



Universidade de São Paulo (USP), Escola  
de Engenharia de Lorena (EEL),  
Curso de Engenharia Física



# **Circuitos Elétricos - teoria e prática (LOM3262)**

**Prof. Dr. Andy Blanco Rodriguez**

**Lorena-SP  
2025/2**



- Elementos de circuitos lineares;
- Tensão, Corrente;
- Resistência, Condutância;
- Lei de Ohm;
- Potência.

# Tensão



## Tensão elétrica

A tensão elétrica está no dia a dia de todos nós.

[https://www.k3distribuidora.com.br/ecommerce/7607/estabilizador-nobreak/bateria-para-nobreak-12v-7a-unipower-up1270seg-/](https://www.k3distribuidora.com.br/ecommerce/7607/estabilizador-nobreak/bateria-para-nobreak-12v-7a-unipower-up1270seg/)



<https://www.raizespesca.com.br/lanterna-original-1-led-1-w-bivolt-s10065>



<https://blog.neteletrica.com.br/mau-contato-na-tomada/>

# Tensão elétrica

A **corrente elétrica** é “algo” que se desloca através de fios, “algo” que causa descargas.



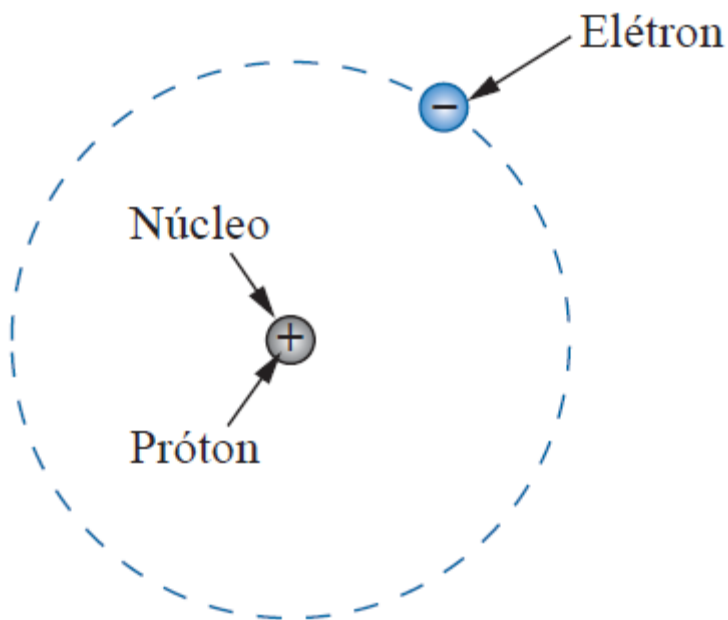
<https://www.clickpb.com.br/cotidiano/distribuidora-de-energia-deve-indenizar-vitima-de-descarga-eletrica-179840.html>

<https://setelagoas.com.br/noticias/brasil/45786-ligar-varios-aparelhos-juntos-no-mesmo-benjamim-representa-grande-risco/>



# Os átomos e sua estrutura

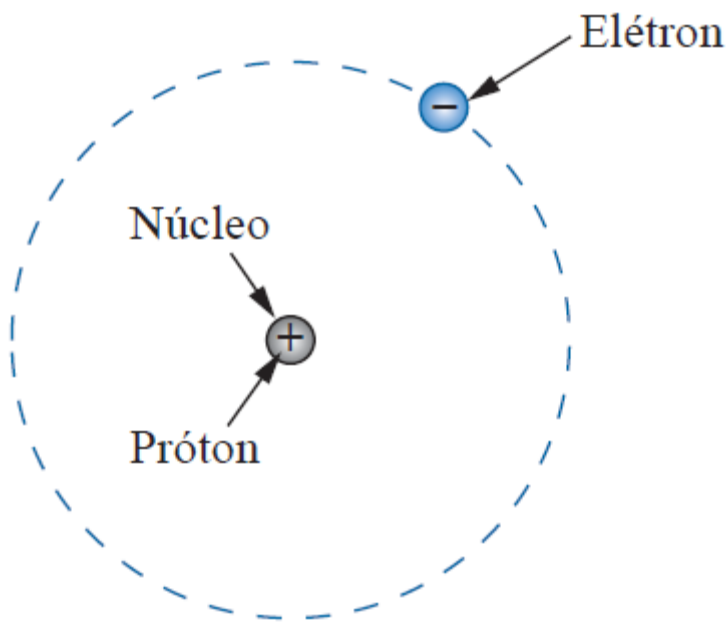
Uma compreensão básica dos **conceitos fundamentais de corrente e tensão** requer um determinado nível de familiaridade com o **átomo e sua estrutura**.



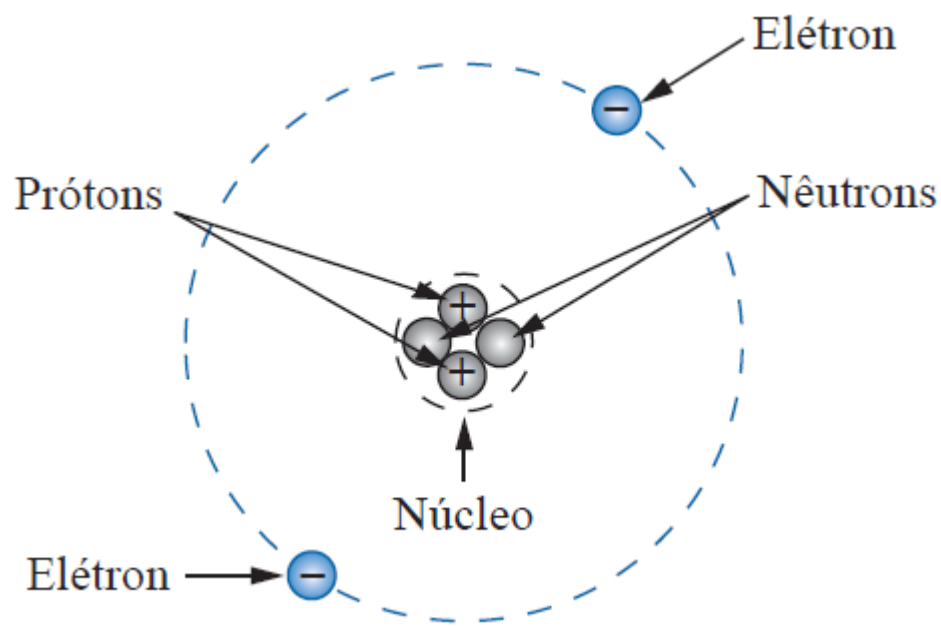
**Átomo de hidrogênio**

# Os átomos e sua estrutura

Uma compreensão básica dos **conceitos fundamentais de corrente e tensão** requer um determinado nível de familiaridade com o **átomo e sua estrutura**.



**Átomo de hidrogênio**



**Átomo de hélio**



## Os átomos e sua estrutura

A estrutura atômica de qualquer **átomo estável** tem um **número igual** de **elétrons** e **prótons**.

Diferentes átomos têm **diversos números de elétrons** em órbitas concêntricas chamadas **camadas** em torno do núcleo.

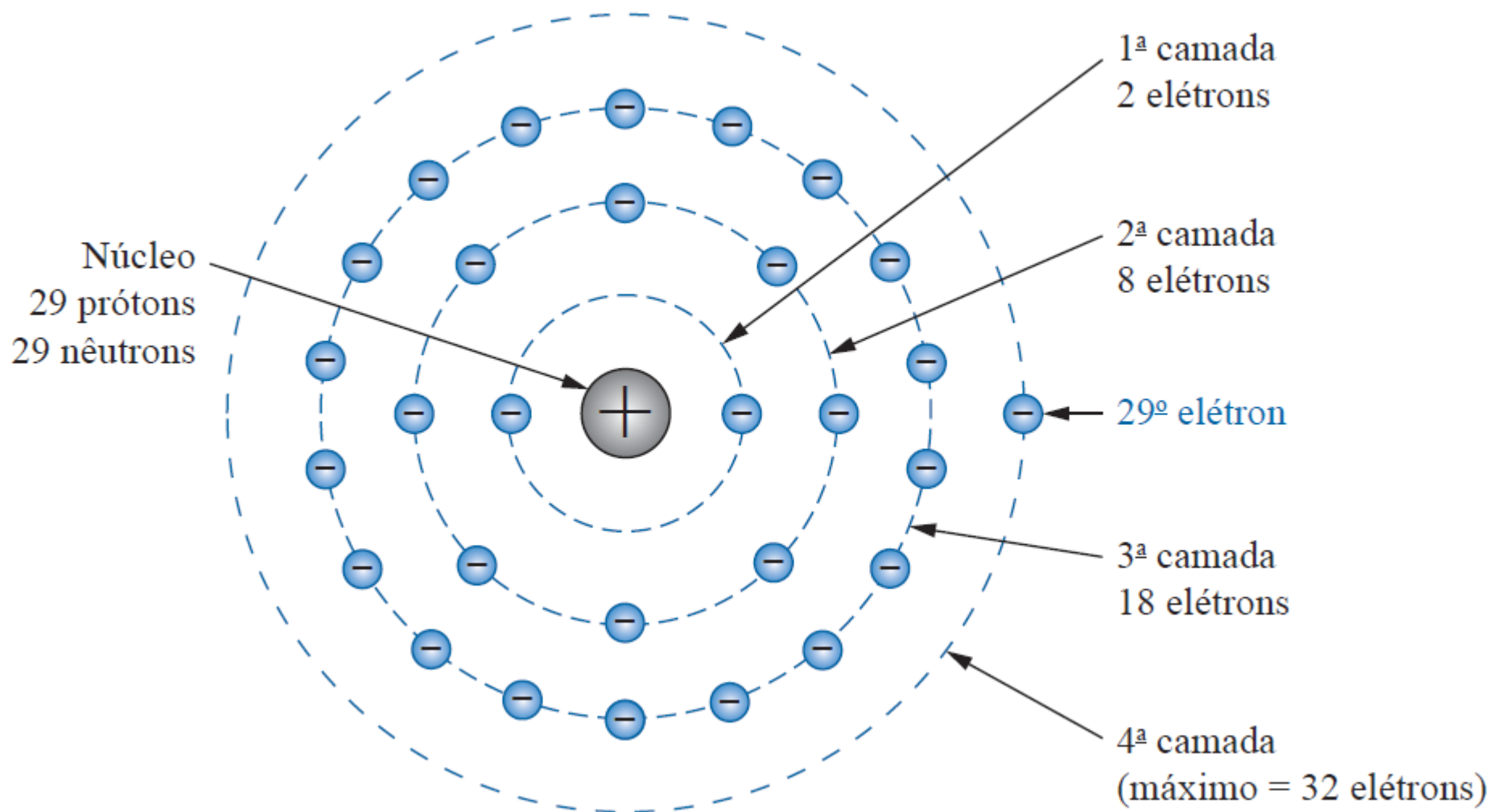
A **primeira camada**, que é a mais próxima do núcleo, pode conter apenas **dois elétrons**.

O número de elétrons nas camadas seguintes é determinado por  **$2n^2$** , onde  $n$  é o **número de camadas**.



