

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Electrónica Industrial

Instrumentação e Projeto de Circuitos

Conceitos Básicos de Eletricidade

**LETI – Licenciatura em Engenharia de
Telecomunicações e Informática**

■ Carga elétrica

As cargas elétricas do próton, do eletrão e do neutrão são:

- $Q_p = e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (coulomb)
- $Q_e = -e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- $Q_n = 0$

As massas em repouso são:

- $m_p \approx m_n = 1.672 \times 10^{-24} \text{ g}$ (grama)
- $m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$

Os raios, assumindo-as esféricas, são:

- $r_p \approx r_n \approx r_e = 2.81 \times 10^{-15} \text{ m}$ (metro)

■ Força elétrica

... a **Lei de Coulomb** estabelece que duas cargas elétricas pontuais se atraem ou repelem com uma força cuja intensidade é:

$$F_{xy} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_x Q_y}{r^2} \text{ N (newton)}$$

$\epsilon_0 \rightarrow$ permitividade do vazio

$Q_x, Q_y \rightarrow$ valor absoluto das cargas elétricas

$r \rightarrow$ distância entre as cargas

Nota: a lei da gravitação universal estabelece que: $F_{xy} = G \frac{m_x m_y}{r^2} \text{ N (newton)}$, $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{Kg}^2$

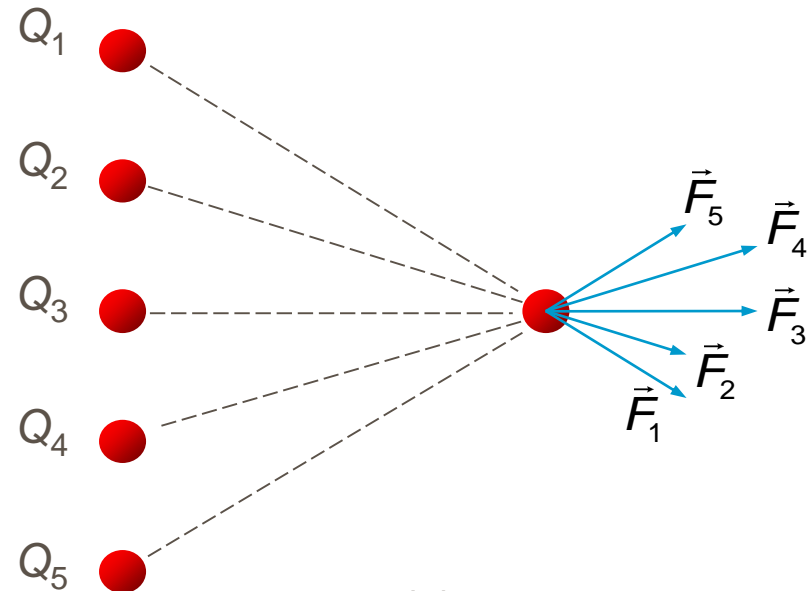
■ Força elétrica



(a)



(b)



(c)

■ Campo eléctrico

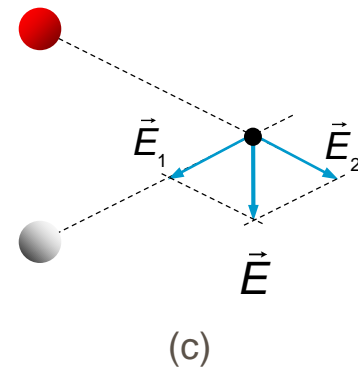
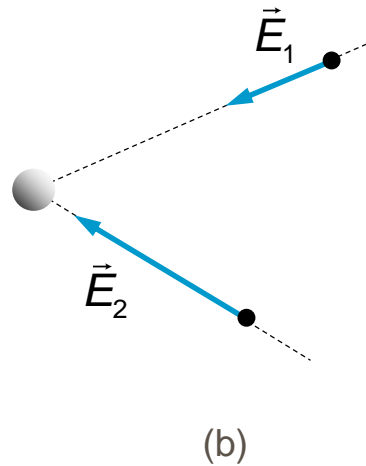
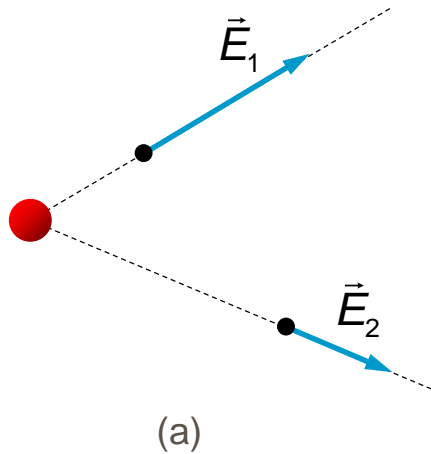
- O campo eléctrico é uma medida da acção que uma carga exerce sobre as cargas eléctricas localizadas no seu raio de acção. A intensidade do campo eléctrico criado por uma carga pontual é expressa por :

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_x}{r^2} \text{ V/m (volt por metro)}$$

Pelo que,

$$F_{x,y} = E_x Q_y$$

■ Campo elétrico



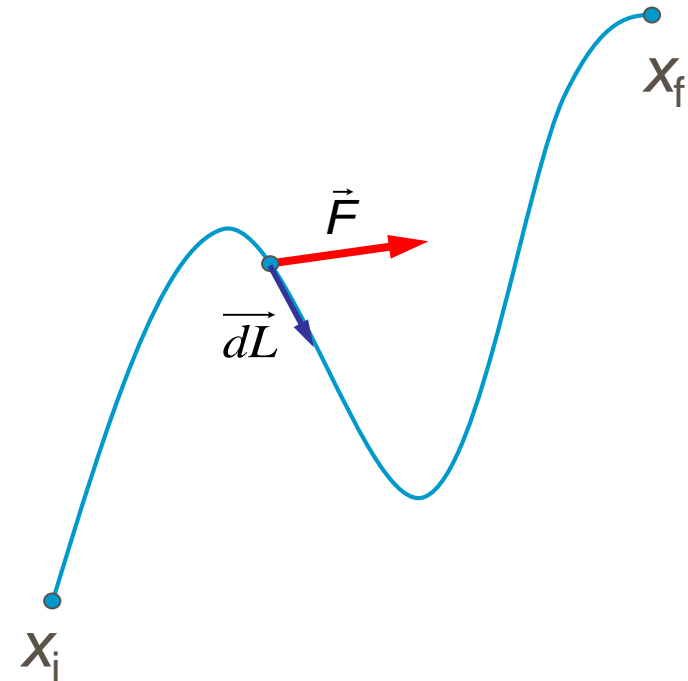
■ Energia Potencial (elétrica)

