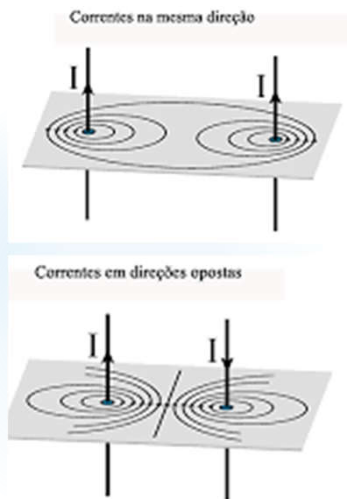
$$\vec{F}_1 = I_1 \vec{l} \times \vec{B}_2$$

$$|\vec{F}_1| = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l \sin 90}{2\pi a}$$

$$|\vec{F}_1| = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi a}$$

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$

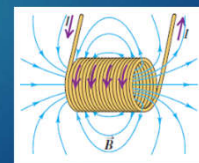
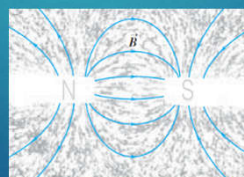
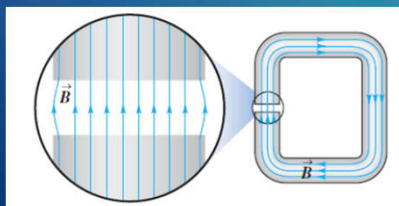
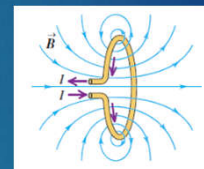
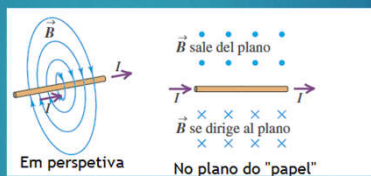
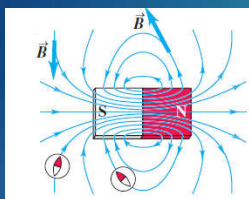
Força magnética entre dois fios condutores



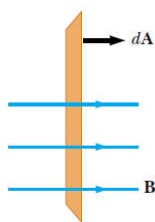
- (a) A intensidade de corrente nos fios são no mesmo sentido, as forças magnéticas são atrativas
(b) Quando a direção da intensidade de corrente tem sentidos opostos, as forças magnéticas são repulsivas

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$

Linhas de campo magnético



Fluxo magnético

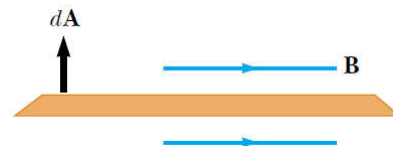


$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\Phi_B = |\vec{B}| |\vec{dA}| \cos \theta$$

A unidade de fluxo magnético no SI é o Weber , Wb

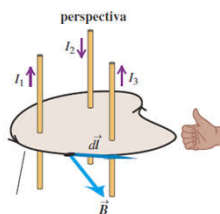
$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T m}^2$$



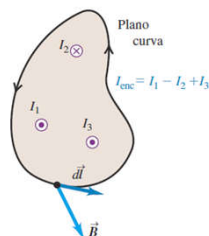
$$\Phi_B = 0$$

Lei de Gauss para o magnetismo

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 I_{\text{encircled}}$$



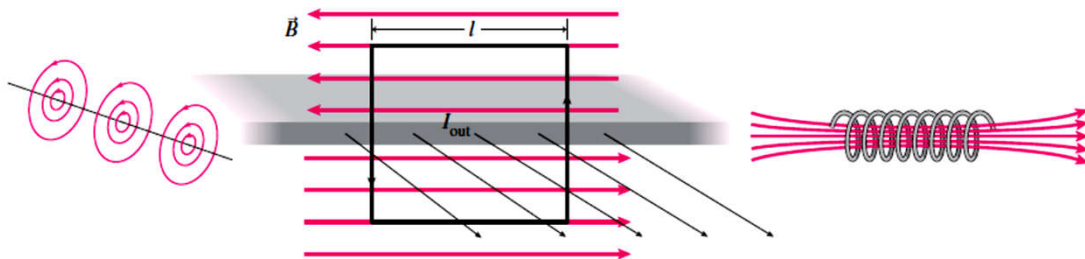
Lei de Ampere

Aplicações da Lei de Ampere

Line current: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

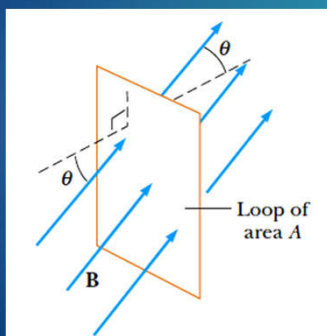
Current sheet: $B = \frac{1}{2} \mu_0 J_s$