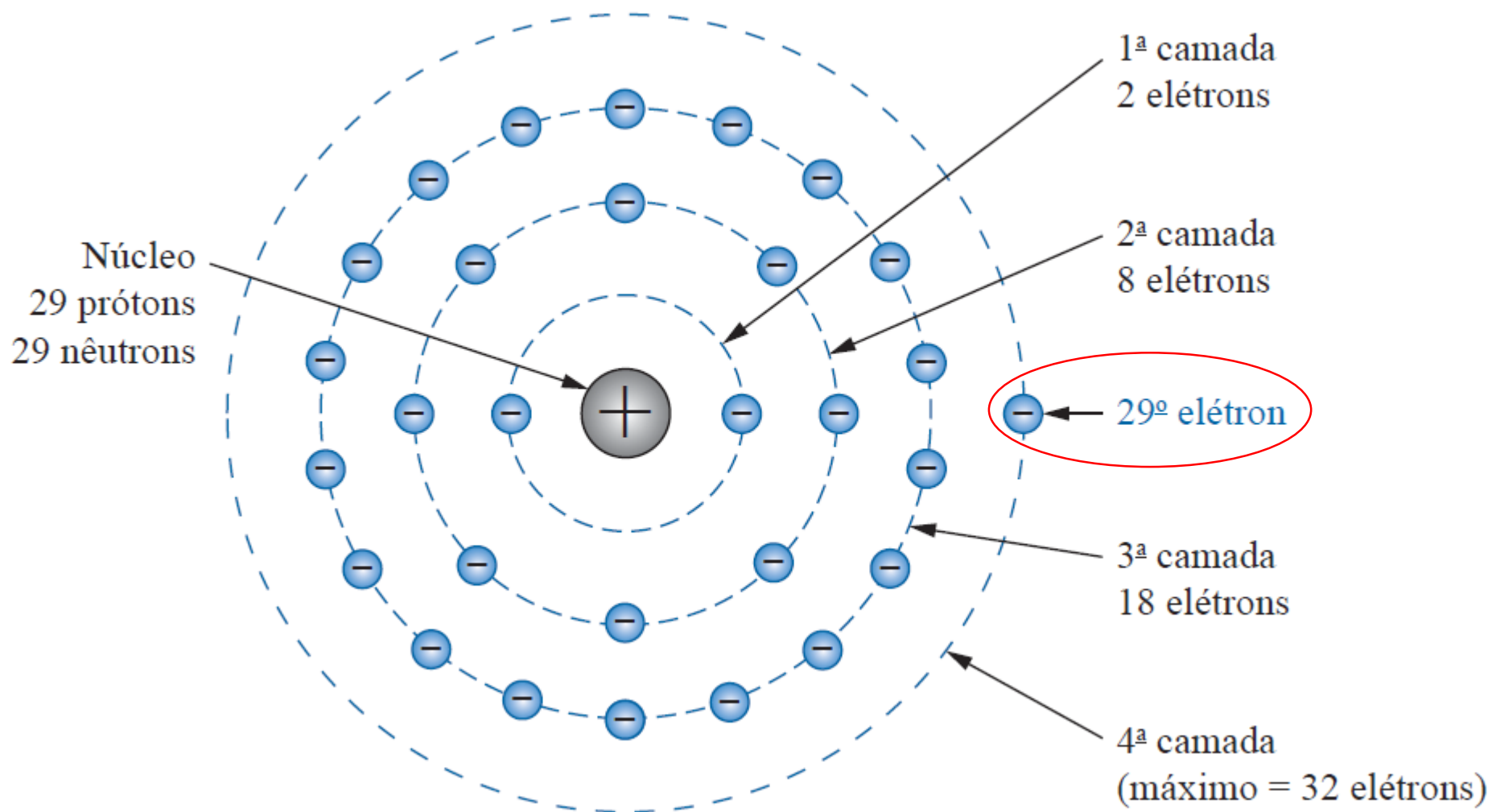
# Os átomos e sua estrutura

## Estrutura atômica do **cobre**.



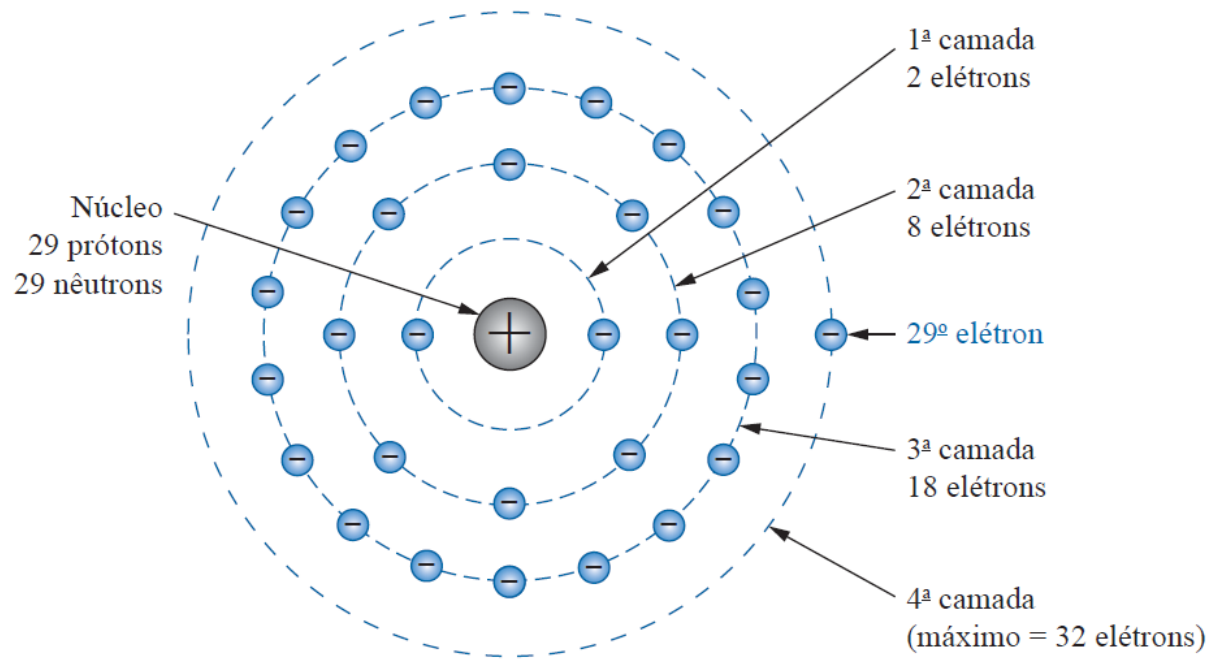
# Os átomos e sua estrutura

## Estrutura atômica do **cobre**.



# Os átomos e sua estrutura

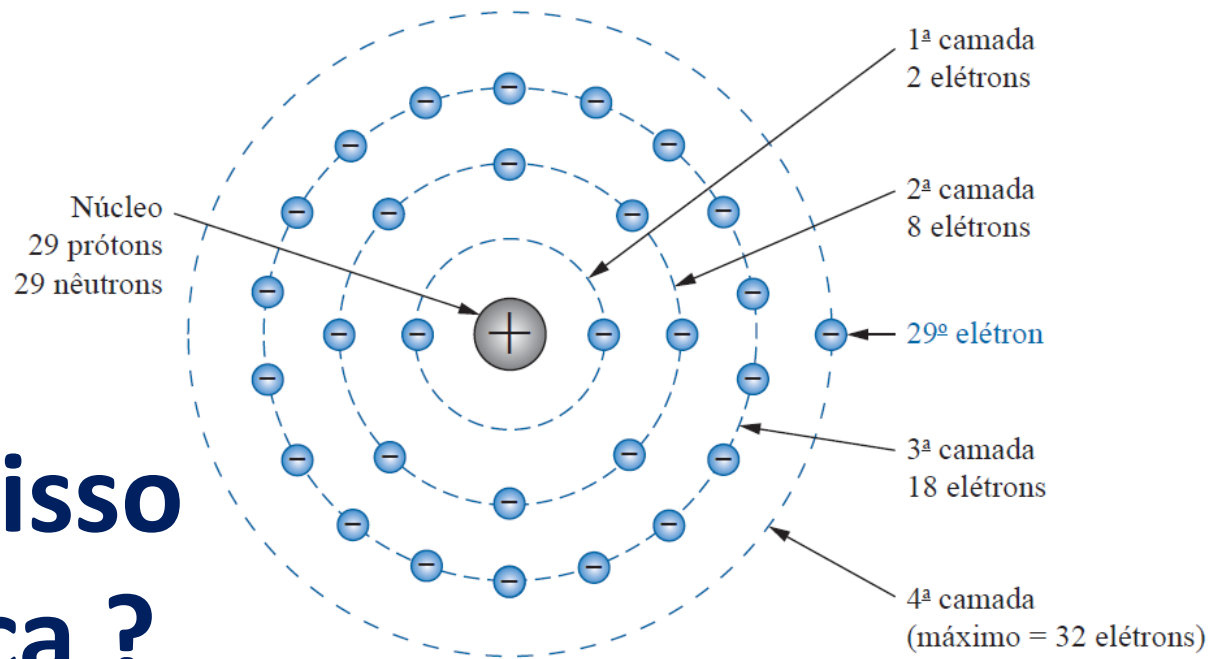
**4<sup>ta</sup> camada,** que pode ter um total de  $2n^2 = 2(4)^2 = 32$  elétrons, **tem apenas um elétron;**



# Os átomos e sua estrutura

**4<sup>ta</sup> camada,** que pode ter um total de  $2n^2 = 2(4)^2 = 32$  elétrons, **tem apenas um elétron;**

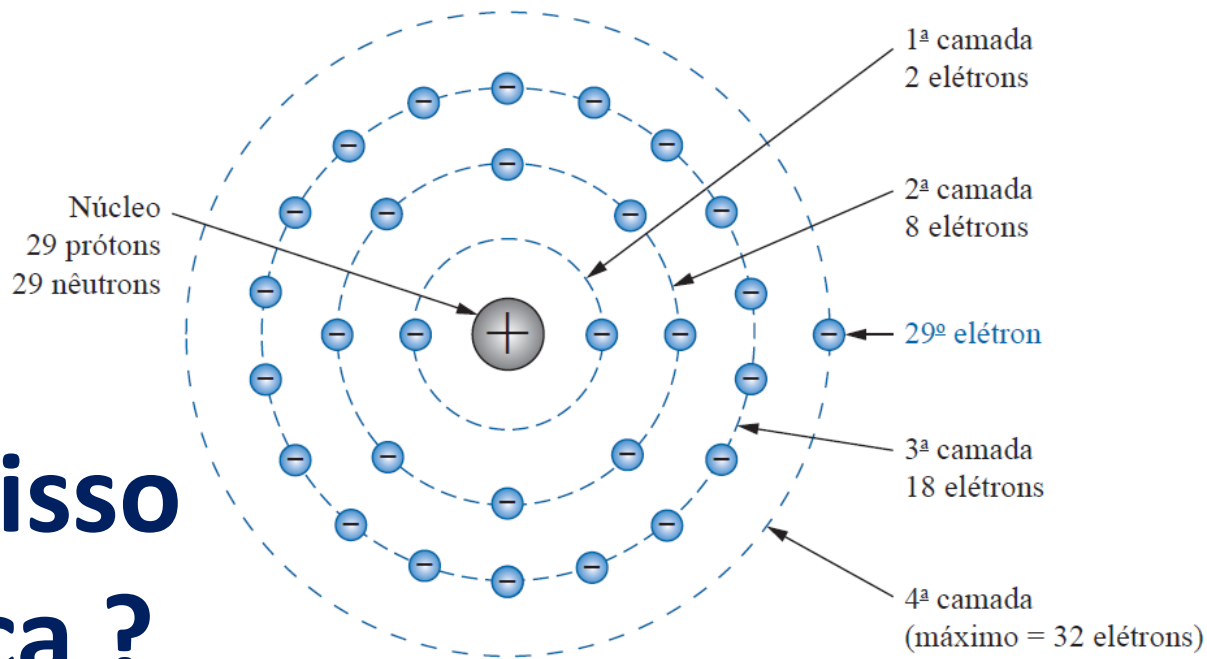
**O que isso significa ?**



# Os átomos e sua estrutura

**4<sup>ta</sup> camada,** que pode ter um total de  $2n^2 = 2(4)^2 = 32$  elétrons, **tem apenas um elétron;**

**O que isso significa ?**



Átomos com uma **pequena percentagem do número definido para a camada mais exterior** são normalmente considerados, de certa maneira, **instáveis ou voláteis.**

# Os átomos e sua estrutura

## Lei de Coulomb:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{newtons, N})$$

**F:** Newtons (N);

**K:** constante =  $9,0 \times 10^9$  (Nm<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>);

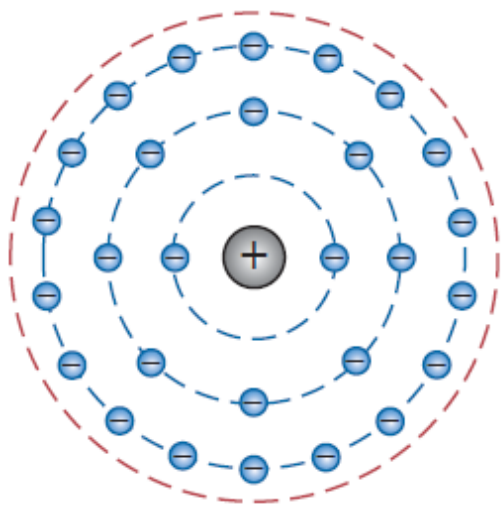
**Q<sub>1</sub>** e **Q<sub>2</sub>**: cargas em Coulombs (C);

**R:** distância entre as duas cargas em metros (m);



Charles Augustin Coulomb.  
Paris (1736-1806)

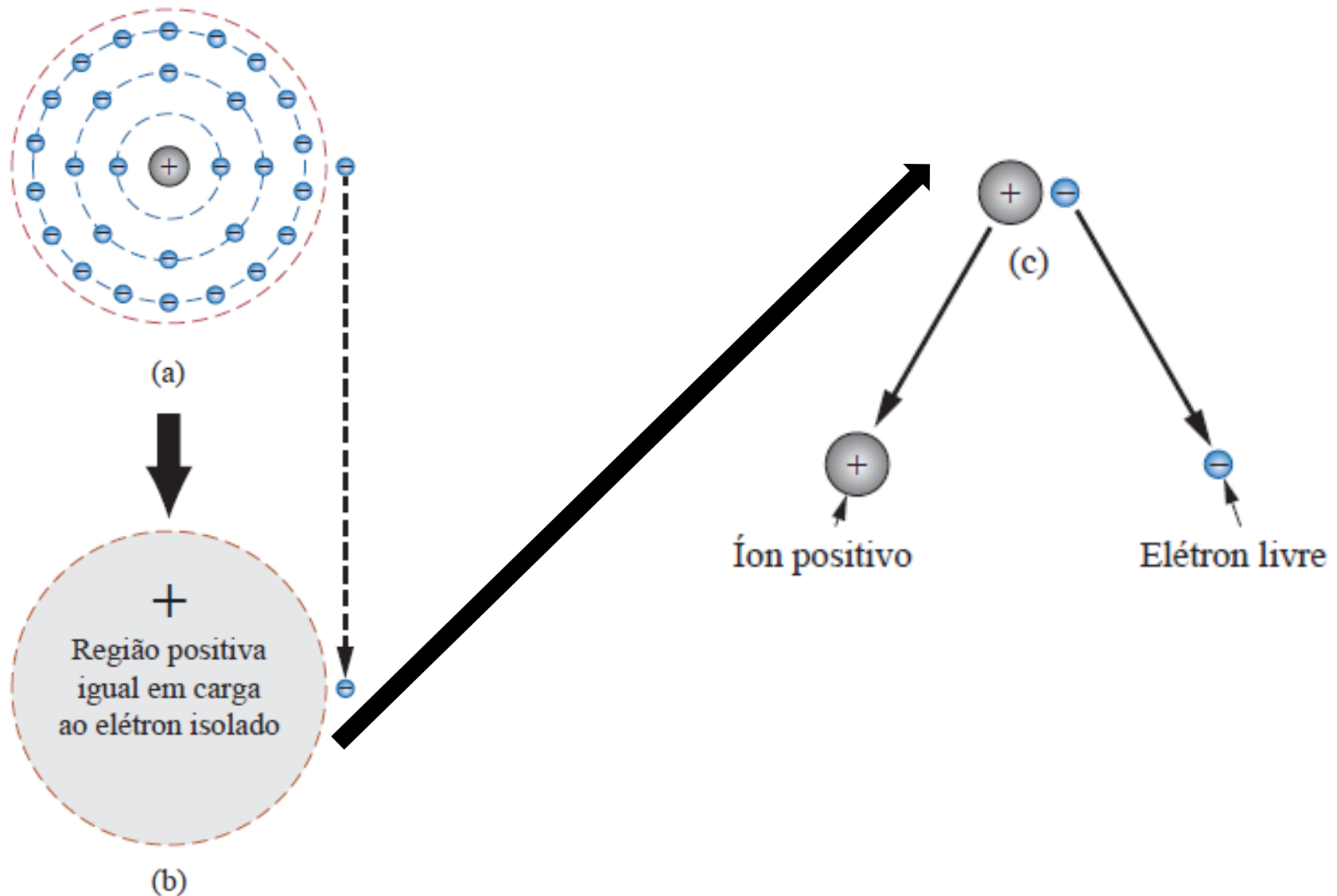
## Os átomos e sua estrutura



Se esse **29<sup>no</sup> elétron** ganhar **energia** suficiente do meio externo para **deixar o átomo de origem**, ele será chamado de **elétron livre**;

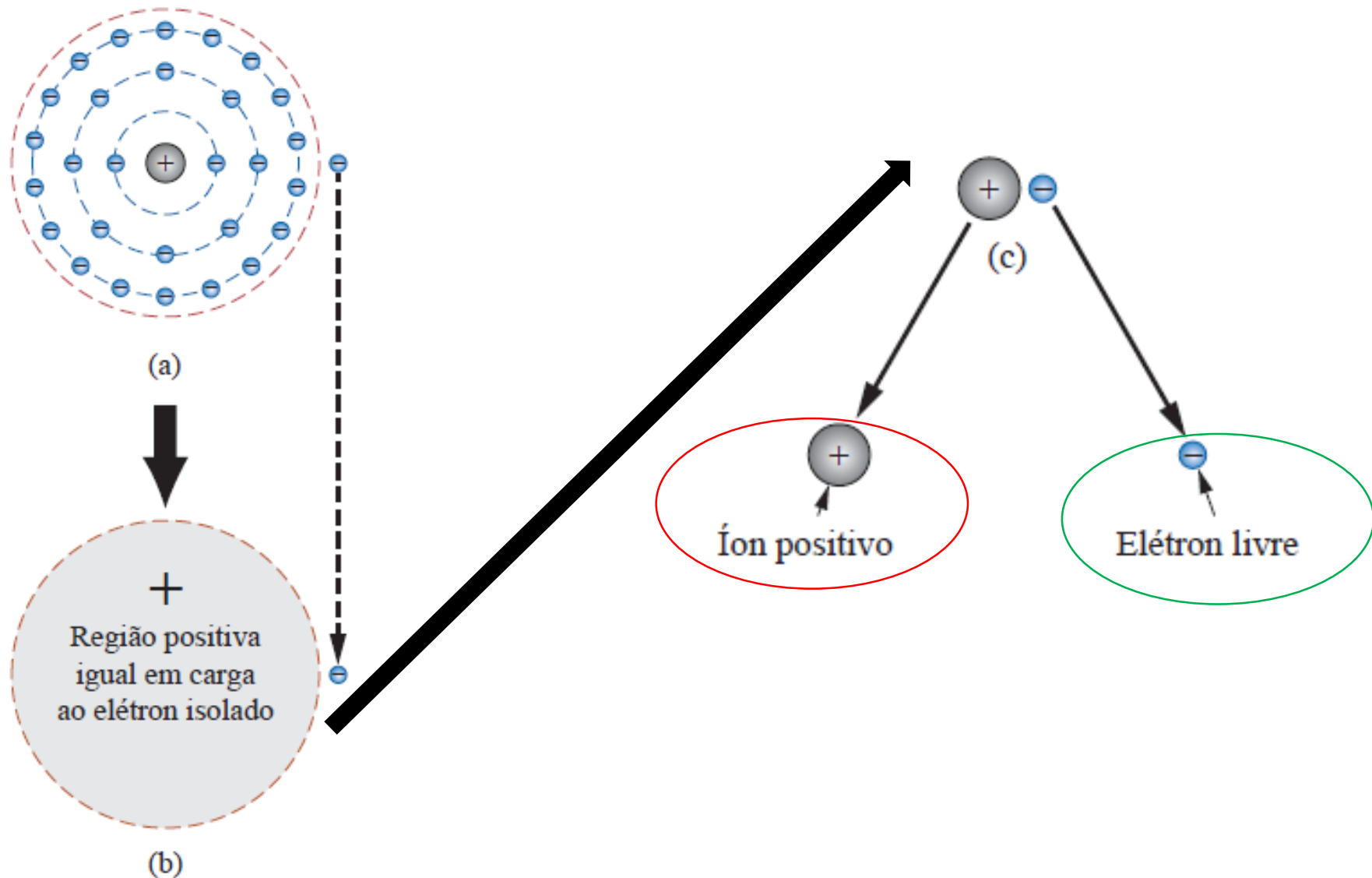
Em uma **polegada cúbica de cobre** à temperatura ambiente há aproximadamente  **$1,4 \times 10^{24}$  elétrons livres**.