- Energia – caso geral do deslocamento de uma massa sob acção de uma força:

$$W = - \int_{x_i}^{x_f} \vec{F} \bullet \overrightarrow{dL} \text{ J (joule)}$$

- Caso particular da queda de uma massa num campo gravitacional (a força é constante e a direcção coincidente com o deslocamento)

$$W = mgh$$



■ Tensão eléctrica

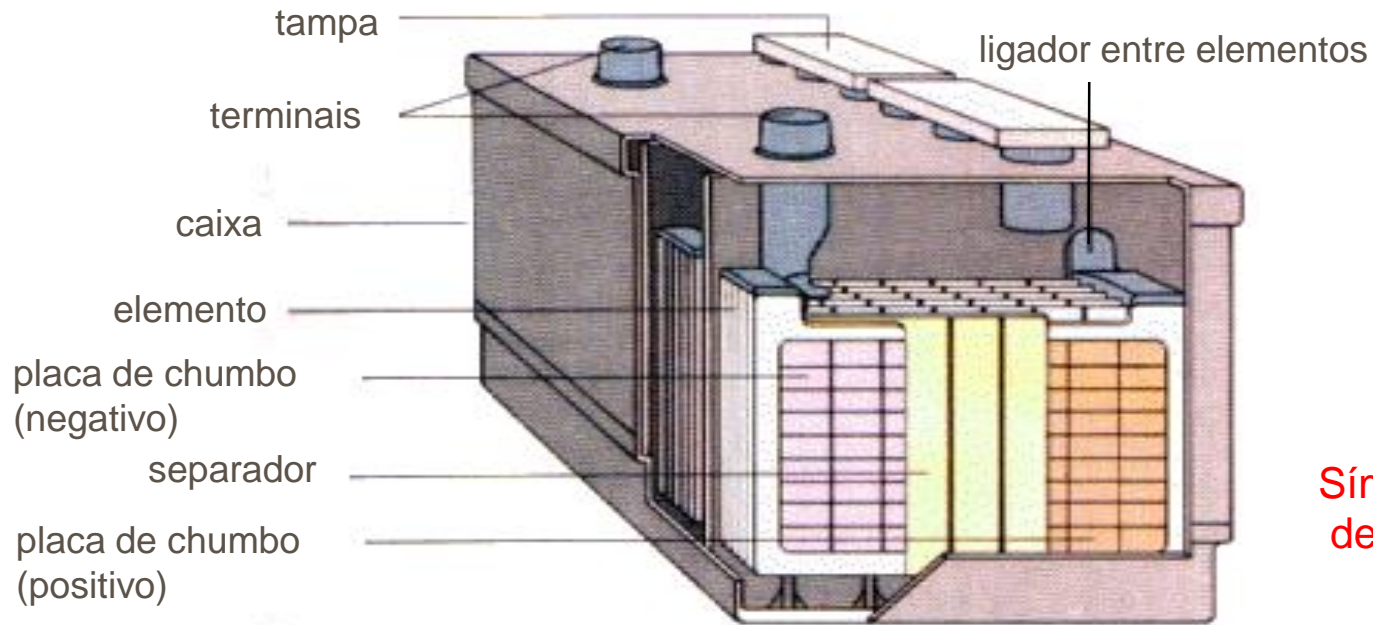
- A tensão é uma medida da energia envolvida no transporte de uma carga elementar entre dois pontos de um campo eléctrico. É uma quantidade que se mede em **volts (V)** e que coincide com o quociente entre a energia libertada e a quantidade de carga transportada:

$$Tensão = \frac{W}{Q} \text{ V (volts)}$$

- Tendo em atenção as relações entre trabalho, força e campo eléctrico, verifica-se que,

$$Tensão = \frac{W}{Q} = \frac{-\int_{x_i}^{x_f} \vec{F} \cdot d\vec{L}}{Q} = \frac{-\int_{x_i}^{x_f} Q\vec{E} \cdot d\vec{L}}{Q} = \int_{x_i}^{x_f} \vec{E} \cdot d\vec{L}$$

■ Fontes de tensão



Bateria de chumbo



Símbolo de uma fonte de tensão de corrente contínua (CC)

■ Fontes de tensão

- Valor nominal da tensão de fontes bem conhecidas:
 - Tensão gerada pelas células nervosas: cerca de 30 mV
 - Baterias recarregáveis NiMH or NiCd (por cada célula): 1.2 V
 - Pilhas de mercúrio: 1.355 V
 - Pilhas alcalinas (tipo AAA, AA, C e D): 1.5 V
 - Alimentação do sistema elétrico dos automóveis: 12 V (nominal)
 - Tensão nominal de rede elétrica doméstica: 230 V (eficazes ou RMS) na Europa, Austrália, Ásia e África, 120 V na América do Norte, 100 V no Japão
 - Tensão de alimentação de comboios de alta velocidade: 25 kV eficazes
 - Linhas de transporte de energia elétrica em alta tensão: entre 110 kV e 1150 kV eficazes
 - Relâmpago: varia muito, frequentemente à volta de 100 MV.

■ Corrente eléctrica

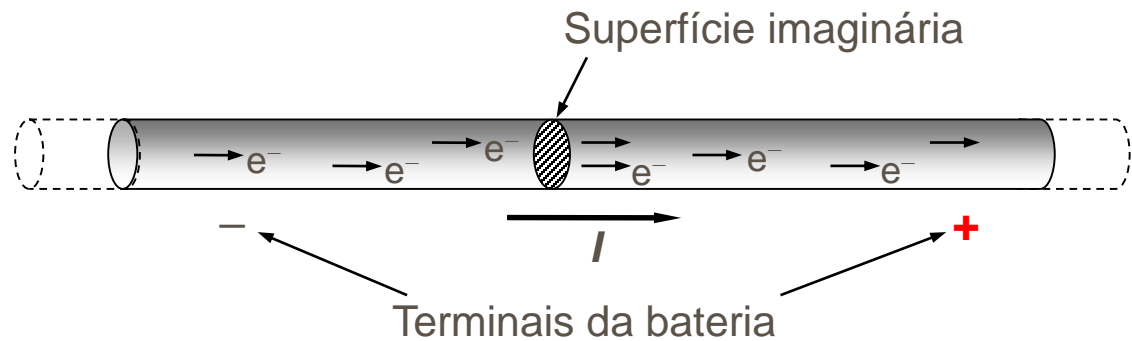
... define-se corrente eléctrica média como a quantidade de carga eléctrica que na unidade de tempo atravessa uma dada secção de um condutor...

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \text{ A (ampere)}$$

$$\rightarrow i(t) = \frac{dq}{dt}$$

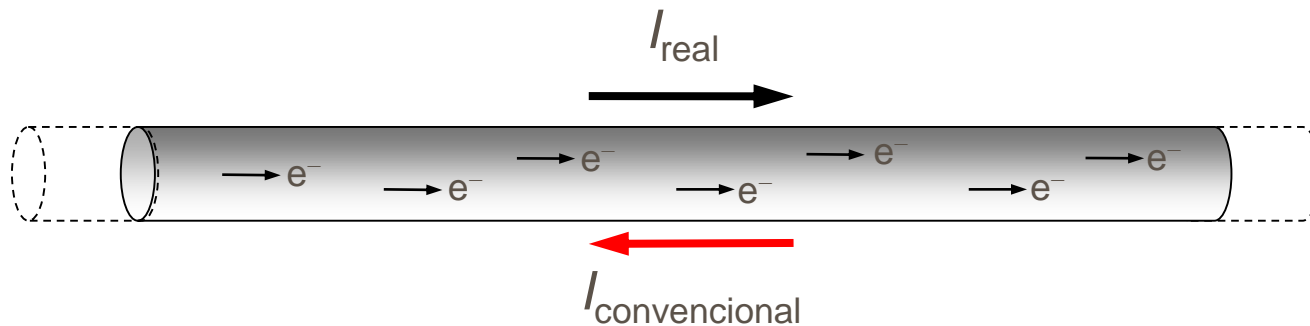
(corrente instantânea)