Solenoid: $B = \mu_0 n I$



Lei de Faraday

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

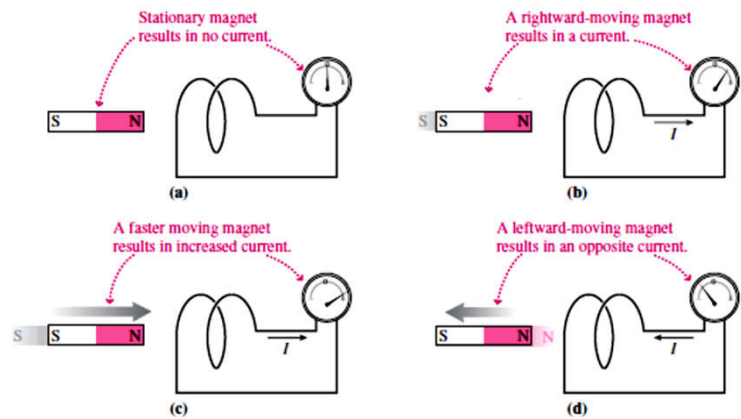


A f.e.m. \mathcal{E} induzida, “depende da variação do fluxo em função do tempo, isto é, depende da variação do campo magnético, da área e do ângulo entre o campo e o plano da área, por intervalo de tempo”

$$\mathcal{E} = - \frac{d}{dt} (BA \cos \theta)$$

Lei de Lenz

A corrente induzida numa espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente

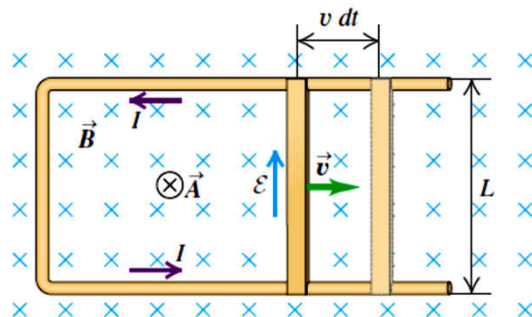


Exemplo

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -B\frac{dA}{dt}$$

$$dA = Lv \, dt.$$

$$\mathcal{E} = -B\frac{Lv \, dt}{dt} = -BLv$$



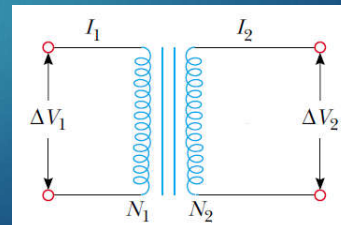
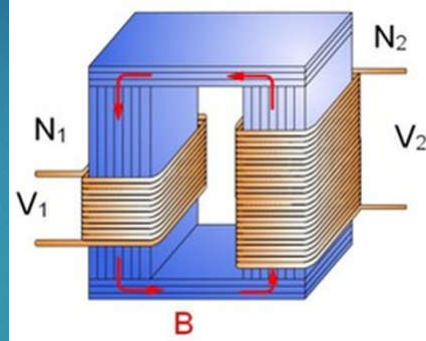
Transformador Ideal

- ▶ O fluxo magnético no primário é igual ao fluxo magnético no secundário

$$\Phi_P = \Phi_S \quad \Rightarrow \quad \Delta V_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta V_1$$

- ▶ A potência no primário é igual a potência no secundário

$$P_P = P_S \quad \Rightarrow \quad I_1 \Delta V_1 = I_2 \Delta V_2$$



Bibliografia

- ▶ Halliday e Resnick, "Fundamentos de Física - Eletromagnetismo", cap. 21, vol 3, 9ª Edição