# Os átomos e sua estrutura



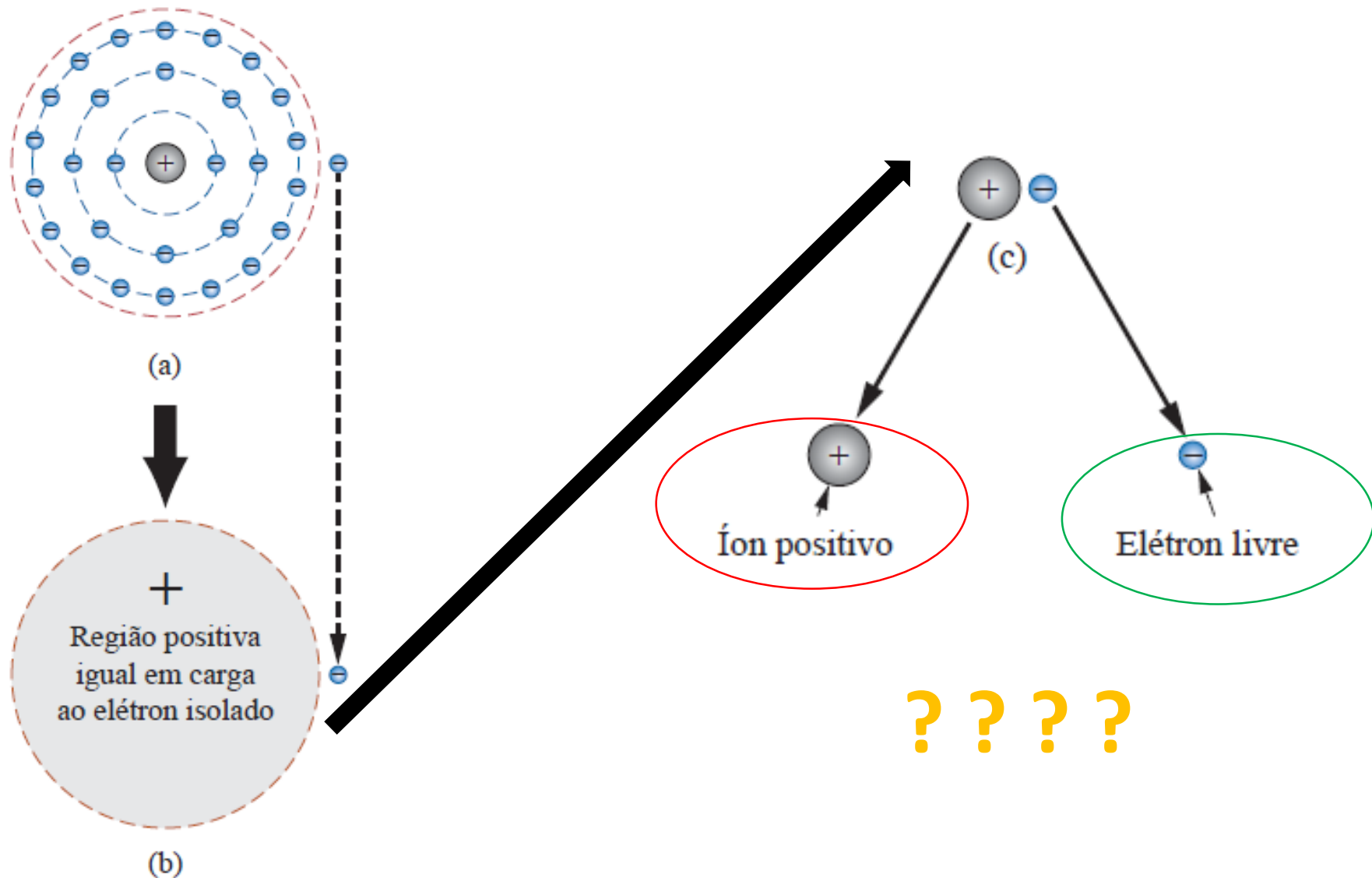


# Os átomos e sua estrutura

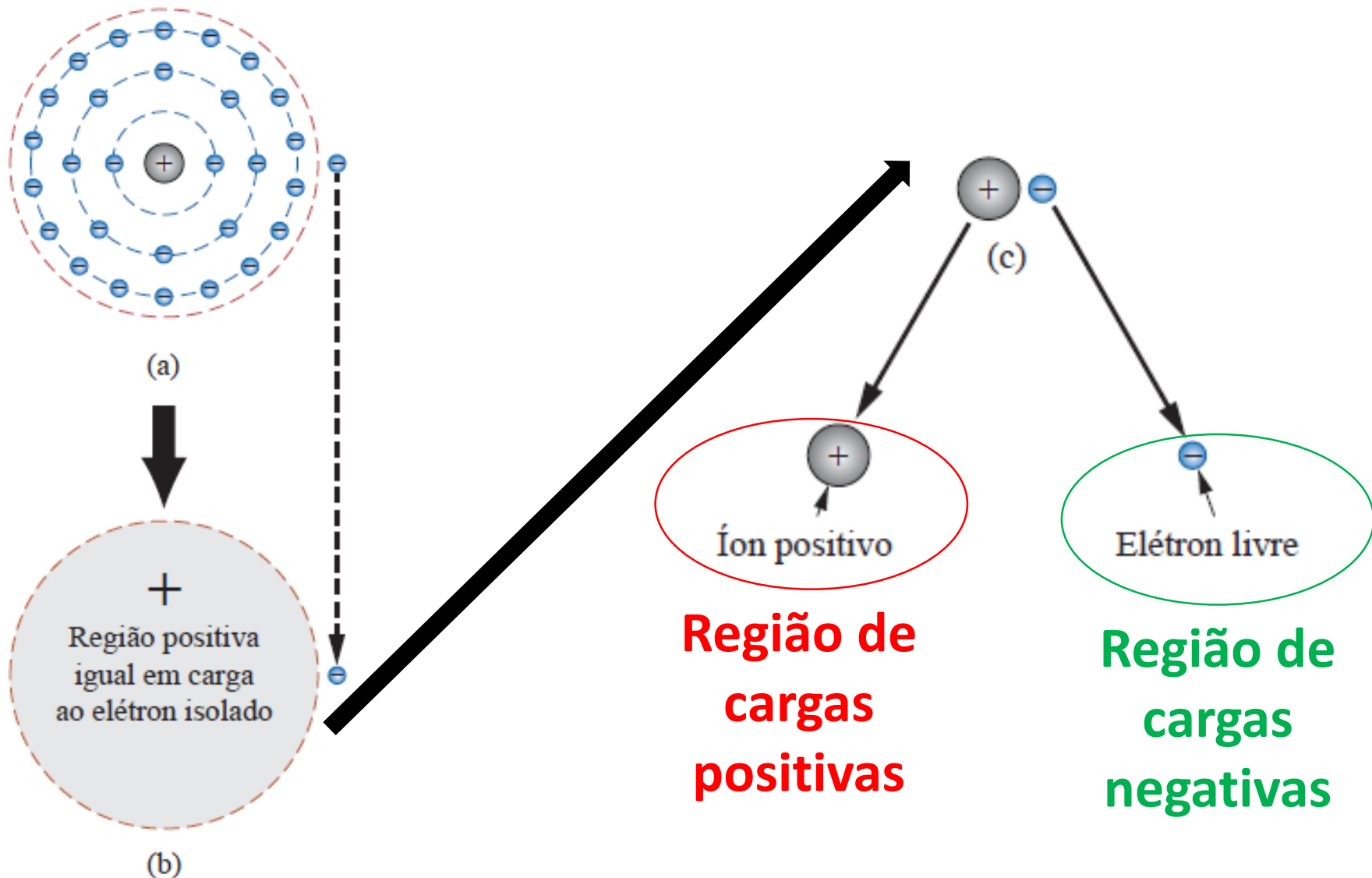




# Os átomos e sua estrutura



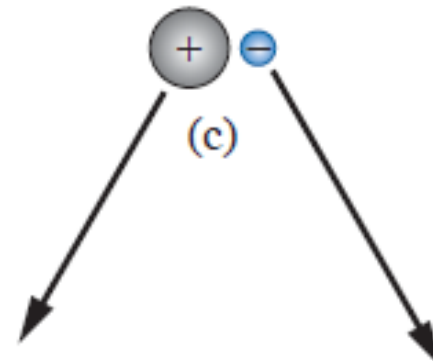
# Os átomos e sua estrutura



## Fonte de tensão

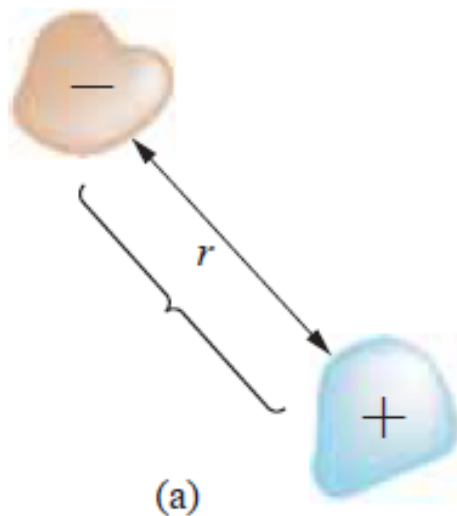
Em geral, toda **fonte de tensão** é estabelecida com a simples **criação de uma separação de cargas positivas e negativas**.

Criando um nível de tensão de qualquer magnitude, simplesmente são estabelecidas regiões de cargas positiva e negativa. Quanto maior for a tensão exigida, maior será a quantidade de cargas + e -.



## Tensão entre dois pontos

Mas, é **irrelevante** tratar a tensão estabelecida pela separação de **um único elétron**.



**Definição de tensão entre dois pontos**

### Coulomb:

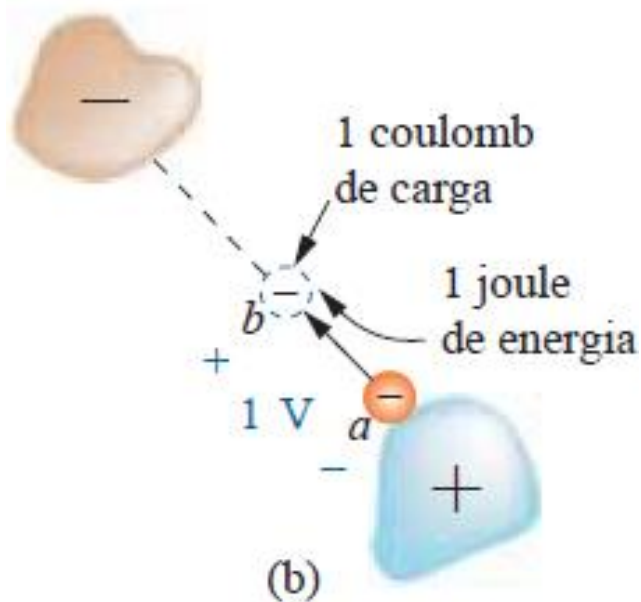
Um coulomb de carga é a **carga total associada a  $6,242 \times 10^{18}$  elétrons**.

Um coulomb de carga positiva teria a mesma magnitude, mas polaridade oposta.

# Tensão entre dois pontos

Processo de **deslocar a carga do ponto *a* para o ponto *b***:

**Volt (V):**



**Definição de tensão entre dois pontos**

Se um total de **1 joule (J)** de **energia** é usado para **mover** a carga negativa de **1 coulomb (C)**, há uma **diferença de 1 volt (V)** entre os dois pontos.

$$V = \frac{W}{Q}$$

$V$  = volts (V)

$W$  = joules (J)

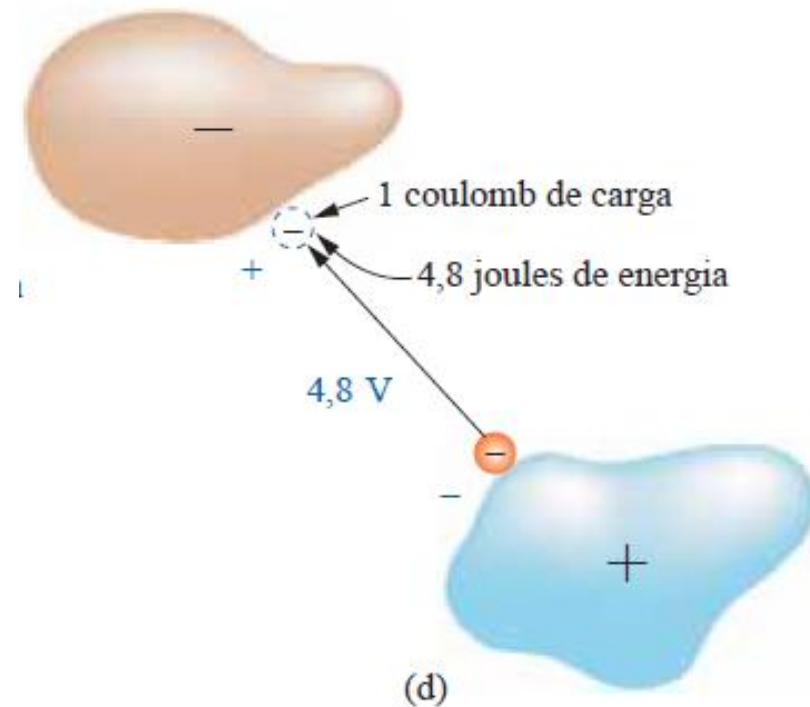
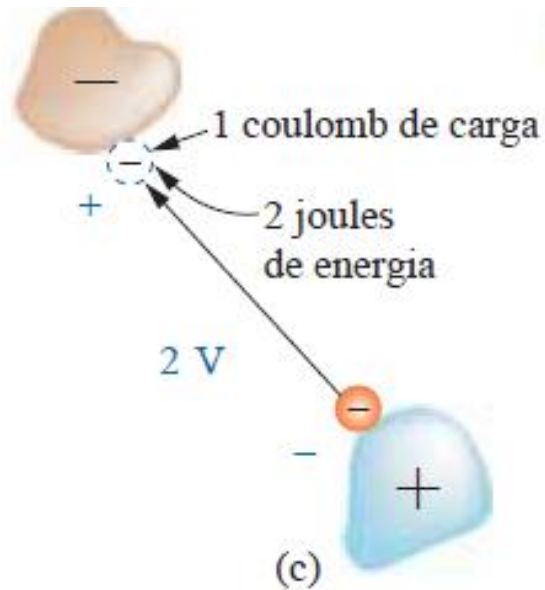
$Q$  = coulombs (C)



# Tensão entre dois pontos



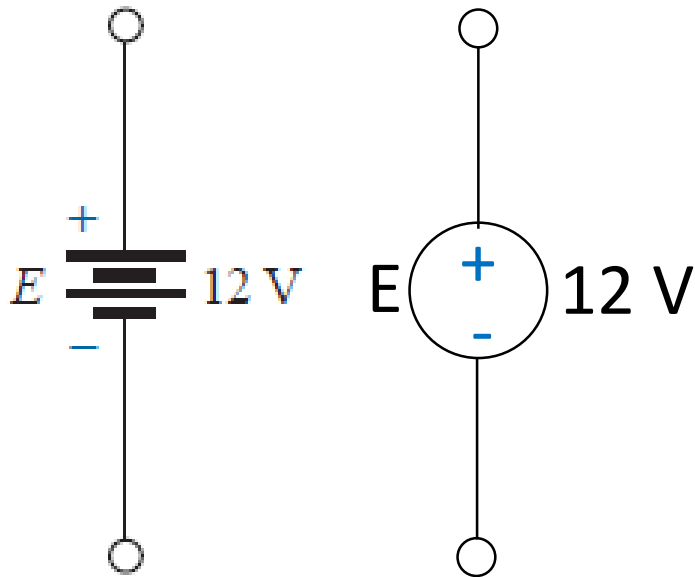
Alessandro Volta.  
Pávia (1745-1827)





# Tensão entre dois pontos

Fonte de tensão CC:



Uma **força eletromotriz** é uma força que **estabelece o sentido de carga** em um sistema devido à aplicação de uma diferença em potencial.

**Símbolos para fontes de tensão independente:**

- (a) utilizada para tensão constante (CC);
- (b) usada para tensão constante ou variável com o tempo.





## Tensão entre dois pontos

Existem diversas maneiras de separar a carga para estabelecer a tensão desejada. A mais comum é a **ação química**. Também são utilizados métodos mecânicos como **geradores de carros, moinhos de ventos, painéis solares**. O ponto comum é: **criar separação de cargas**.



## Tensão entre dois pontos

Existem diversas maneiras de separar a carga para estabelecer a tensão desejada. A mais comum é a **ação química**. Também são utilizados métodos mecânicos como **geradores de carros, moinhos de ventos, painéis solares**. O ponto comum é: **criar separação de cargas**.

Tendo em vista que a **energia potencial** associada a um corpo é **definida por sua posição**, o termo **potencial** ou **diferença de potencial** são frequentemente aplicados na definição de níveis de tensão.



# Corrente



## Corrente elétrica



<https://www.escolademestres.com/blogs/paradidaticos/ciencia-e-quotidiano/269-o-ovo-ou-a-galinha>

**Tensão  
elétrica**

???