$$\rightarrow q(t) = \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

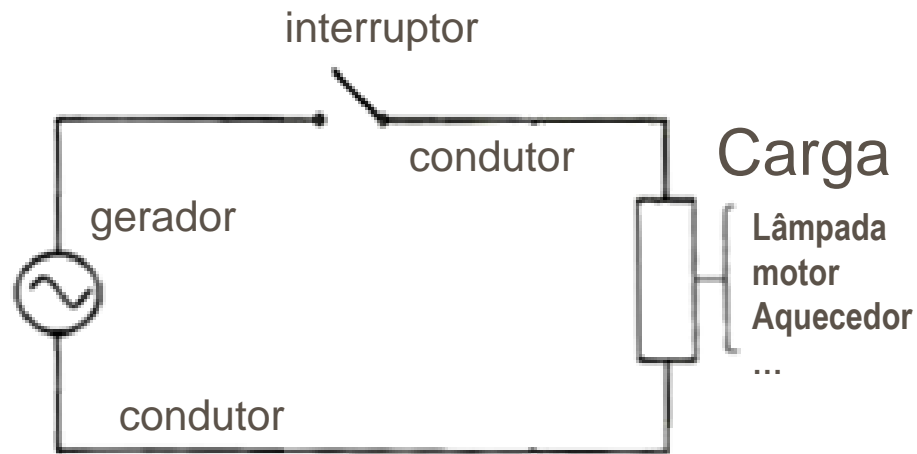


■ Corrente eléctrica

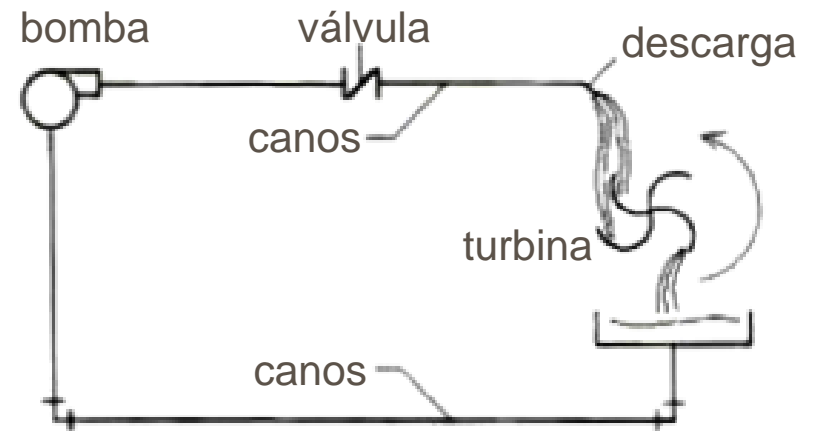
- **Fluxo de eletrões**, oposto ao sentido convencional da corrente, que é normalmente usado
- A corrente eléctrica (I) tem como unidade o ampere (**A**)
- Diz-se que uma **corrente** eléctrica **passa num componente ou ramo** de um circuito
- Usam-se **setas retas** para indicar os sentidos de correntes eléctricas



■ Circuito elétrico (analogia com um sistema hidráulico)



Sistema elétrico

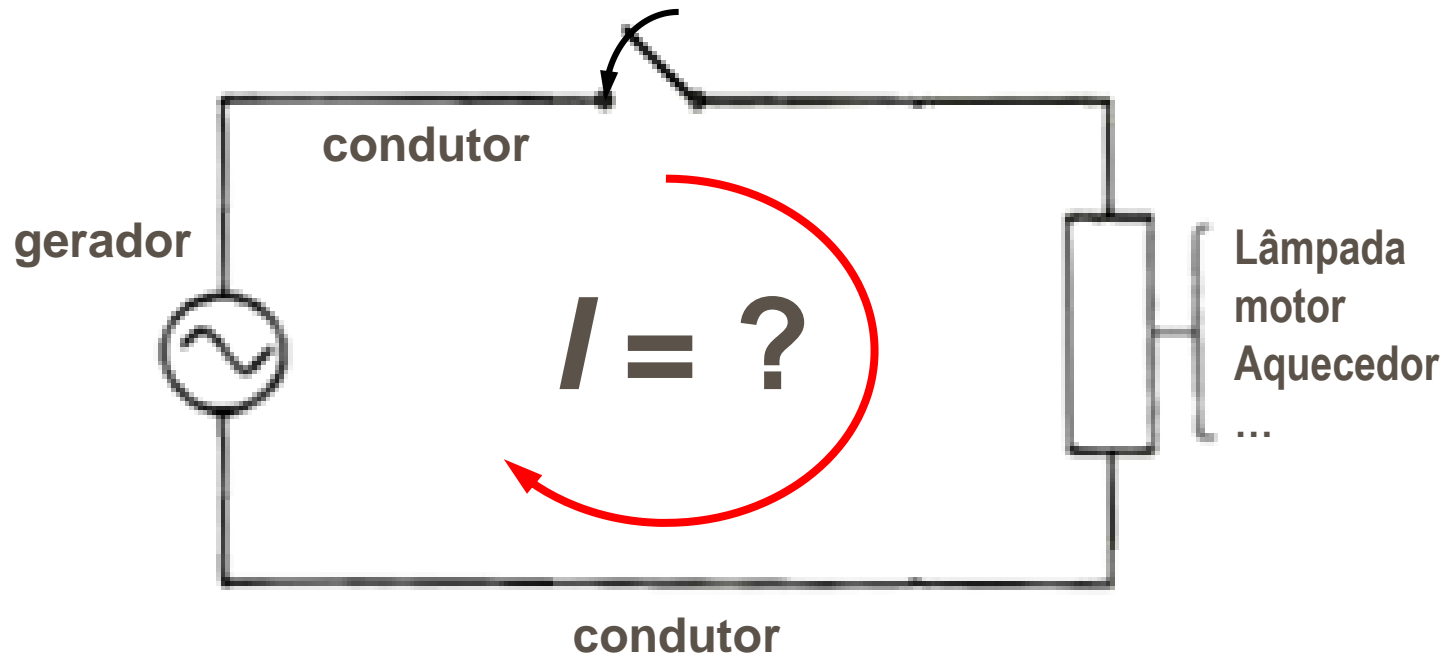


Sistema Hidráulico

■ Analogia com um sistema hidráulico

Analogia eléctrico-Hidráulico	
Gerador	Bomba
Tensão (volt)	Pressão (nível, Pa)
Corrente (A)	Caudal (l/s)
Resistência eléctrica (Ω)	Atrito no circuito hidráulico
Electrões	Água
(Carga)	(Volume de água)
Interruptor	Válvula (on/off)

- Como se relaciona a tensão com a corrente?

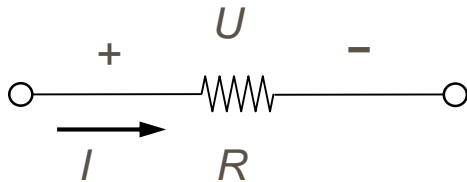


■ Resistência elétrica e Lei de Ohm

- As duas grandezas elétricas fundamentais – **tensão** e **corrente** – relacionam-se através de outra grandeza de igual importância: a **resistência**
- A relação entre as duas grandezas é descrita pela **mais importante das leis dos circuitos elétricos: a lei de Ohm:**

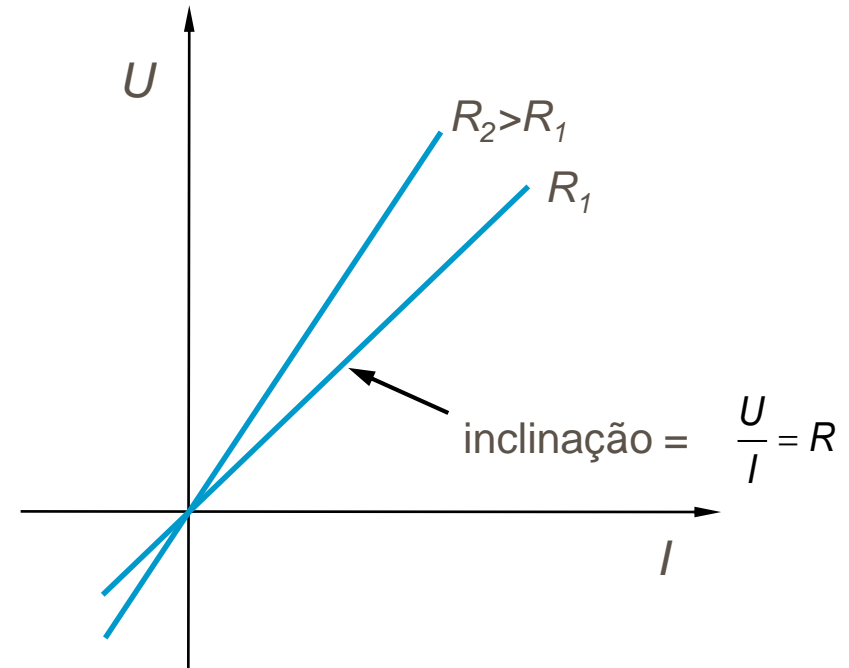
$$R = \frac{U}{I} \text{ } \Omega \text{ (ohm)} \quad \rightarrow \quad I = \frac{U}{R}, \quad U = RI$$

■ Resistência elétrica e Lei de Ohm



Símbolo da resistência e polaridades

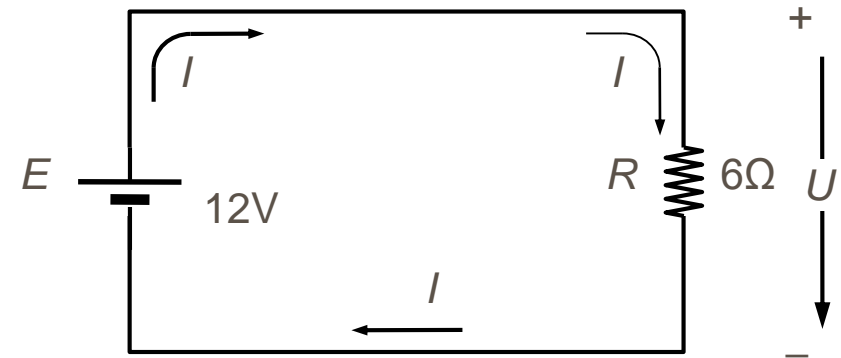
$$U = RI$$



A resistências não têm polaridade!

■ Resistência elétrica. Lei de Ohm

$$I = \frac{E}{R} = \frac{U}{R} = \frac{12\text{ V}}{6\ \Omega} = 2\text{ A}$$



Circuito elétrico simples

■ Resistência elétrica

- O fluxo ordenado de cargas elétricas através de um material pela aplicação de uma diferença de potencial e é limitado pela estrutura interna do mesmo.

Existem 3 tipos de materiais:

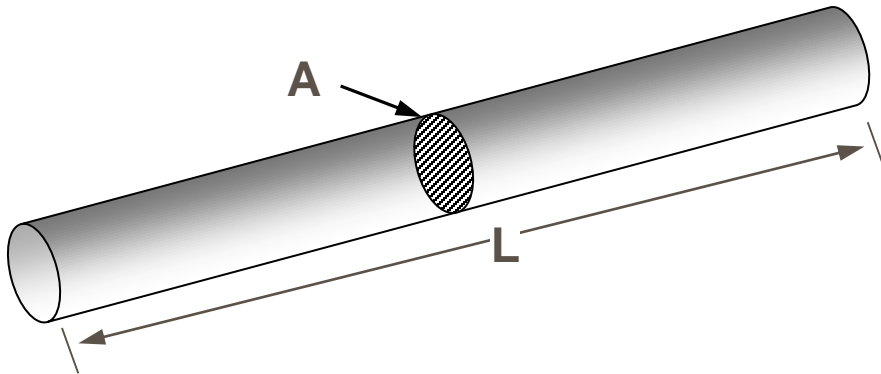
- Condutores
- Isoladores (não condutores)
- Semicondutores

■ Resistência de um condutor

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

← depende da geometria

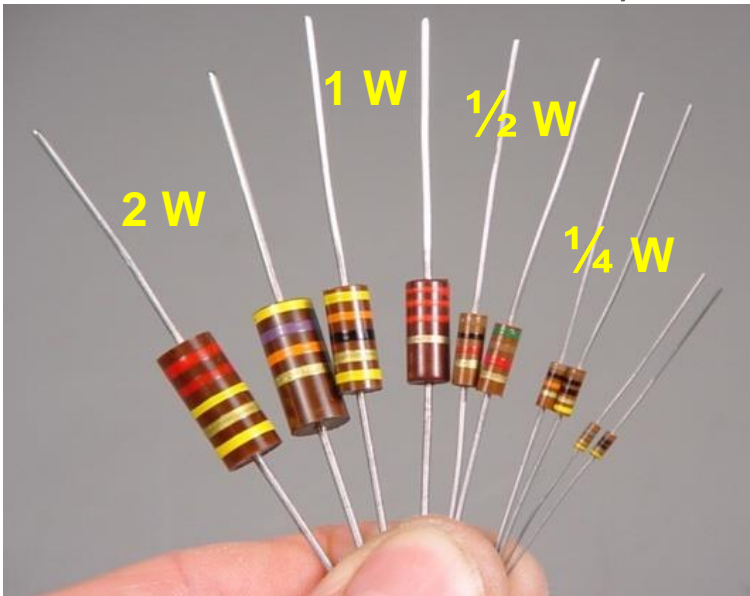
Resistividade (depende do material e da temperatura)



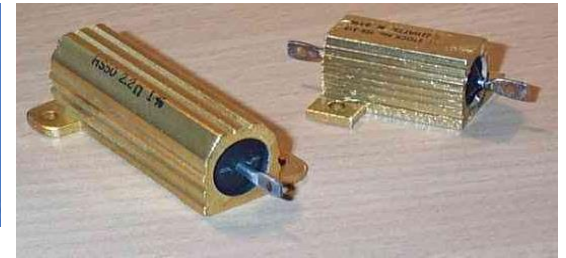
Material	Resistividade (@ 20°C)
prata	$1.645 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
cobre	$1.723 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
ouro	$2.443 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
alumínio	$2.825 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
tungsténio	$5.485 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
níquel	$7.811 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
ferro	$1.229 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$
constantan	$4.899 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$
nicrómio	$9.972 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$
carbono	$3.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot m$
silício	$2.3 \times 10^3 \Omega \cdot m$
polystirene	$\sim 10^{16} \Omega \cdot m$

■ Tipos de Resistências

W -> Watts (potência)



(a)



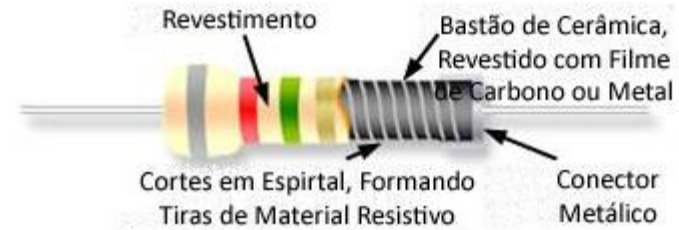
(b)

Resistências fixas: (a) de carbono; (b) bobinadas

■ Tipos de resistências



Resistência de carbono



Resistência de filme de carbono



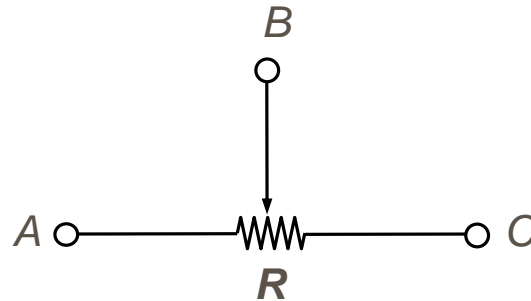
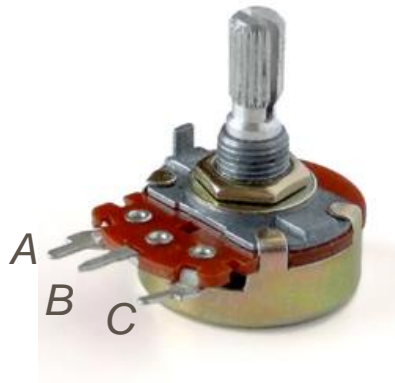
Resistência bobinada