**Corrente  
elétrica**

## Corrente elétrica



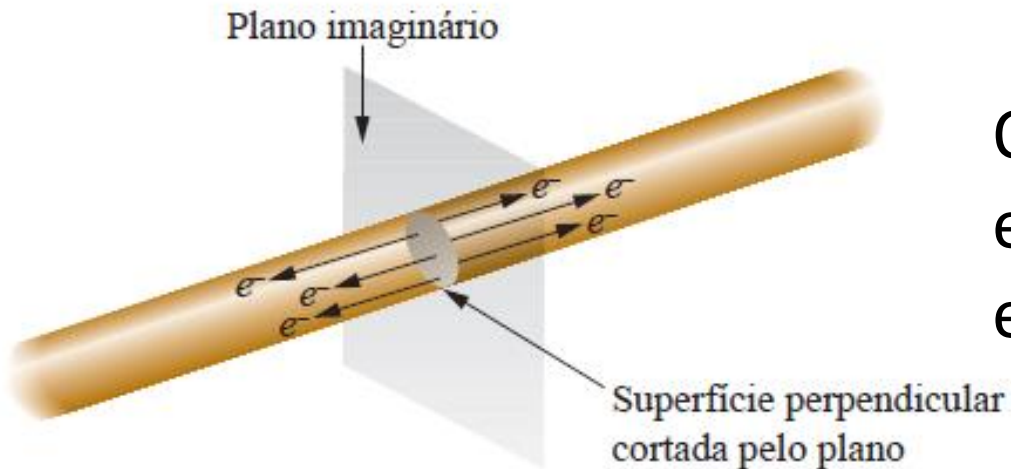
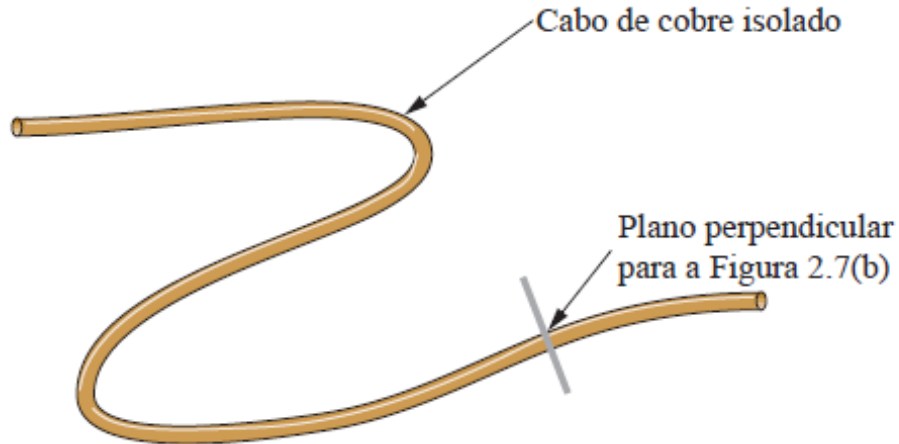
<https://www.escolademestres.com/blogs/paradidaticos/ciencia-e-quotidiano/269-o-ovo-ou-a-galinha>

**Tensão  
elétrica**

**Corrente  
elétrica**

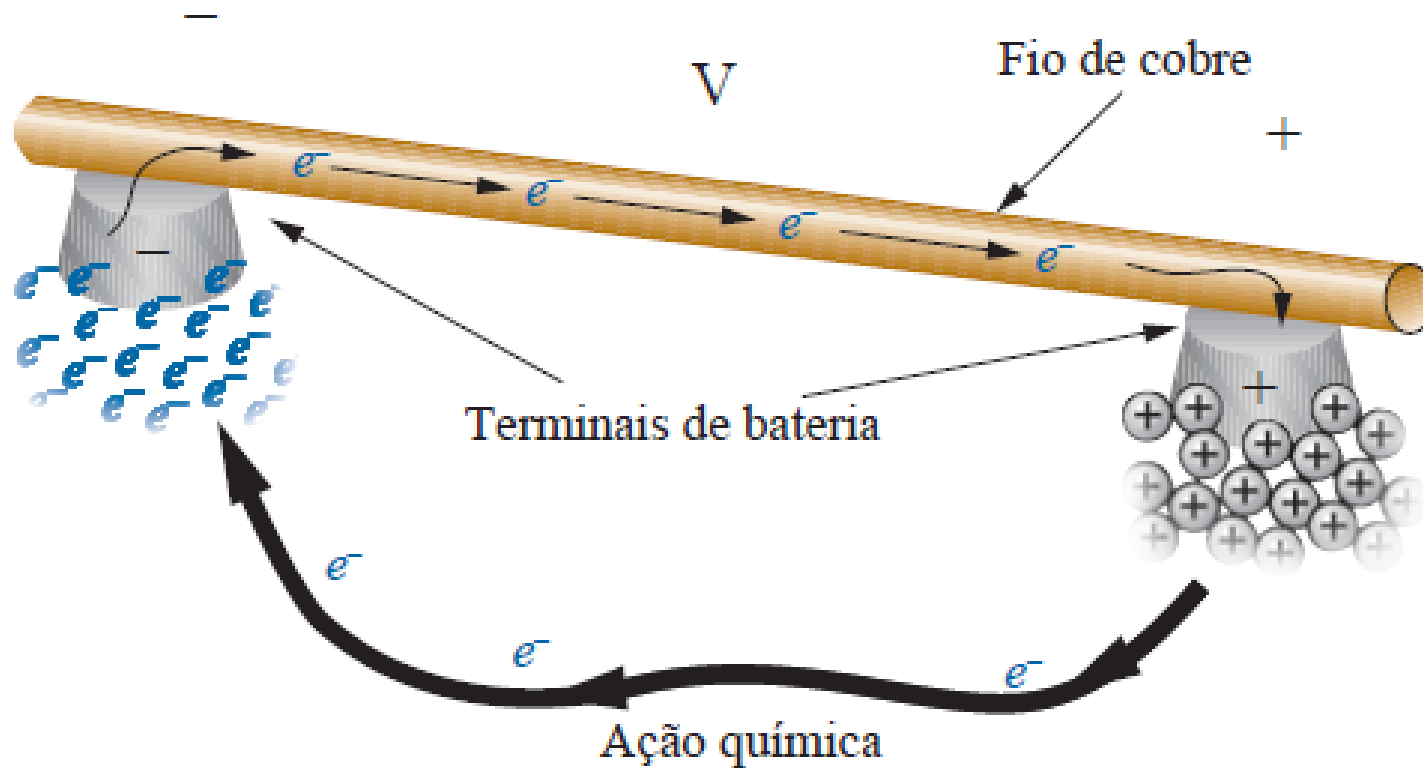
A **tensão** aplicada é o **mecanismo de partida**; a **corrente** é uma **reação à tensão aplicada**.

# Corrente elétrica



O **fluxo de elétrons** em qualquer direção específica é **zero**.

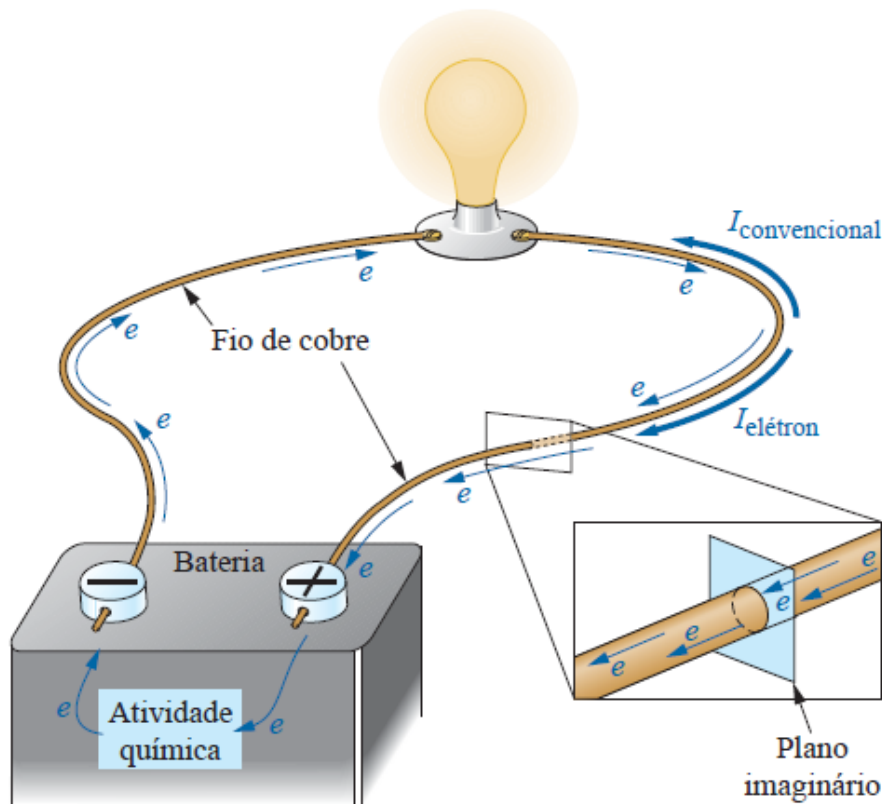
# Corrente elétrica



# Corrente elétrica

## Corrente (Ampère):

Se  $6,242 \times 10^{18}$  elétrons (**1 coulomb**) passam através do plano imaginário em **1 segundo**, diz-se que o fluxo de carga, ou corrente, é de **1 ampère (A)**.



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

$I$  = ampères (A)  
 $Q$  = coulombs (C)  
 $t$  = tempo (s)





# Corrente elétrica

A unidade de medida de corrente, ampère, foi escolhida para **honrar** os esforços de **André Ampère** no estudo da eletricidade em movimento.



André Marie Ampère.  
França (1775-1836)



## Corrente elétrica

A **tensão aplicada (ou diferença potencial)** em um sistema elétrico/eletrônico nos diz “o grau de expectativa” para colocar os elétrons em movimento.

A **tensão** é análoga à pressão da água tentando-se deslocar por um cano (água sob pressão elevada está com maior grau de expectativa) e a **corrente** é a reação a essa pressão.

A **corrente** é a reação a essa pressão. Informalmente nos diz com que velocidade as partículas estão fluindo.

A **corrente** é análoga à água que flui através de um cano.

**O que determina o nível da corrente que resulta da aplicação de uma tensão em particular ?**



[https://br.freepik.com/vetores-gratis/simbolo-de-ponto-de-interrogacao-de-estilo-comico-fundo-para-conversa-social-ou-discurso\\_153685247.htm](https://br.freepik.com/vetores-gratis/simbolo-de-ponto-de-interrogacao-de-estilo-comico-fundo-para-conversa-social-ou-discurso_153685247.htm)



<https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/13995977-ponto-de-interrogacao-simbolo-de-faq-doodle-desenhado-de-mao-vermelha>



**Por que a corrente é mais intensa em alguns circuitos do que em outros?**

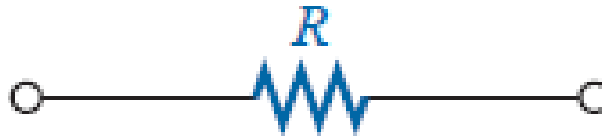


# Resistência

# Resistência

**Resistência (Ohms,  $\Omega$ ):**

**Resistência:** oposição ao fluxo de carga no sistema, que depende dos componentes do circuito.



**Símbolo da resistência  
elétrica e sua abreviação**



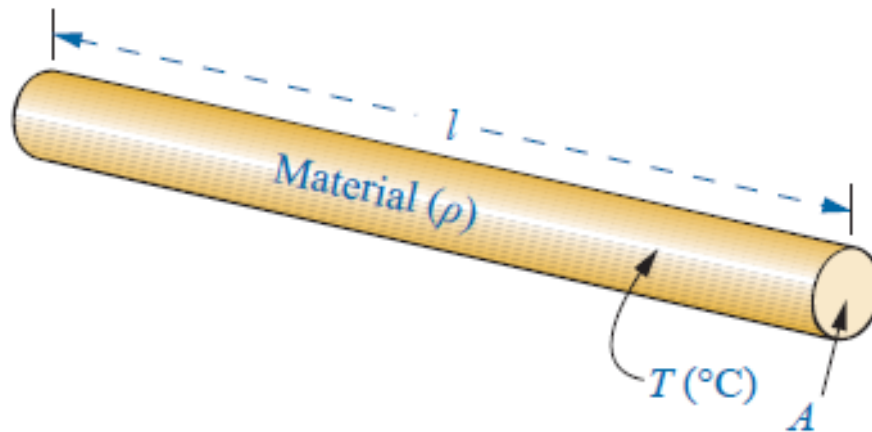
# Resistência

A **resistência** de qualquer material é devida fundamentalmente a quatro fatores:

- 1. Material;**
- 2. Comprimento;**
- 3. Área do corte transversal;**
- 4. Temperatura do material.**

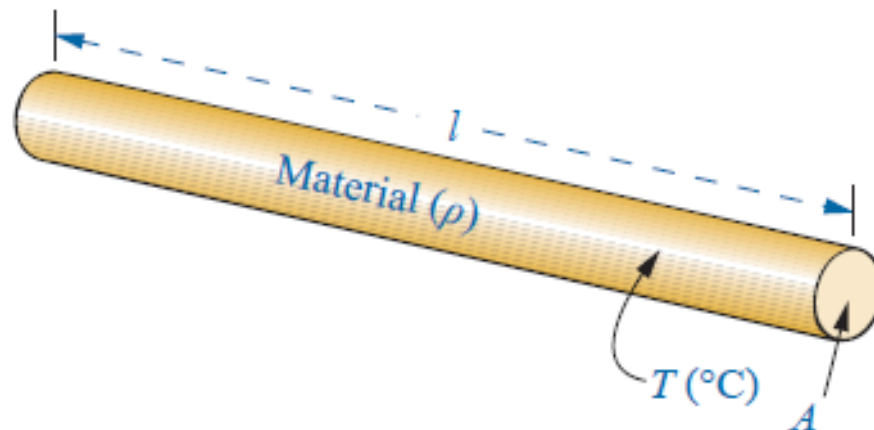


# Resistência





# Resistência



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

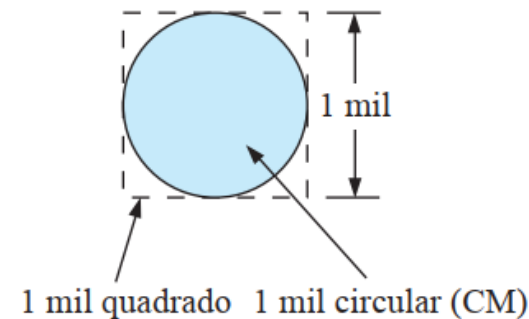
$\rho$  = CM- $\Omega$ /pés a  $T = 20^{\circ}\text{C}$

$l$  = pés

$A$  = área em mils circulares (CM)

[https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_all.html)

Por definição, um **fio com um diâmetro de 1 mil** possui uma **área de 1 mil circular (CM)**.





# Resistência

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

$\rho$  = CM- $\Omega$ /pés a  $T = 20^\circ\text{C}$

$l$  = pés

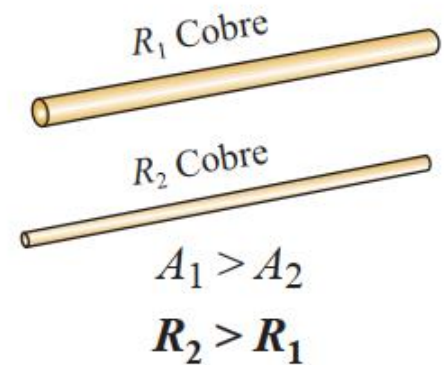
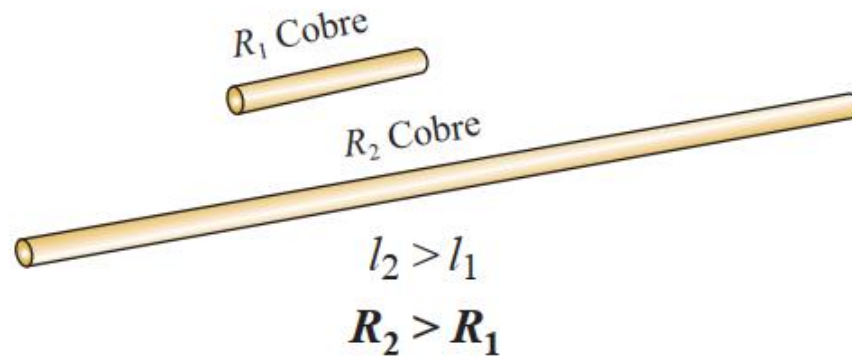
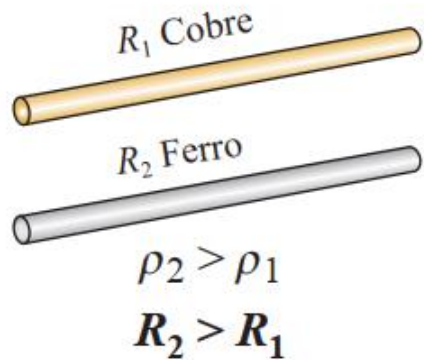
$A$  = área em mils circulares (CM)

| Material     | $\rho$ (CM - $\Omega$ /pés)@20°C |
|--------------|----------------------------------|
| Prata        | 9,9                              |
| <b>Cobre</b> | <b>10,37</b>                     |
| Ouro         | 14,7                             |
| Alumínio     | 17,0                             |
| Tungstênio   | 33,0                             |
| Níquel       | 47,0                             |
| Ferro        | 74,0                             |
| Constantan   | 295,0                            |
| Nicromo      | 600,0                            |
| Calorita     | 720,0                            |
| Carbono      | 21.000,0                         |

## Resistividade de vários materiais



# Resistência

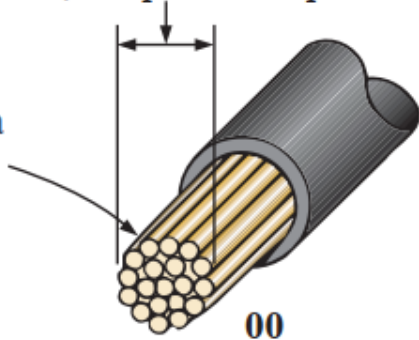




# Resistência

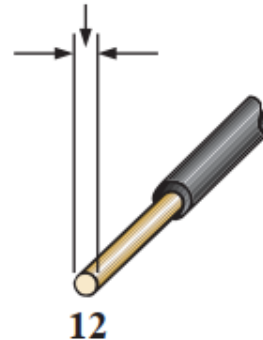
$$D = 0,365 \text{ pol.} \approx 1/3 \text{ pol.}$$

Dividido para  
aumentar a  
flexibilidade

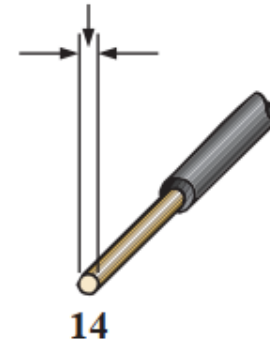


Distribuição de energia

$$D = 0,0808 \text{ pol.} \approx 1/12 \text{ pol.}$$

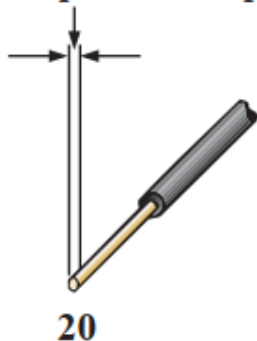


$$D = 0,064 \text{ pol.} \approx 1/16 \text{ pol.}$$



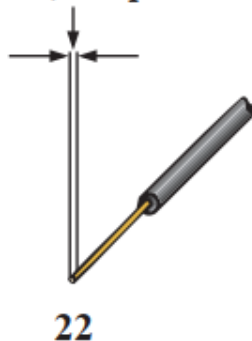
Iluminação, tomadas,  
uso doméstico em geral

$$D = 0,032 \text{ pol.} \approx 1/32 \text{ pol.}$$



Rádio, televisores

$$D = 0,025 \text{ pol.} \approx 1/40 \text{ pol.}$$



$$D = 0,013 \text{ pol.} \approx 1/75 \text{ pol.}$$



Telefones, instrumentos



# Resistência

Dimensões AWG (American Wire GAGE), ou calibre Norte-americano para Fios

| AWG # | Área (CM) | $\Omega/1.000$ pés a 20°C | Corrente máxima permitida para isolamento RHW (A)* |
|-------|-----------|---------------------------|----------------------------------------------------|
| 0000  | 211.600   | 0,0490                    | 230                                                |
| 000   | 167.810   | 0,0618                    | 200                                                |
| 00    | 133.080   | 0,0780                    | 175                                                |
| 0     | 105.530   | 0,0983                    | 150                                                |
| 1     | 83.694    | 0,1240                    | 130                                                |
| 2     | 66.373    | 0,1563                    | 115                                                |
| 3     | 52.634    | 0,1970                    | 100                                                |
| 4     | 41.742    | 0,2485                    | 85                                                 |
| 5     | 33.102    | 0,3133                    | —                                                  |
| 6     | 26.250    | 0,3951                    | 65                                                 |
| 7     | 20.816    | 0,4982                    | —                                                  |
| 8     | 16.509    | 0,6282                    | 50                                                 |
| 9     | 13.094    | 0,7921                    | —                                                  |
| 10    | 10.381    | 0,9989                    | 30                                                 |
| 11    | 8.234,0   | 1,260                     | —                                                  |
| 12    | 6.529,9   | 1,588                     | 20                                                 |
| 13    | 5.178,4   | 2,003                     | —                                                  |
| 14    | 4.106,8   | 2,525                     | 15                                                 |



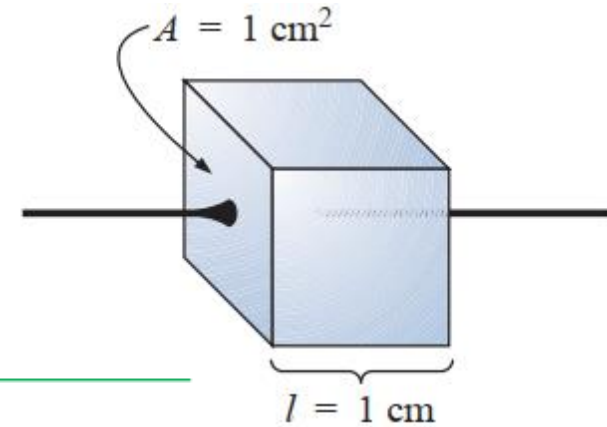
# Resistência

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

$\rho$ : ohms-centímetros

$l$ : centímetros

$A$ : centímetros quadrados



## Material

## $\Omega\text{-cm}$

|                  |                                          |
|------------------|------------------------------------------|
| Prata            | $1,645 \times 10^{-6}$                   |
| <b>Cobre</b>     | <b><math>1,723 \times 10^{-6}</math></b> |
| Ouro             | $2,443 \times 10^{-6}$                   |
| Alumínio         | $2,825 \times 10^{-6}$                   |
| Tungstênio       | $5,485 \times 10^{-6}$                   |
| Níquel           | $7,811 \times 10^{-6}$                   |
| Ferro            | $12,299 \times 10^{-6}$                  |
| Tântalo          | $15,54 \times 10^{-6}$                   |
| Nicromo          | $99,72 \times 10^{-6}$                   |
| Óxido de estanho | $250 \times 10^{-6}$                     |
| Carbono          | $3.500 \times 10^{-6}$                   |

Resistividade  
de vários  
materiais

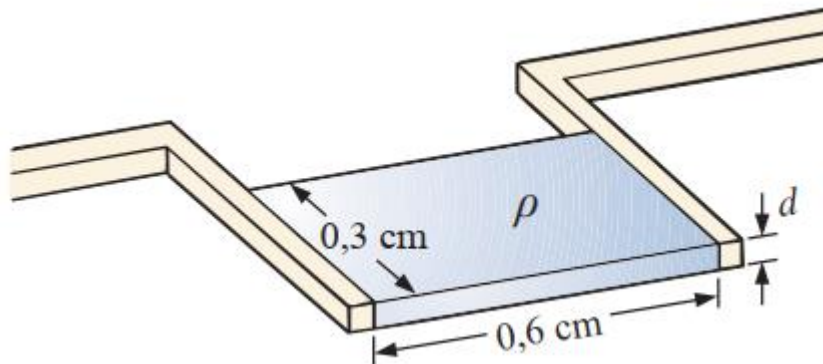
# Resistência

Fator de conversão entre resistividade em mils circulares-ohms/pés, e ohms-centímetros:

$$\rho(\Omega\text{-cm}) = (1,662 \times 10^{-7}) \times (\text{valor em CM-}\Omega/\text{pés})$$

Por exemplo, para o cobre,  $\bar{\rho} = 10,37 \text{ CM-}\Omega/\text{pés}$ :

$$\begin{aligned}\bar{\rho}(\Omega\text{-cm}) &= 1,662 \times 10^{-7} (10,37 \text{ CM-}\Omega/\text{pés}) \\ &= 1,723 \times 10^{-6} \Omega\text{-cm}\end{aligned}$$





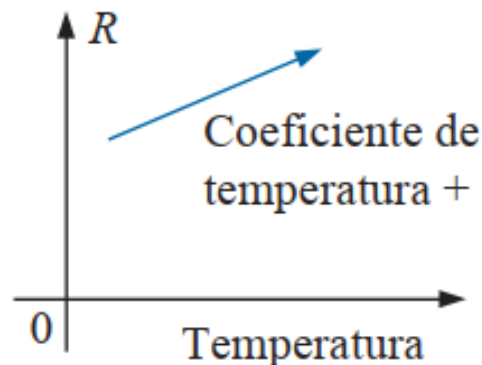
# Resistência

## Efeitos da temperatura:

A temperatura tem um **efeito significativo** sobre as resistências de **condutores**, **semicondutores** e **isolantes**.

### **Condutores**

Nos condutores, o **aumento da temperatura** resulta em um **aumento no valor de resistência**. Consequentemente, os condutores têm um **coeficiente de temperatura positivo**.





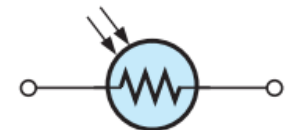
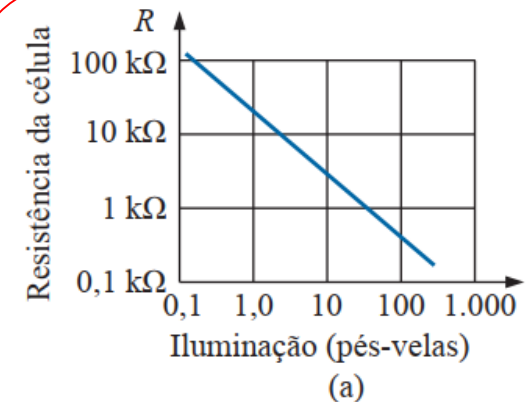
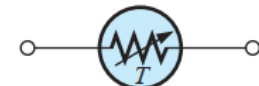
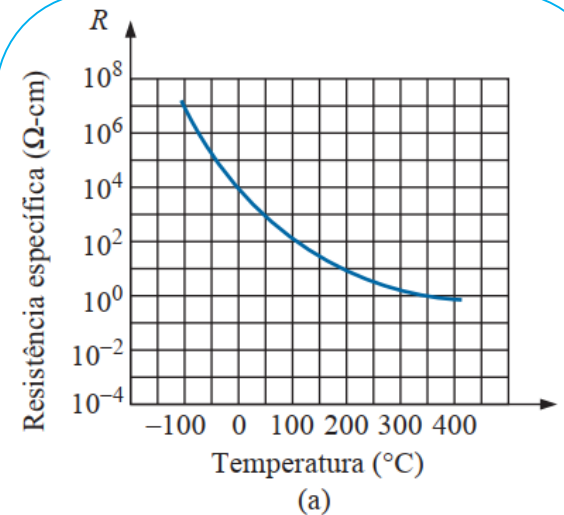
# Resistência

## Efeitos da temperatura:

Termistor

## Semicondutores

Nos materiais semicondutores, o **aumento da temperatura** resulta na **diminuição do valor da resistência**. Consequentemente, os semicondutores têm **coeficientes de temperatura negativos**.



Célula fotocondutora

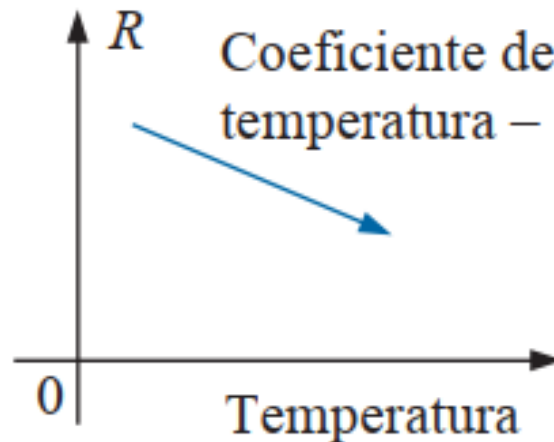


# Resistência

## Efeitos da temperatura:

### Isolantes

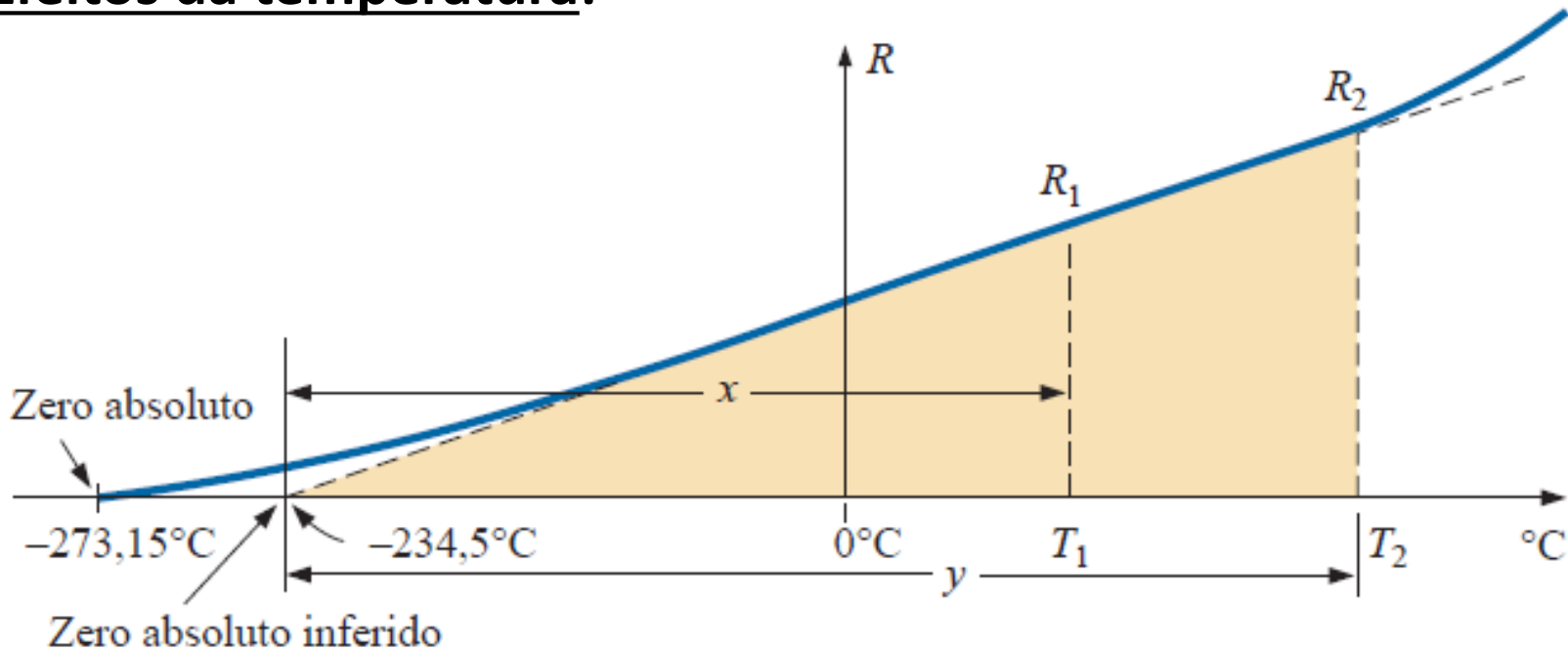
Assim como acontece com os semicondutores, o **aumento da temperatura resulta na diminuição da resistência dos isolantes**. O resultado é um coeficiente de temperatura negativo.





# Resistência

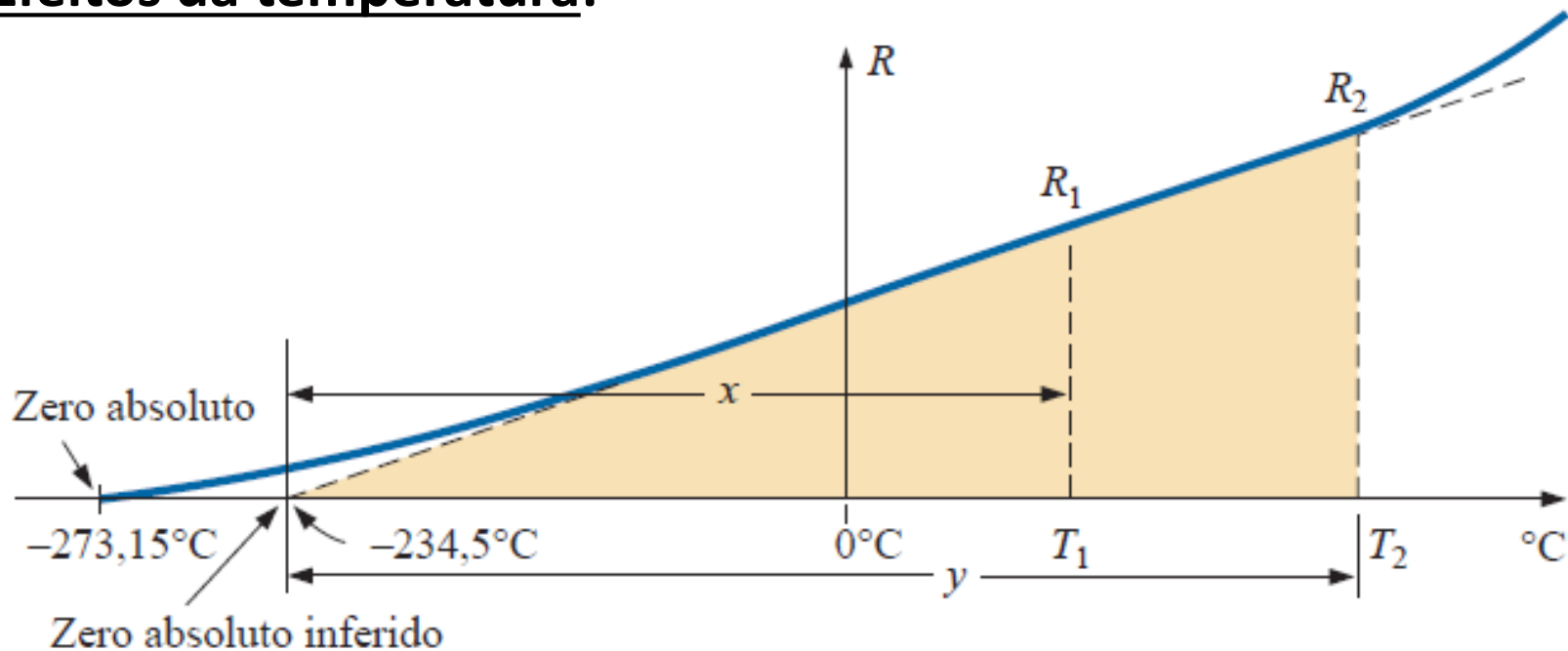
## Efeitos da temperatura:



**Efeito da temperatura sobre a resistência de cobre.**

# Resistência

## Efeitos da temperatura:



Efeito da temperatura sobre a resistência de cobre.

$$\frac{x}{R_1} = \frac{y}{R_2}$$

$$\frac{234,5 + T_1}{R_1} = \frac{234,5 + T_2}{R_2}$$

$$\frac{|T_1| + T_1}{R_1} = \frac{|T_1| + T_2}{R_2}$$



# Resistência

## Efeitos da temperatura:

| Material   | °C       |
|------------|----------|
| Prata      | -243     |
| Cobre      | -234,5   |
| Ouro       | -274     |
| Alumínio   | -236     |
| Tungstênio | -204     |
| Níquel     | -147     |
| Ferro      | -162     |
| Nicromo    | -2.250   |
| Constantan | -125.000 |

Temperaturas absolutas inferidas.