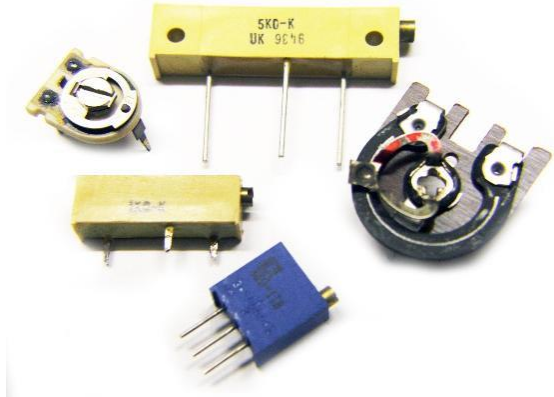
■ Tipos de resistências

Potenciómetro -> resistência ajustável

Potenciómetro rotativo (dispositivo e símbolo)



Potenciómetros “trimmer”



← Potenciómetro “slide”

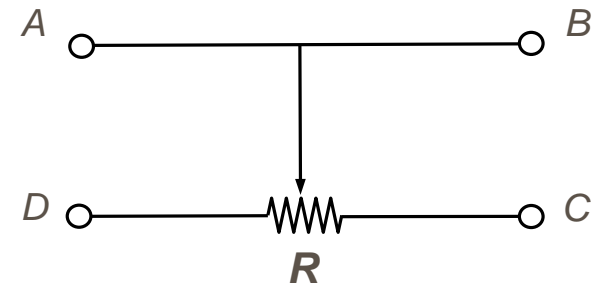
Potenciómetro de precisão →



■ Tipos de resistências



Reóstato bobinado (dispositivo e símbolo)



Reóstato toroidal →



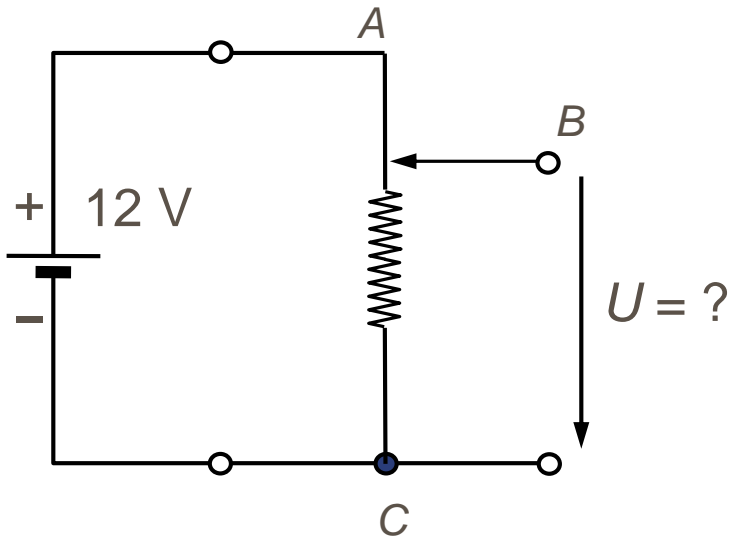
Tópicos Preliminares

■ Resistência elétrica

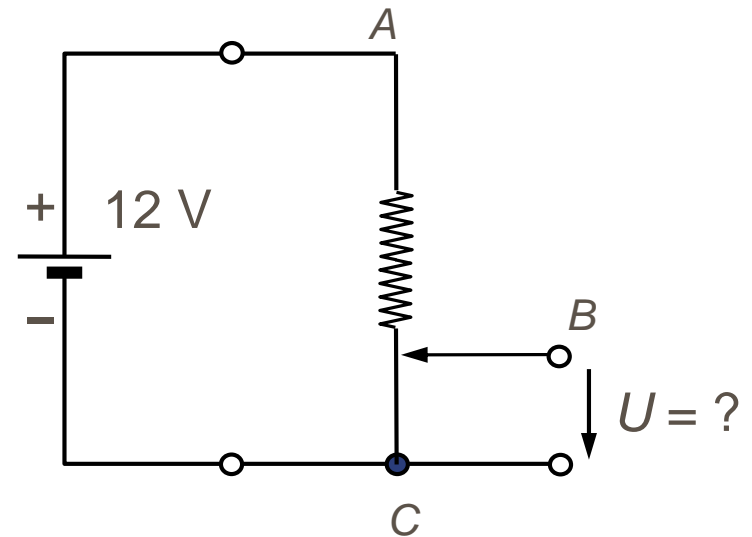
■ Potenciômetro



$$R_{\text{fios}} = 0 \text{ (ideal)} \quad U = R I$$



$$V_{AC} = V_A - V_C = 12 \text{ V}$$

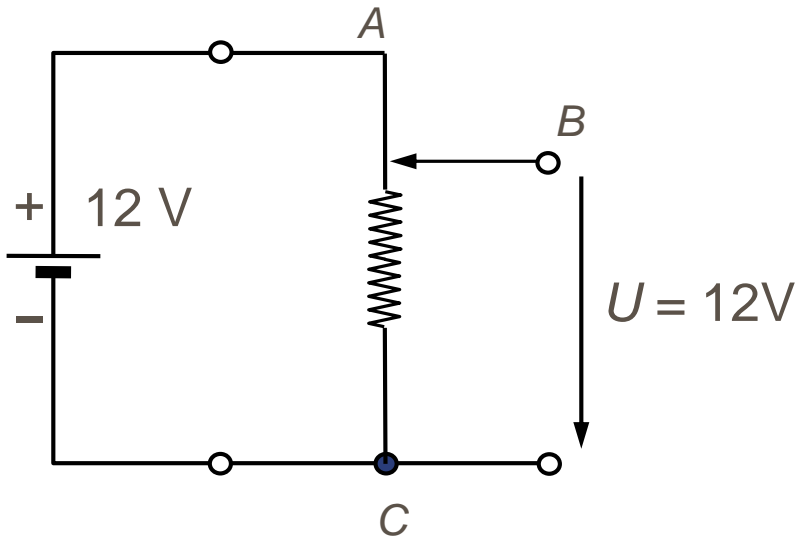


$$V_C = 0 \text{ V (ground)}$$

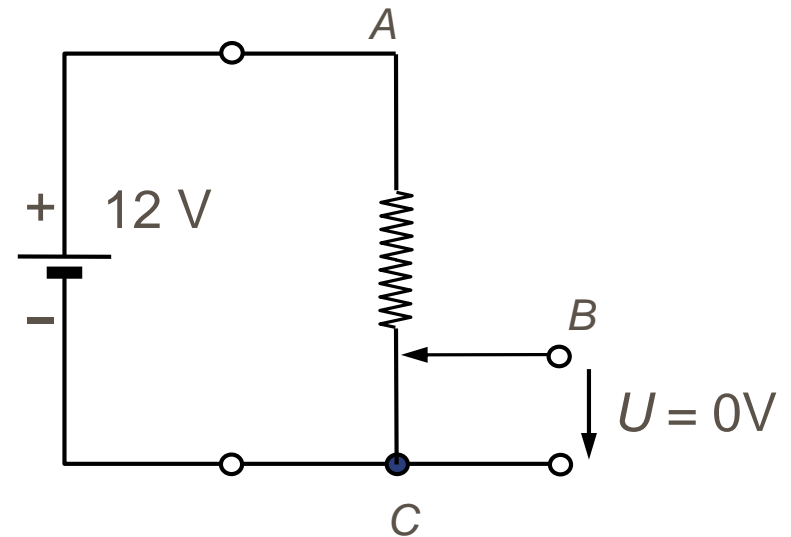
Tópicos Preliminares

■ Resistência elétrica

■ Potenciômetro



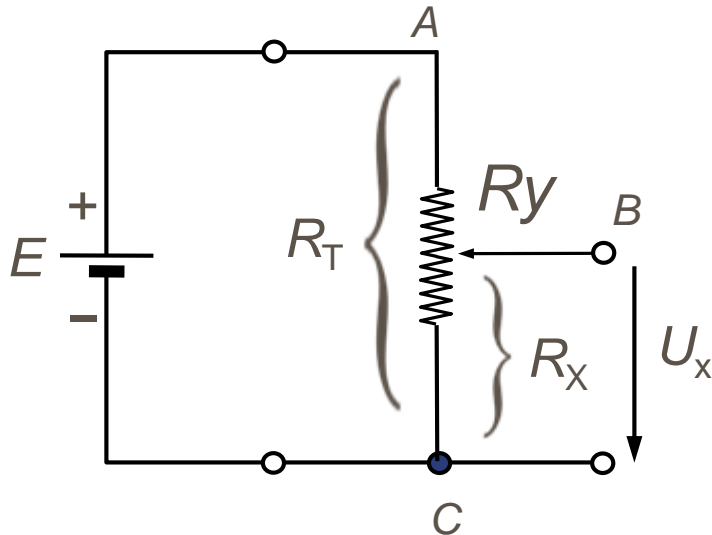
$$V_B = V_A$$



$$V_B = V_C$$

■ Resistência elétrica

■ Potenciômetro



$$I = \frac{E}{R_T}$$

$$U_x = R_x I$$

Fórmula do divisor de tensão:

$$U_x = E \frac{R_x}{R_T}$$

$$R_T = R_x + R_y$$

■ Especificação de resistências

O valor da resistência em ohms é normalmente dado pelo código de cores

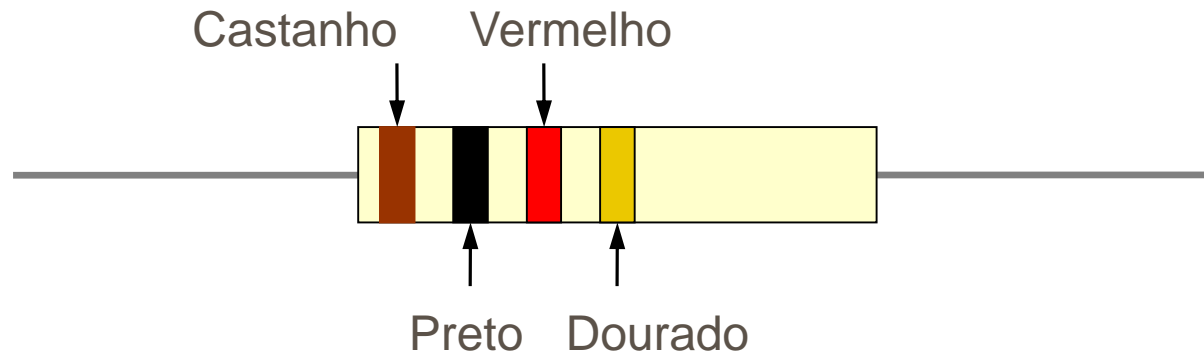
0	Preto	7	Violeta	
1	Castanho	8	Cinzentos	
2	Vermelho	9	Branco	
3	Laranja	0.1	Dourado	} Multiplicador
4	Amarelo	0.01	Prateado	
5	Verde	5%	Dourado	} Tolerância
6	Azul	10%	Prateado	



Código de Cores

■ Especificação de resistências -> Exemplo

$R = ?$

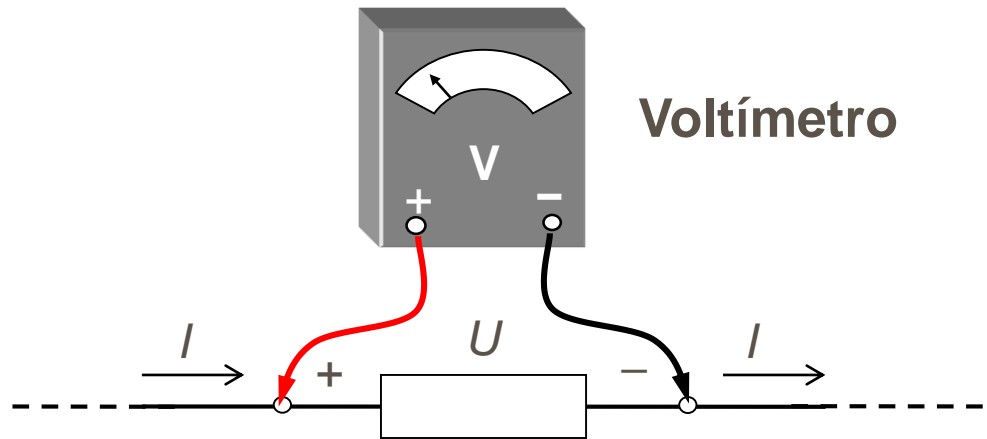


Castanho = 1, Preto = 0, Vermelho = 10^2 Dourado = $\pm 5\%$

$$10 \times 10^2 \pm 5\% = 1000 \pm 50 = \mathbf{950 \, \Omega \leftrightarrow 1050 \, \Omega}$$

Rudimentos de Eletricidade

■ Medida de tensão



Resistência interna do voltímetro ideal:

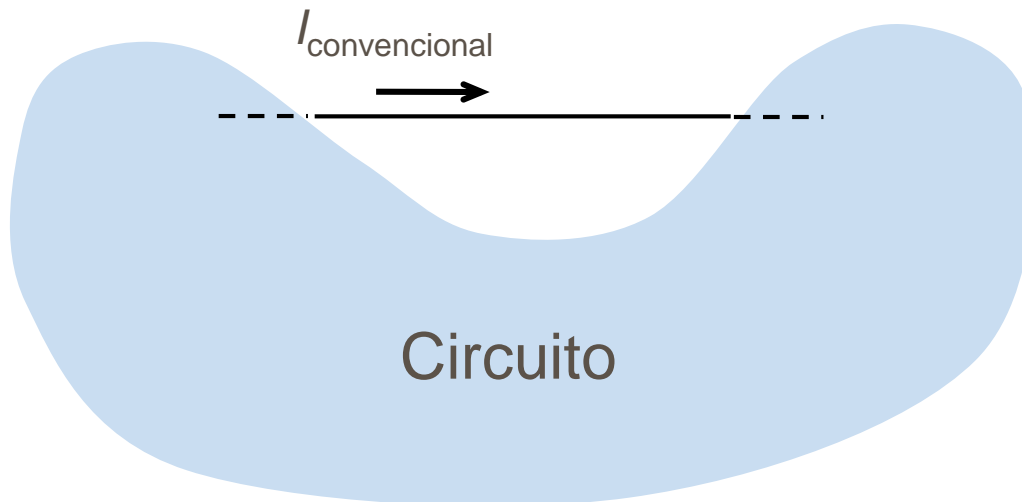
$$\rightarrow R = \infty \Omega$$

Medição **em paralelo** com o componente



■ Medida de corrente eléctrica

Onde entra o amperímetro?