## Exemplo:

Se a resistência de um fio de cobre é  $50 \, \Omega$  a  $20^\circ\text{C}$ , qual é a sua resistência a  $100^\circ\text{C}$  ?



# Resistência

## Efeitos da temperatura:

| Material   | °C       |
|------------|----------|
| Prata      | -243     |
| Cobre      | -234,5   |
| Ouro       | -274     |
| Alumínio   | -236     |
| Tungstênio | -204     |
| Níquel     | -147     |
| Ferro      | -162     |
| Nicromo    | -2.250   |
| Constantan | -125.000 |

**Temperaturas absolutas inferidas.**

## Exemplo:

Se a resistência de um fio de cobre é  $50 \, \Omega$  a  $20^\circ\text{C}$ , qual é a sua resistência a  $100^\circ\text{C}$  ?

$$\frac{|T_1| + T_1}{R_1} = \frac{|T_1| + T_2}{R_2}$$

$$\frac{234,5^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}}{50 \, \Omega} = \frac{234,5^\circ\text{C} + 100^\circ\text{C}}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{(50 \, \Omega)(334,5^\circ\text{C})}{254,5^\circ\text{C}} = 65,72 \, \Omega$$



# Resistência

## Efeitos da temperatura:

## Coeficiente de temperatura da resistência:

$$\alpha_{20} = \frac{1}{|T_1| + 20^\circ\text{C}}$$

$$R_1 = R_{20} [1 + \alpha_{20}(T_1 - 20^\circ\text{C})]$$



$$\alpha_{20} = \frac{\left( \frac{R_1 - R_{20}}{T_1 - 20^\circ\text{C}} \right)}{R_{20}} = \frac{\Delta R}{R_{20} \Delta T}$$

| Material   | Coeficiente de temperatura $\alpha_{20}$ |
|------------|------------------------------------------|
| Prata      | 0,0038                                   |
| Cobre      | 0,00393                                  |
| Ouro       | 0,0034                                   |
| Alumínio   | 0,00391                                  |
| Tungstênio | 0,005                                    |
| Níquel     | 0,006                                    |
| Ferro      | 0,0055                                   |
| Constantan | 0,000008                                 |
| Nicromo    | 0,00044                                  |

$\alpha_{20}$ : coeficiente de temp da R à 20 °C;

$R_{20}$ : resistência da amostra a 20 °C;

$R_1$ : resistência à temperatura  $T_1$ ;

$T_1$ : temperatura da resistência  $R_1$ ;



# Resistência

## Efeitos da temperatura:

## Coeficiente de temperatura da resistência:

$$\alpha_{20} = \frac{1}{|T_1| + 20^\circ\text{C}}$$

$$R_1 = R_{20} [1 + \alpha_{20}(T_1 - 20^\circ\text{C})]$$



$$\alpha_{20} = \frac{\left( \frac{R_1 - R_{20}}{T_1 - 20^\circ\text{C}} \right)}{R_{20}} = \frac{\Delta R}{R_{20} \Delta T}$$

| Material   | Coeficiente de temperatura $\alpha_{20}$ |
|------------|------------------------------------------|
| Prata      | 0,0038                                   |
| Cobre      | 0,00393                                  |
| Ouro       | 0,0034                                   |
| Alumínio   | 0,00391                                  |
| Tungstênio | 0,005                                    |
| Níquel     | 0,006                                    |
| Ferro      | 0,0055                                   |
| Constantan | 0,000008                                 |
| Nicromo    | 0,00044                                  |

**Interprete  $\alpha_{20}$**





# Resistência

## Efeitos da temperatura:

### Coeficiente de temperatura da resistência:

$$\alpha_{20} = \frac{1}{|T_1| + 20^\circ\text{C}}$$

$$R_1 = R_{20} [1 + \alpha_{20}(T_1 - 20^\circ\text{C})]$$



$$\alpha_{20} = \frac{\left( \frac{R_1 - R_{20}}{T_1 - 20^\circ\text{C}} \right)}{R_{20}} = \frac{\Delta R}{R_{20} \Delta T}$$

Visto que  $R_{20}$  nessa equação é a  $R$  do condutor a  $20^\circ\text{C}$ , e  $T_1 - 20^\circ\text{C}$  é a mudança na  $T$  a partir de  $20^\circ\text{C}$ :

$$R = \rho \frac{l}{A} [1 + \alpha_{20} \Delta T]$$



# Resistência

## Efeitos da temperatura:

PPM/°C:

$$\Delta R = \frac{R_{\text{nominal}}}{10^6} (\text{PPM})(\Delta T)$$

**R<sub>nominal</sub>**: valor nominal do R à T ambiente;

**ΔT**: variação de T a partir do valor de referência de 20 °C;



# Resistência

## Efeitos da temperatura:

PPM/°C:

$$\Delta R = \frac{R_{\text{nominal}}}{10^6} (\text{PPM})(\Delta T)$$

$R_{\text{nominal}}$ : valor nominal do R à T ambiente;

$\Delta T$ : variação de T a partir do valor de referência de 20 °C;

## Exemplo:

Para um R de 1 kΩ cujo PPM é 2500, encontre a R a 60 °C



# Resistência

## Efeitos da temperatura:

PPM/°C:

$$\Delta R = \frac{R_{\text{nominal}}}{10^6} (\text{PPM})(\Delta T)$$

$R_{\text{nominal}}$ : valor nominal do R à T ambiente;

$\Delta T$ : variação de T a partir do valor de referência de 20 °C;

## Exemplo:

Para um R de 1 kΩ cujo PPM é 2500, encontre a R a 60 °C

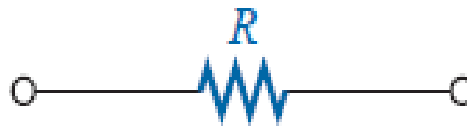
$$\begin{aligned}\Delta R &= \frac{1.000 \, \Omega}{10^6} (2.500)(60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \\ &= 100 \, \Omega \\ R &= R_{\text{nominal}} + \Delta R = 1.000 \, \Omega + 100 \, \Omega \\ &= \mathbf{1.100 \, \Omega}\end{aligned}$$



# Resistência

## Tipos de resistores:

**Fixos:**



**Variáveis:**

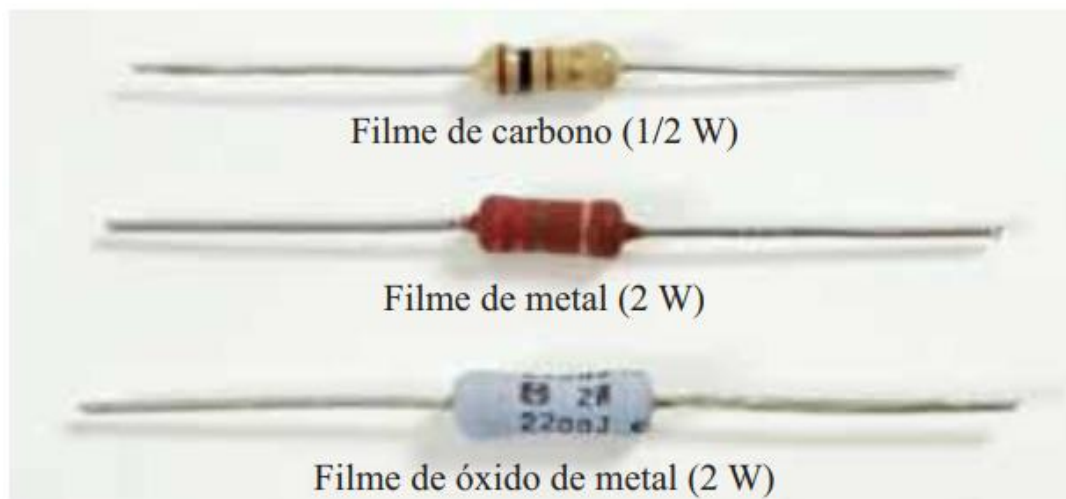
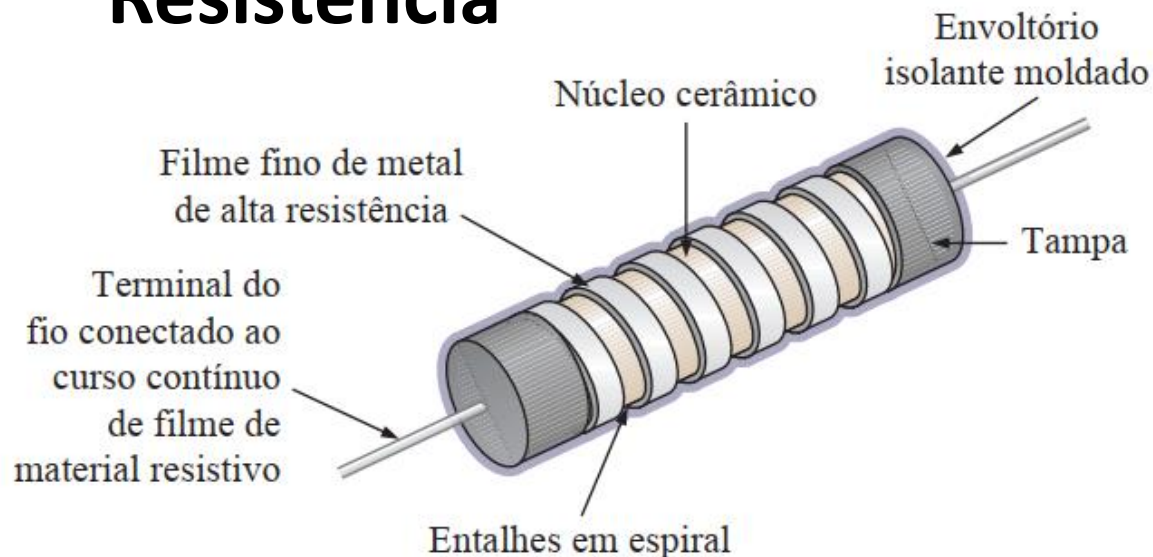


**Símbolos**

# Resistência

## Tipos de resistores:

### Fixos:



Resistores de película: (a) construção; (b) tipos.

# Resistência

## Tipos de resistores:

### Fixos:

Para estilos e fabricantes específicos, o **tamanho de um resistor aumenta** de acordo com a **potência** ou com a especificação de potência.

*O tamanho de um resistor não define seu nível de resistência.*

### TAMANHO REAL



5 W



3 W



1 W



$\frac{1}{2}$  W



$\frac{1}{4}$  W

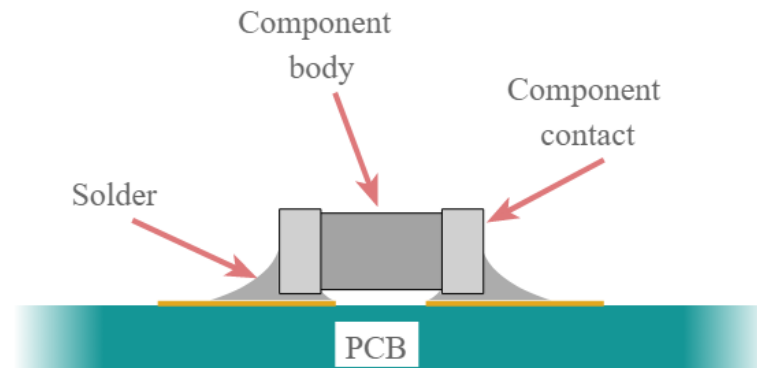
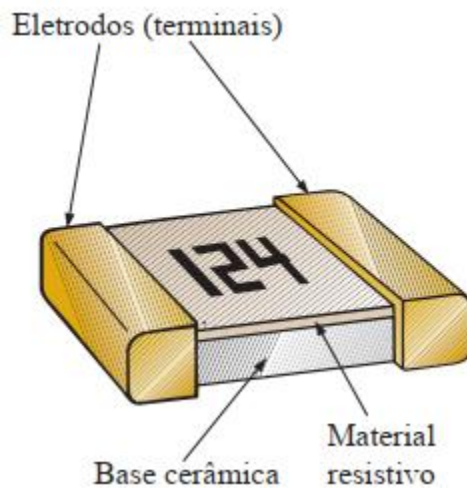
Resistores de 1 M ohm. Resistores fixos de filme com diferentes especificações de potência

# Resistência

<https://blog.raisa.com.br/o-que-e-smt-tecnologia-de-montagem-em-superficie-e-dispositivos-smt/>

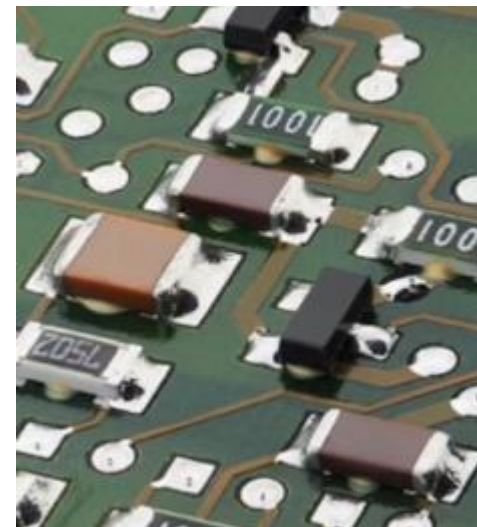
## Tipos de resistores:

### Fixos:



Conceito de tecnologia de montagem em superfície: um componente eletrônico passivo típico

## Resistores de montagem em superfície SMT, resistores de chip



<https://www.te.com/pt/products/passive-components/resistors/surface-mount-resistors.html?tab=pgp-story>



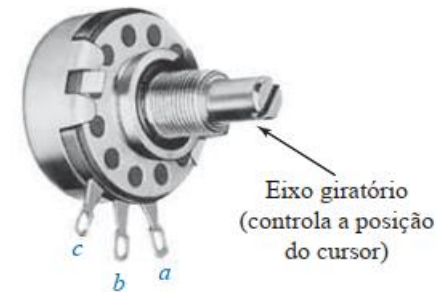
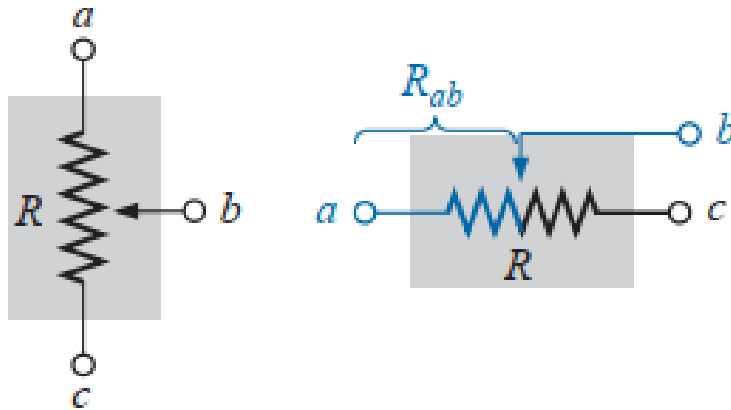
# Resistência

## Tipos de resistores:

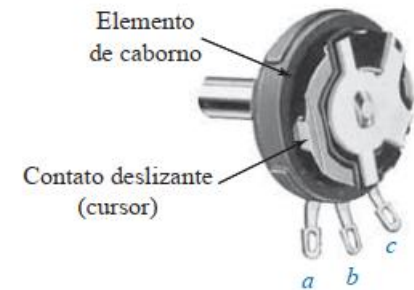
### Variáveis:

Podem ter **2** ou **3** terminais.