■ Medida de corrente eléctrica

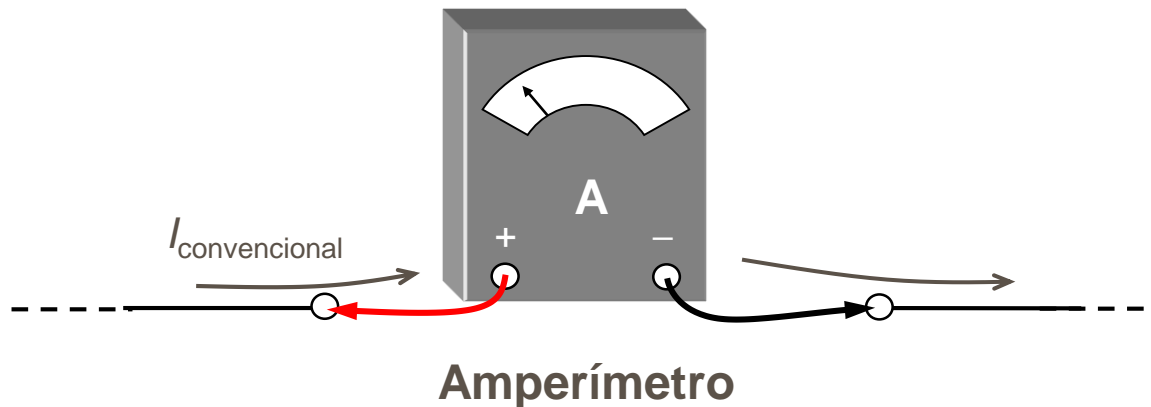
Medição **em série** no ramo do componente



É necessário “abrir o circuito”
no ramo desejado para colocar
o amperímetro



■ Medida de corrente eléctrica



Resistência interna do amperímetro ideal:

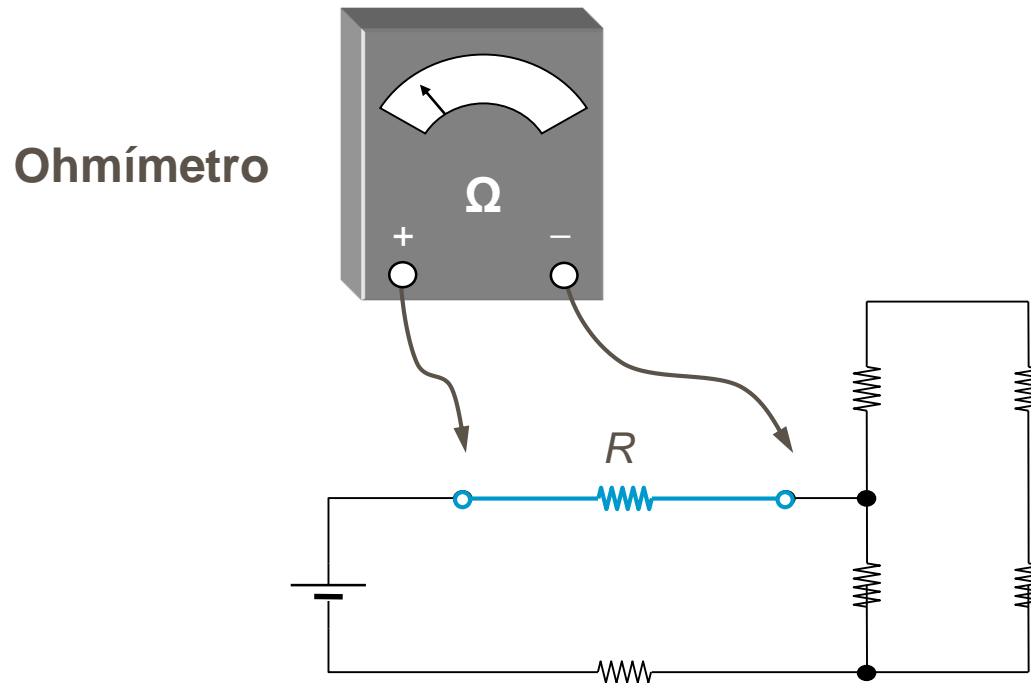
$$\rightarrow R = 0 \, \Omega$$

Risco de queimar o fusível do multímetro se ligar em paralelo!



Rudimentos de Eletricidade

■ Medida de resistências

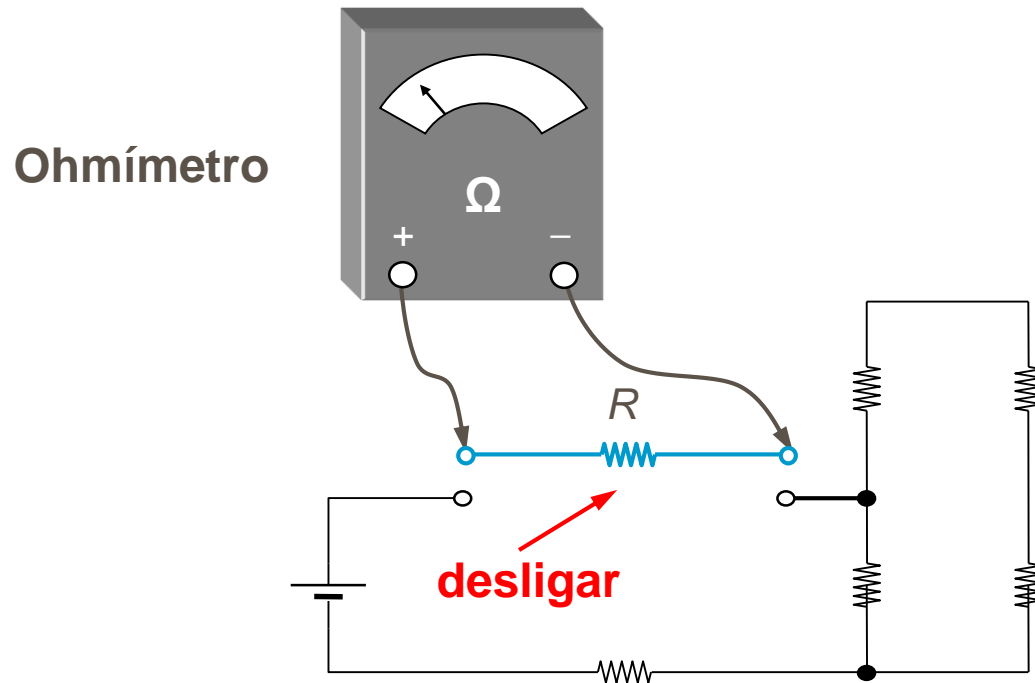


A resistência não deve ser medida no circuito



Rudimentos de Eletricidade

■ Medida de resistências



■ Medida de resistências



(a)



(b)

Multímetros: (a) analógico; (b) digital (de bancada)