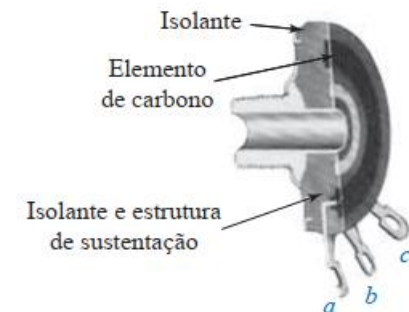
Chamados de **reostatos** ou **potenciômetros**.



(a) Vista externa



(b) Vista interna

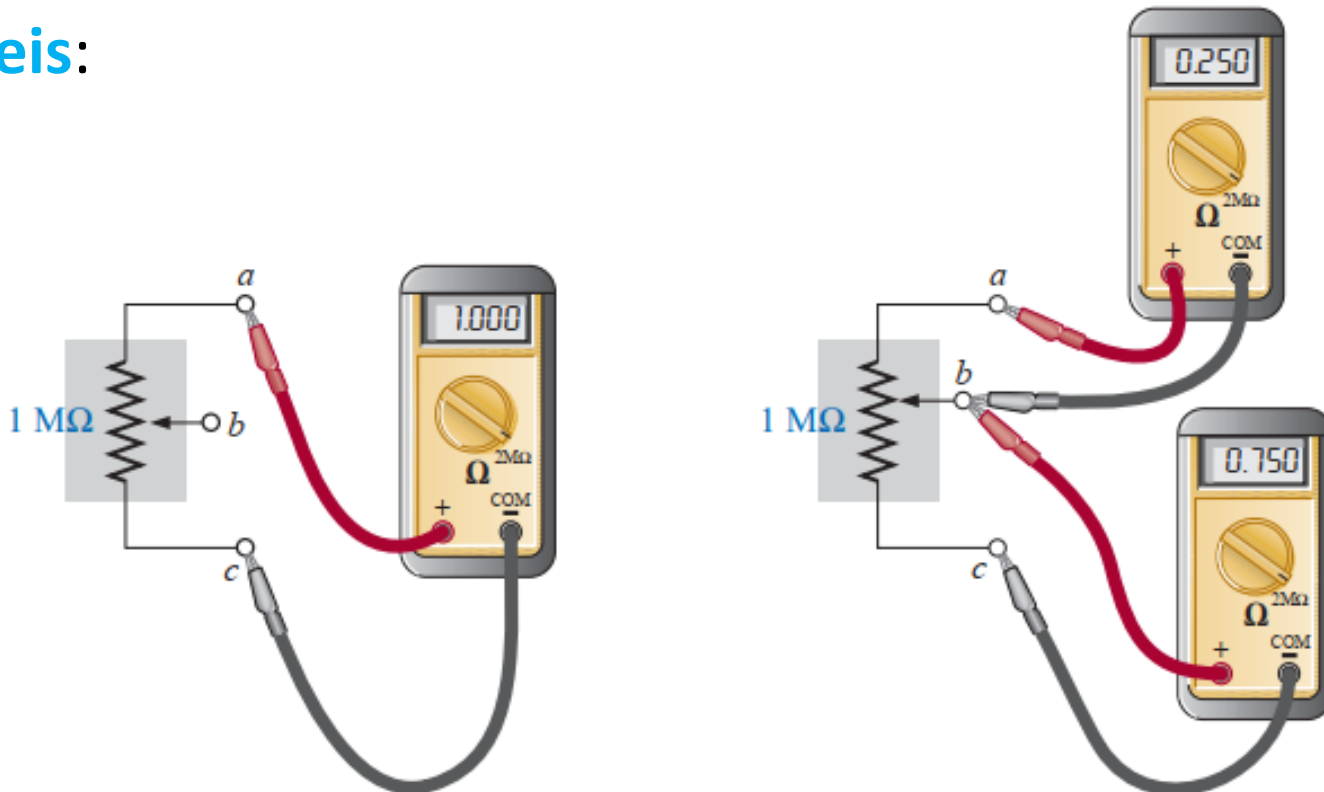




# Resistência

## Tipos de resistores:

## Variáveis:



# Resistência

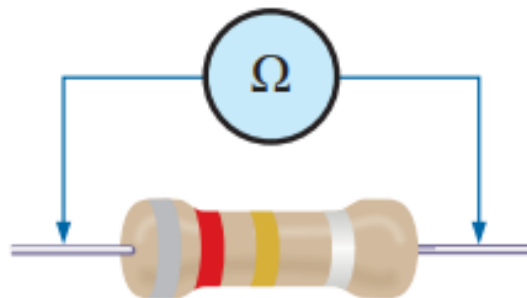
## Tipos de resistores:

## Ohmímetro:

1. **Medir a resistência** de um elemento individual ou de elementos combinados;
2. Detectar situações de '**circuito aberto**' (resistência alta) e de '**curto-circuito**' (resistência baixa);
3. **Verificar a continuidade** das conexões de um circuito e identificar fios em um cabo com múltiplas vias;
4. Testar alguns dispositivos semicondutores (eletrônicos)



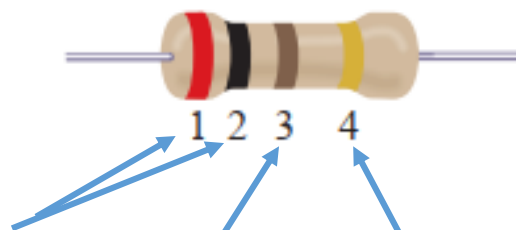
<https://www.lojadomecanico.com.br/produto/175898/3/47/multimetro-digital-profissional-a-bateria-9v-md-330-incoterm-t-mul-0030?srsId=AfmBOoqYHI32bK-NKsrn8Hrnxcen0NZWriiFAA6TTkLbWf66Gs34WYpb>





# Resistência

## Código de cores:



1ra e 2da faixas:  
# efetivo

3ra faixa:  
multiplicador

4ta faixa:  
tolerância

| Número | Cor      |
|--------|----------|
| 0      | Preto    |
| 1      | Marrom   |
| 2      | Vermelho |
| 3      | Laranja  |
| 4      | Amarelo  |
| 5      | Verde    |
| 6      | Azul     |
| 7      | Violeta  |
| 8      | Cinza    |
| 9      | Branco   |

|                                                      |                                                                                       |       |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| $\pm 5\%$<br>(multiplicador<br>de 0,01 se 3ª faixa)  |   | Ouro  |
| $\pm 10\%$<br>(multiplicador<br>de 0,01 se 3ª faixa) |  | Prata |

# Resistência

## Código de cores:



1 2 3 4

1ra e 2da faixas:  
# efetivo

3ra faixa:  
multiplicador

4ta faixa:  
tolerância

## Exemplo:

Qual é o valor da resistência ?

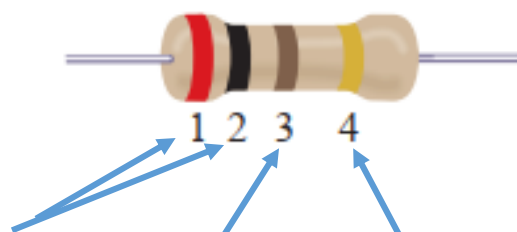


| Número | Cor      |
|--------|----------|
| 0      | Preto    |
| 1      | Marrom   |
| 2      | Vermelho |
| 3      | Laranja  |
| 4      | Amarelo  |
| 5      | Verde    |
| 6      | Azul     |
| 7      | Violeta  |
| 8      | Cinza    |
| 9      | Branco   |

|                                                      |                                                                                       |       |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| $\pm 5\%$<br>(multiplicador<br>de 0,01 se 3ª faixa)  |   | Ouro  |
| $\pm 10\%$<br>(multiplicador<br>de 0,01 se 3ª faixa) |  | Prata |

# Resistência

## Código de cores:



1ra e 2da faixas:  
# efetivo

3ra faixa:  
multiplicador

4ta faixa:  
tolerância

## Exemplo:

Qual é o valor da resistência ?



$$R = 12 \text{ K}\Omega \pm 600 \Omega$$

| Número | Cor      |
|--------|----------|
| 0      | Preto    |
| 1      | Marrom   |
| 2      | Vermelho |
| 3      | Laranja  |
| 4      | Amarelo  |
| 5      | Verde    |
| 6      | Azul     |
| 7      | Violeta  |
| 8      | Cinza    |
| 9      | Branco   |

|                                                |  |       |
|------------------------------------------------|--|-------|
| ±5%<br>(multiplicador<br>de 0,01 se 3ª faixa)  |  | Ouro  |
| ±10%<br>(multiplicador<br>de 0,01 se 3ª faixa) |  | Prata |



# Resistência

Valores comerciais:

Tolerâncias típicas de 5, 10 e 20 %

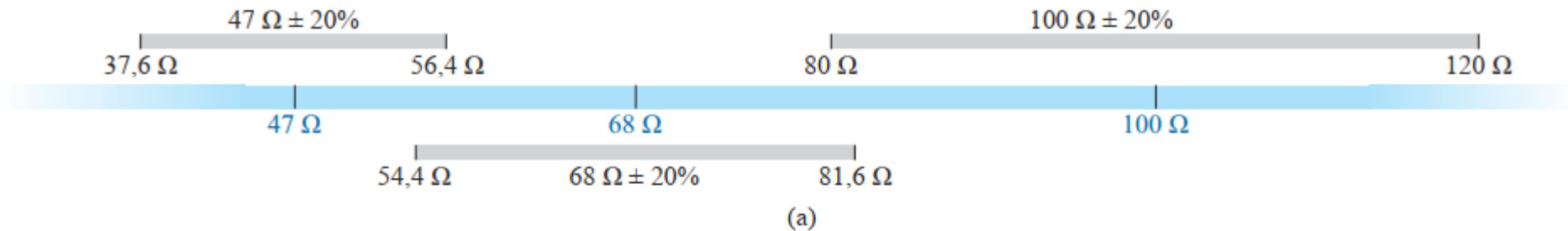
| Ohms ( $\Omega$ ) |     |    |     |      | Kilohms ( $k\Omega$ ) |     | Megohms ( $M\Omega$ ) |      |
|-------------------|-----|----|-----|------|-----------------------|-----|-----------------------|------|
| 0,10              | 1,0 | 10 | 100 | 1000 | 10                    | 100 | 1,0                   | 10,0 |
| 0,11              | 1,1 | 11 | 110 | 1100 | 11                    | 110 | 1,1                   | 11,0 |
| 0,12              | 1,2 | 12 | 120 | 1200 | 12                    | 120 | 1,2                   | 12,0 |
| 0,13              | 1,3 | 13 | 130 | 1300 | 13                    | 130 | 1,3                   | 13,0 |
| 0,15              | 1,5 | 15 | 150 | 1500 | 15                    | 150 | 1,5                   | 15,0 |
| 0,16              | 1,6 | 16 | 160 | 1600 | 16                    | 160 | 1,6                   | 16,0 |
| 0,18              | 1,8 | 18 | 180 | 1800 | 18                    | 180 | 1,8                   | 18,0 |
| 0,20              | 2,0 | 20 | 200 | 2000 | 20                    | 200 | 2,0                   | 20,0 |
| 0,22              | 2,2 | 22 | 220 | 2200 | 22                    | 220 | 2,2                   | 22,0 |
| 0,24              | 2,4 | 24 | 240 | 2400 | 24                    | 240 | 2,4                   |      |
| 0,27              | 2,7 | 27 | 270 | 2700 | 27                    | 270 | 2,7                   |      |
| 0,30              | 3,0 | 30 | 300 | 3000 | 30                    | 300 | 3,0                   |      |
| 0,33              | 3,3 | 33 | 330 | 3300 | 33                    | 330 | 3,3                   |      |
| 0,36              | 3,6 | 36 | 360 | 3600 | 36                    | 360 | 3,6                   |      |
| 0,39              | 3,9 | 39 | 390 | 3900 | 39                    | 390 | 3,9                   |      |
| 0,43              | 4,3 | 43 | 430 | 4300 | 43                    | 430 | 4,3                   |      |
| 0,47              | 4,7 | 47 | 470 | 4700 | 47                    | 470 | 4,7                   |      |
| 0,51              | 5,1 | 51 | 510 | 5100 | 51                    | 510 | 5,1                   |      |
| 0,56              | 5,6 | 56 | 560 | 5600 | 56                    | 560 | 5,6                   |      |
| 0,62              | 6,2 | 62 | 620 | 6200 | 62                    | 620 | 6,2                   |      |
| 0,68              | 6,8 | 68 | 680 | 6800 | 68                    | 680 | 6,8                   |      |



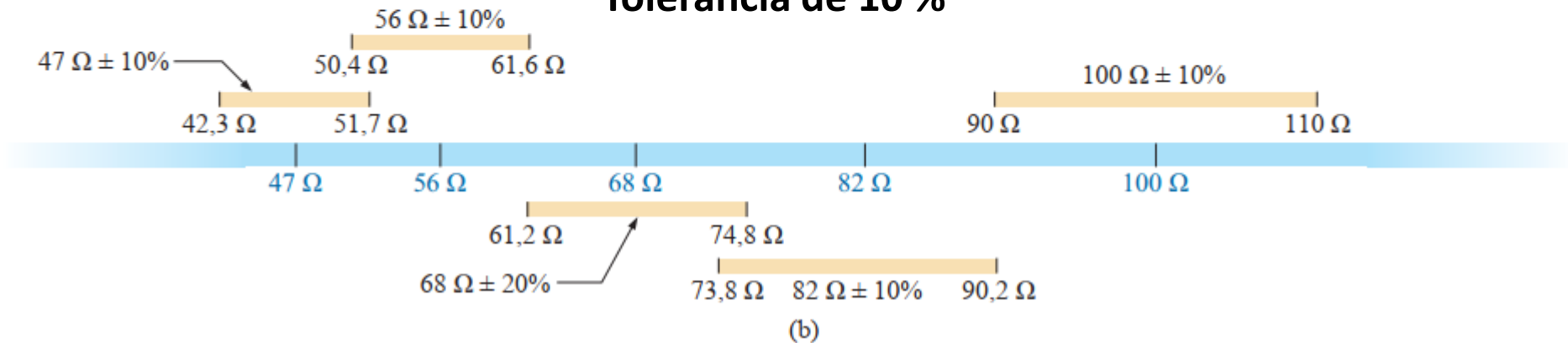
# Resistência

## Código de cores:

### Tolerância de 20 %



### Tolerância de 10 %



**Garantia de todo o intervalo de valores de R para uma tolerância dada**





# Condutância

# Condutância

## Condutância (Siemens, S):

Ao calcular o **inverso da resistência** de um material, é obtida uma **medida da facilidade com que o material conduz eletricidade**. Essa grandeza é denominada condutância, cujo símbolo é  **$G$** , e cuja medida é dada em **Siemens S**.

$$G = \frac{1}{R}$$

(siemens, S)

$$G = \frac{A}{\rho l}$$

(S)

Werner von Siemens.  
Alemanha (1816-1892)





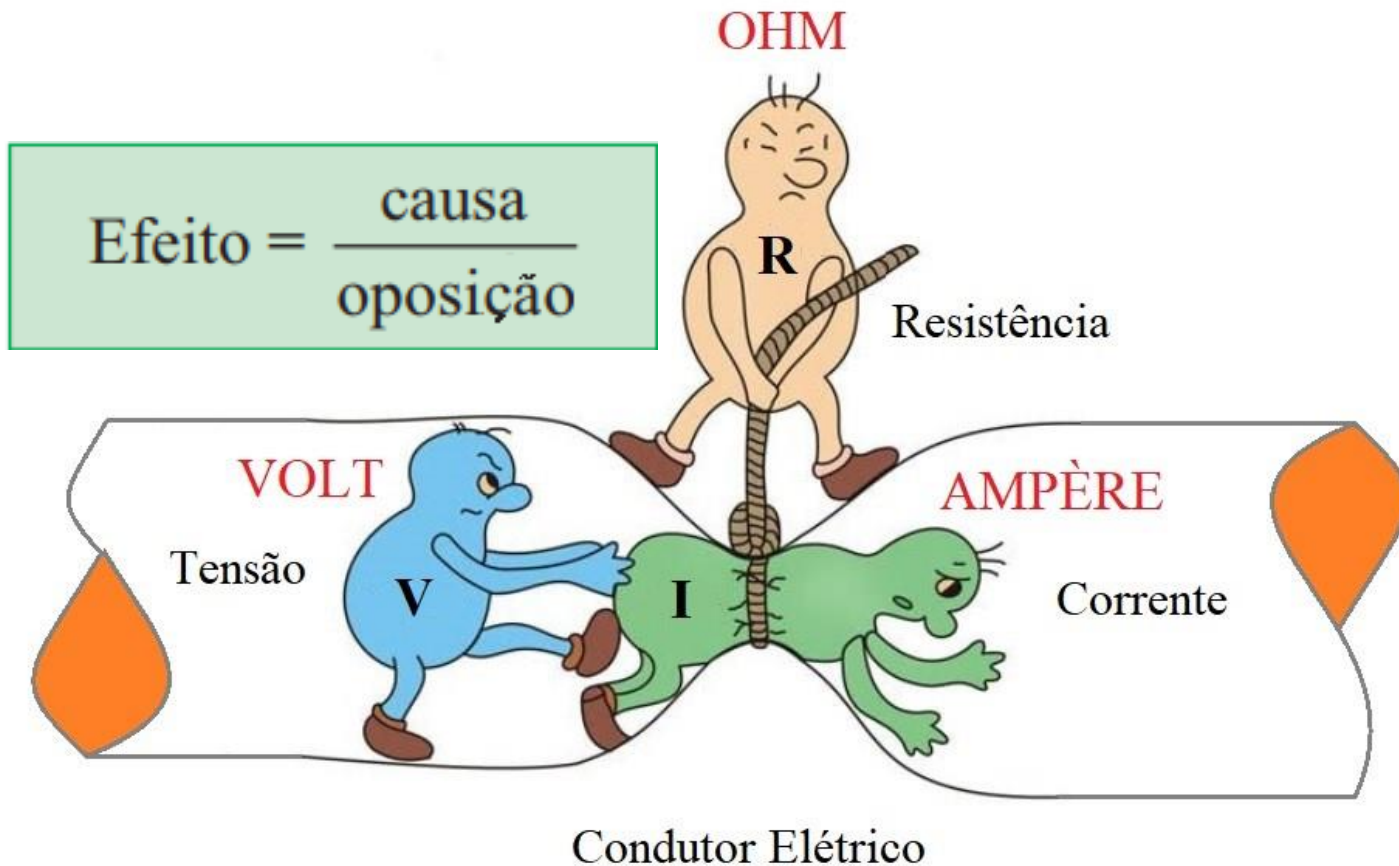
# Como relacionar Tensão, Corrente e Resistência?