- Utilização dos aparelhos de medida – escolha da escala adequada

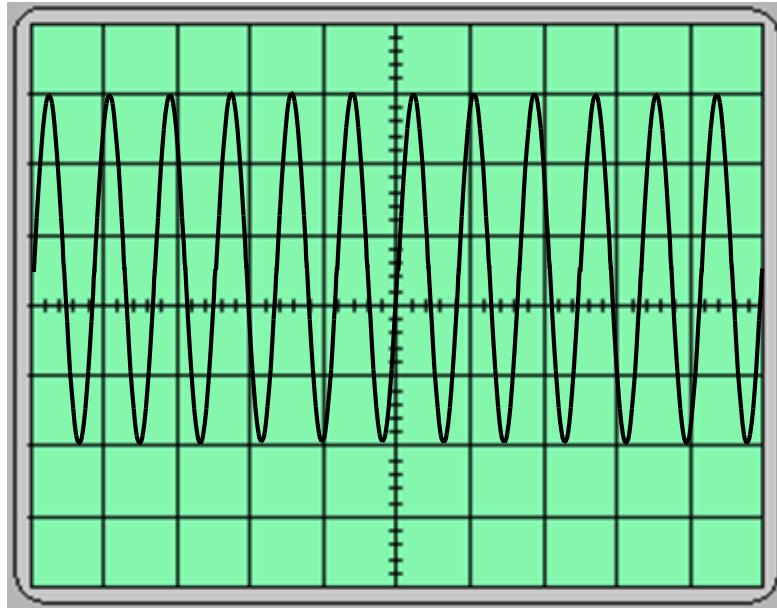


Errado

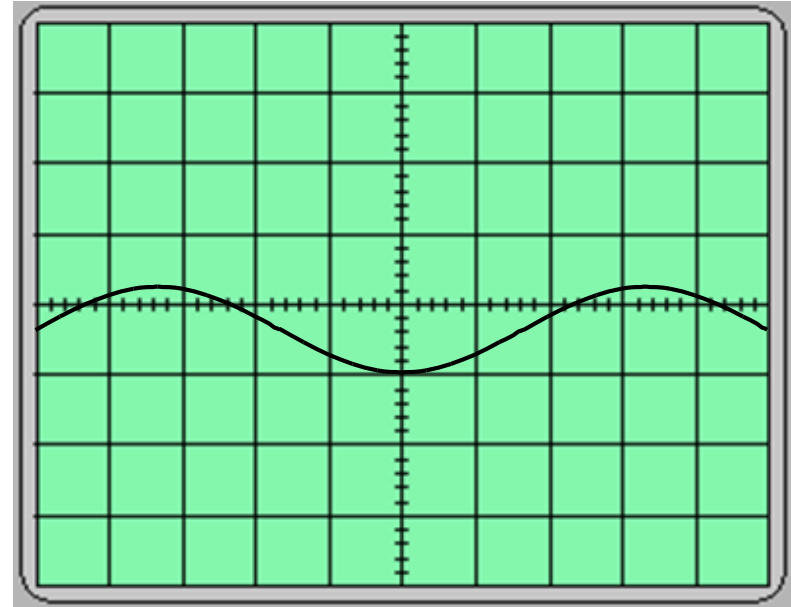


Certo

■ Utilização dos aparelhos de medida – escolha da escala adequada



Escala (base de tempo) mal seleccionada se o objetivo é medir tempos/frequência



Escala (sensibilidade) mal seleccionada se o objetivo é medir amplitudes (V)

■ Potência elétrica

- A potência (caso geral) é uma medida do ritmo a que se dissipa ou acumula energia.

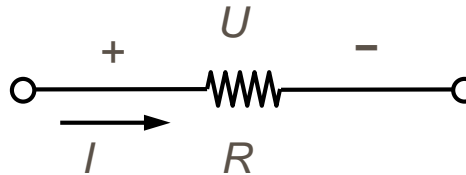
$$P = \frac{W}{\Delta T} \text{ W (watt)}, \quad p(t) = \frac{dw(t)}{dt}, \quad w(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau$$

Tendo em conta as relações entre trabalho, tensão, carga, tempo e corrente elétrica, a potência elétrica é dada por (valor médio),

$$P = \frac{W}{\Delta T} = \frac{W}{Q} \frac{Q}{\Delta T} = U \cdot I \text{ (W)}$$

$$\rightarrow P = U \times I \text{ (W)}$$

■ Potência dissipada numa resistência. Lei de *Joule*



... a potência dissipada por *efeito de Joule* numa resistência é dada por:

$$P = U \times I = \overbrace{(R \times I)}^{\text{lei de ohm}} \times I \rightarrow P = R \times I^2$$

ou...

$$P = U \times I = U \times \underbrace{\left(\frac{U}{R}\right)}_{\text{lei de ohm}} \rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

■ Potência elétrica

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA (W)	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA (W)
Rádio	30	Lava roupa	400
Amplificador (sistema HIFI)	75	Lava louça	1500
Computador portátil	60	Aquecedor	1500
Relógio	2	Frigorífico	300
TV (cores)	160	Torradeira	1200
Máquina de barbear	10	Ferro de passar	1000

Potência típica de alguns equipamentos de uso doméstico (valor médio em watts)

■ Energia eléctrica

$$W = P \cdot t \quad (\text{J})$$

$$W \text{ (em kWh)} = \frac{P \text{ (em watts)} \times t \text{ (em horas)}}{1000}$$

■ Potência/Energia elétrica

■ Exemplo

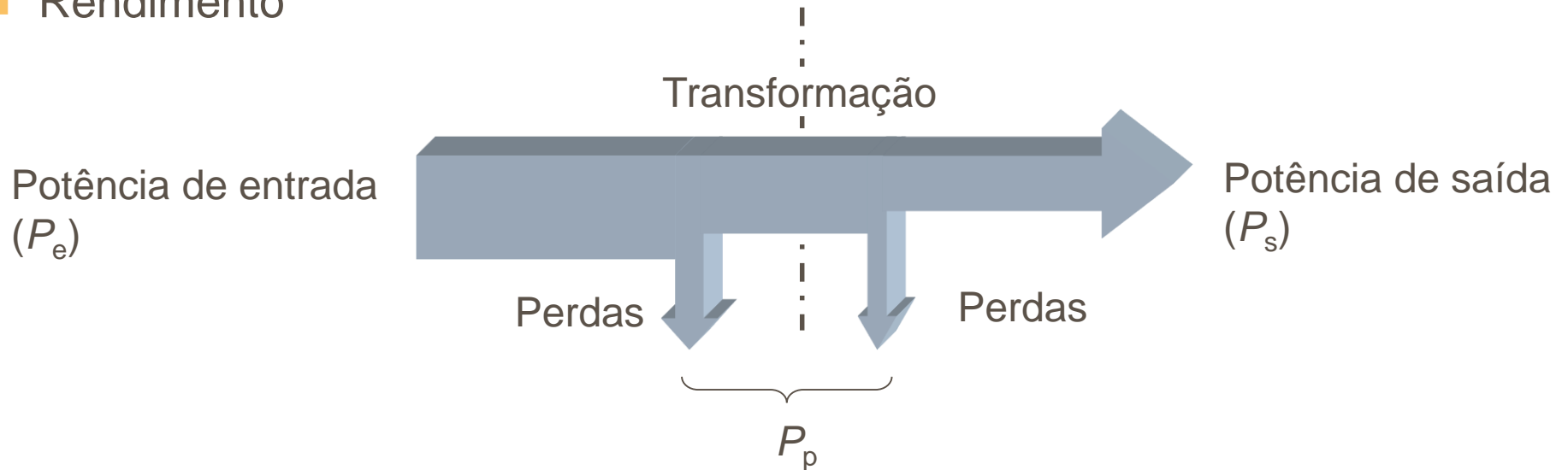
... qual é o custo da energia consumida por um radiador de 2 kW que funciona durante 1h30m?. Assuma que o custo do kWh são 0.16 €.

$$W = \frac{2000W \cdot 1.5h}{1000} = 3 \text{ kWh}$$

$$\Rightarrow \text{Custo} = 3 \text{ kWh} \frac{0.16\text{€}}{\text{kWh}} = 0.48\text{€}$$

■ Potência/Energia elétrica

■ Rendimento



$$P_e = P_s + P_p$$

P_p -> Potência perdida

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \times 100\%$$