# Lei de Ohm

# Lei de Ohm

## Lei de Ohm:



[https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Lei\\_de\\_ohm\\_-\\_Ohm%27s\\_law.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Lei_de_ohm_-_Ohm%27s_law.jpg)



# Lei de Ohm

## Lei de Ohm:

$$\text{Efeito} = \frac{\text{causa}}{\text{oposição}}$$

$$\text{Corrente} = \frac{\text{diferença de potencial}}{\text{resistência}}$$

$$I = \frac{E}{R} \quad (\text{ampères, A})$$

Para uma  $R$  fixa, quanto maior a tensão aplicada aos terminais de um resistor, maior a corrente. Para uma tensão fixa, quanto maior for a resistência, menor será a corrente. **A corrente é proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência.**



# Lei de Ohm

## Lei de Ohm:

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

(ampères, A)

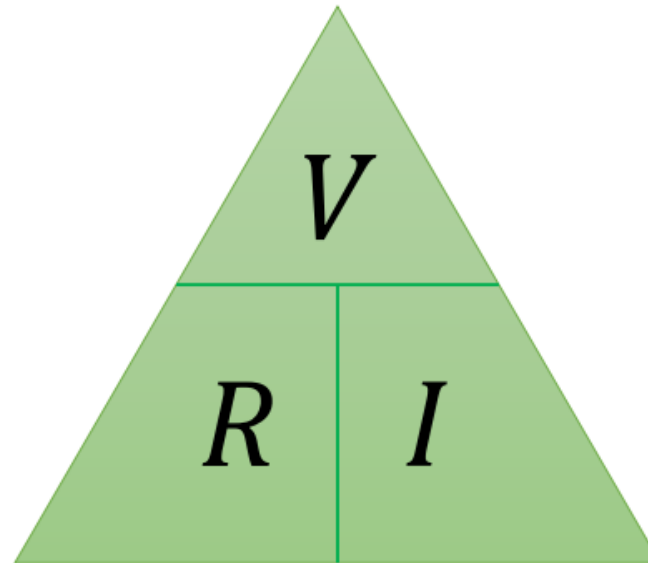
***Ou:***

$$E = IR$$

(volts, V)

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

(ohms,  $\Omega$ )



**A Lei de Ohm estabelece uma relação entre  $I$ ,  $E$  e  $R$ .**



# Lei de Ohm

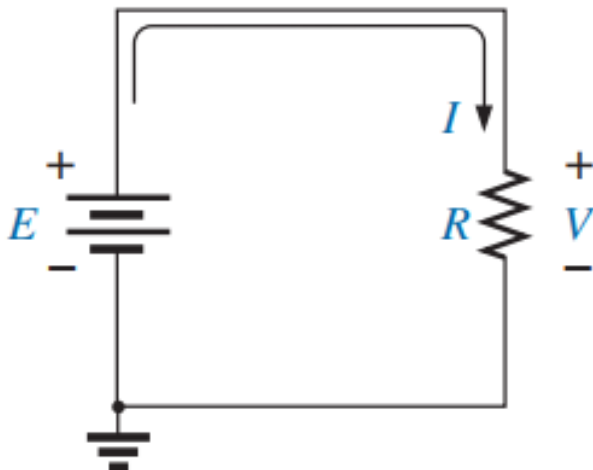
## Lei de Ohm:

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

(ampères, A)



Georg Simon Ohm.  
Alemanha (1789-1854)







# Lei de Ohm

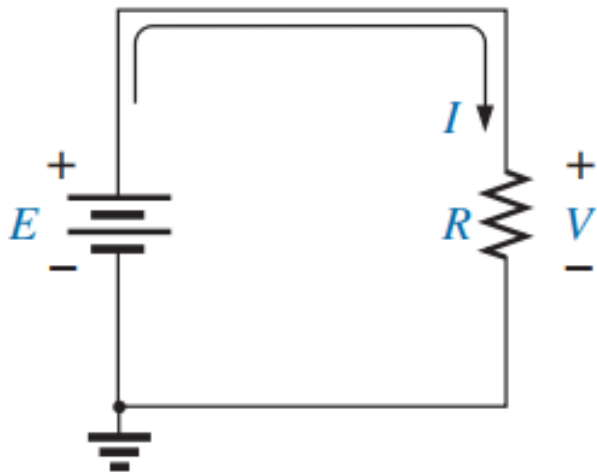
## Lei de Ohm:

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

(ampères, A)



Georg Simon Ohm.  
Alemanha (1789-1854)



$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{E}{R}$$



# Lei de Ohm

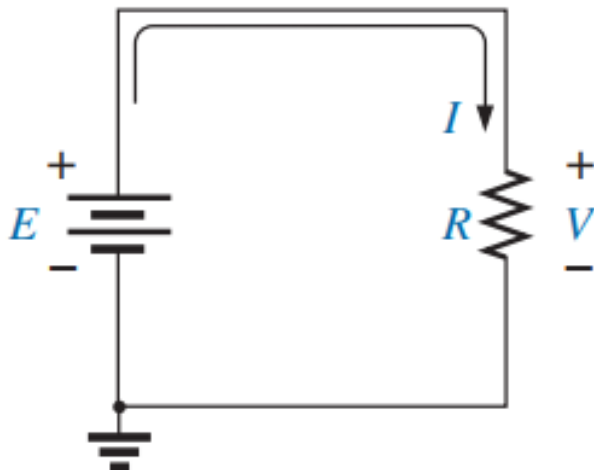
## Lei de Ohm:

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

(ampères, A)

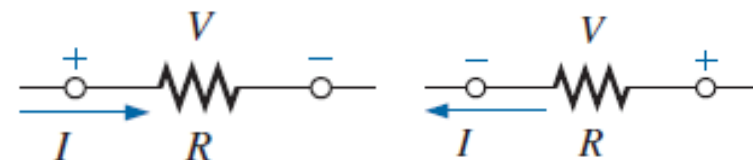


Georg Simon Ohm.  
Alemanha (1789-1854)



$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{E}{R}$$

Para qualquer resistor, em qualquer rede, a **direção da corrente através de um resistor define a polaridade da queda de tensão sobre o resistor**





# Lei de Ohm

## Exemplos:

**Calcule a resistência** do filamento de uma lâmpada de **60 W** se uma corrente de **500 mA** for estabelecida em função de uma tensão aplicada de **120 V**.



## Lei de Ohm

### Exemplos:

**Calcule a resistência** do filamento de uma lâmpada de **60 W** se uma corrente de **500 mA** for estabelecida em função de uma tensão aplicada de **120 V**.

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{E}{I} = \frac{120 \text{ V}}{500 \times 10^{-3} \text{ A}} = 240 \text{ } \Omega$$



# Lei de Ohm

## Exemplos:

**Determine a corrente** resultante da conexão de uma bateria de **9 V** aos terminais de um circuito cuja **resistência é 2,2 Ω**.

$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{E}{R} = \frac{9\text{ V}}{2,2\Omega} = 4,09\text{ A}$$



# Lei de Ohm

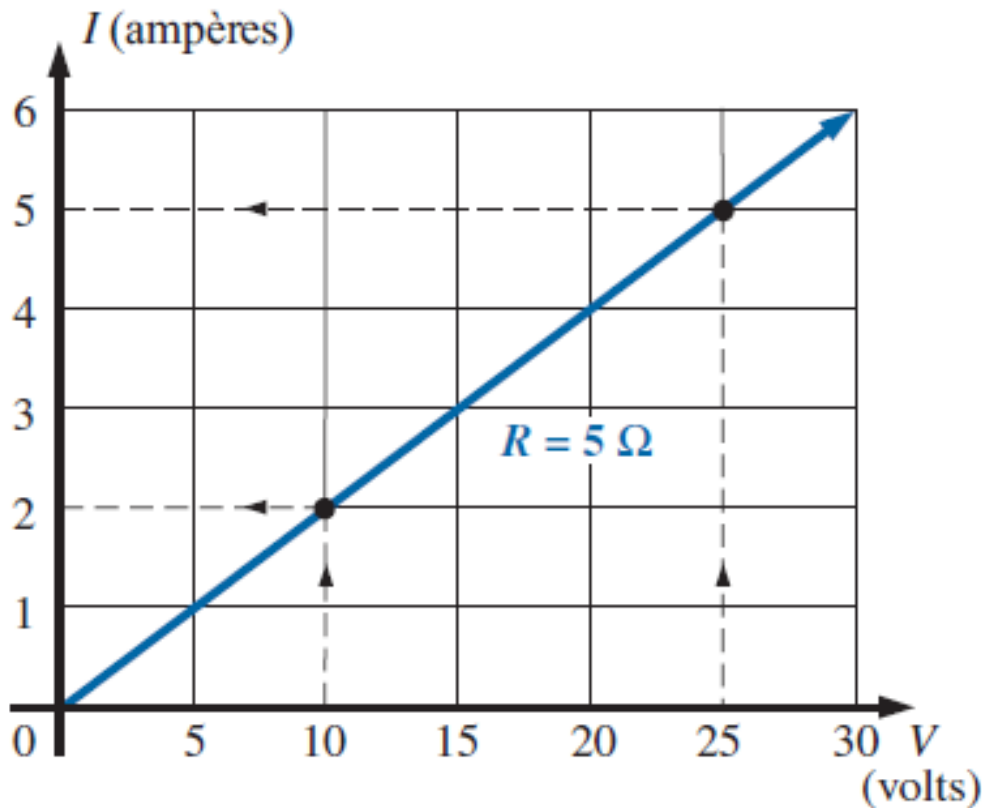
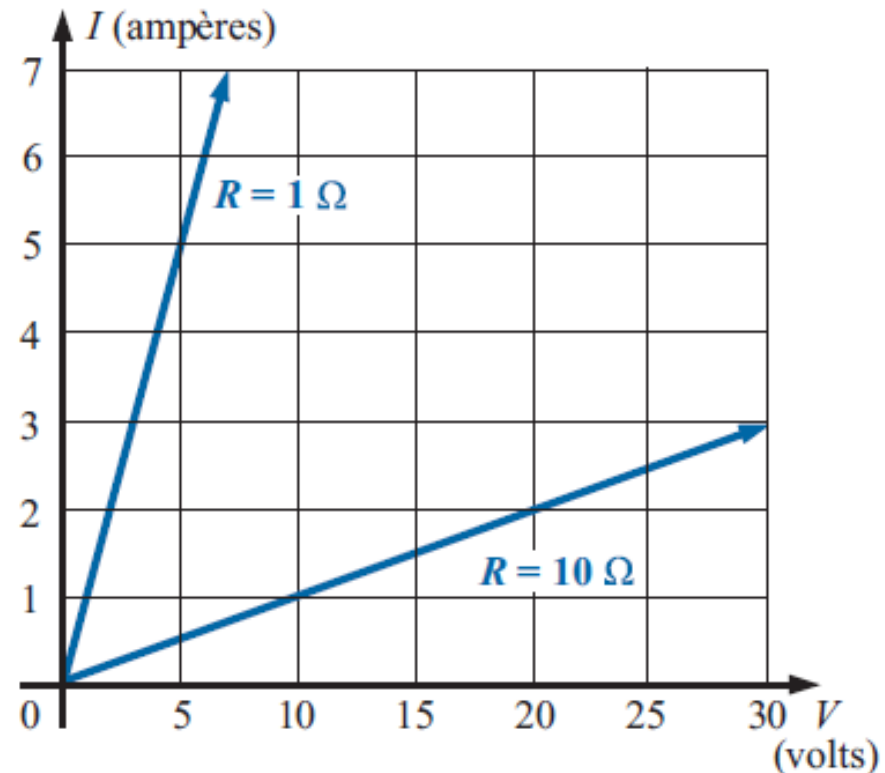


Gráfico da Lei de Ohm



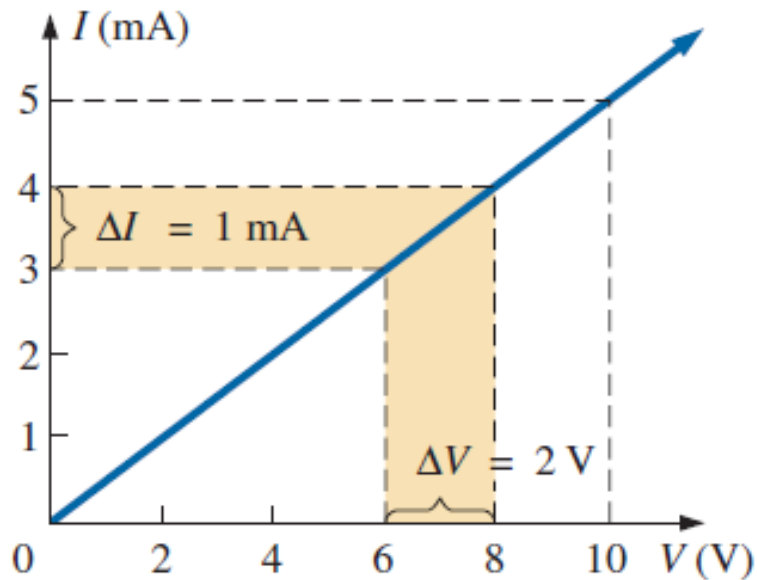
$$m = \text{inclinação da reta} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{1}{R}$$



# Lei de Ohm

## Exemplos:

Determine a resistência associada ao seguinte gráfico:

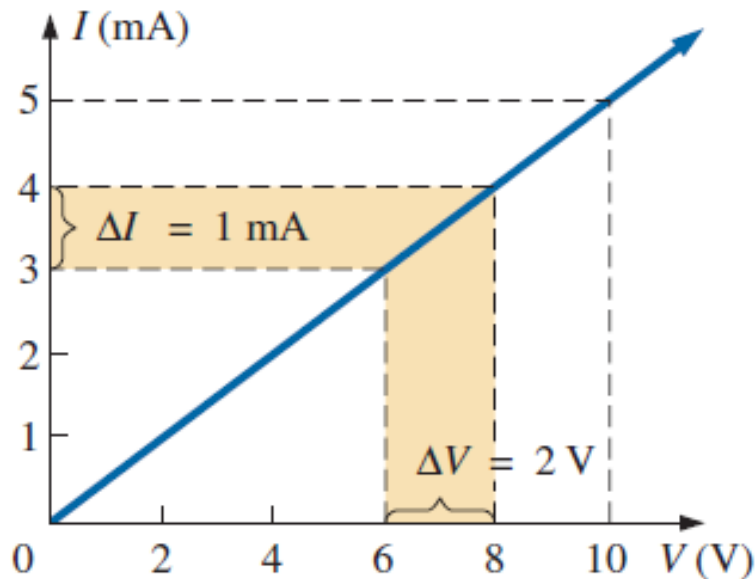




# Lei de Ohm

## Exemplos:

Determine a resistência associada ao seguinte gráfico:



$$R_{cc} = \frac{V}{I} = \frac{6V}{3\text{mA}} = 2\text{ k}\Omega$$

ou:

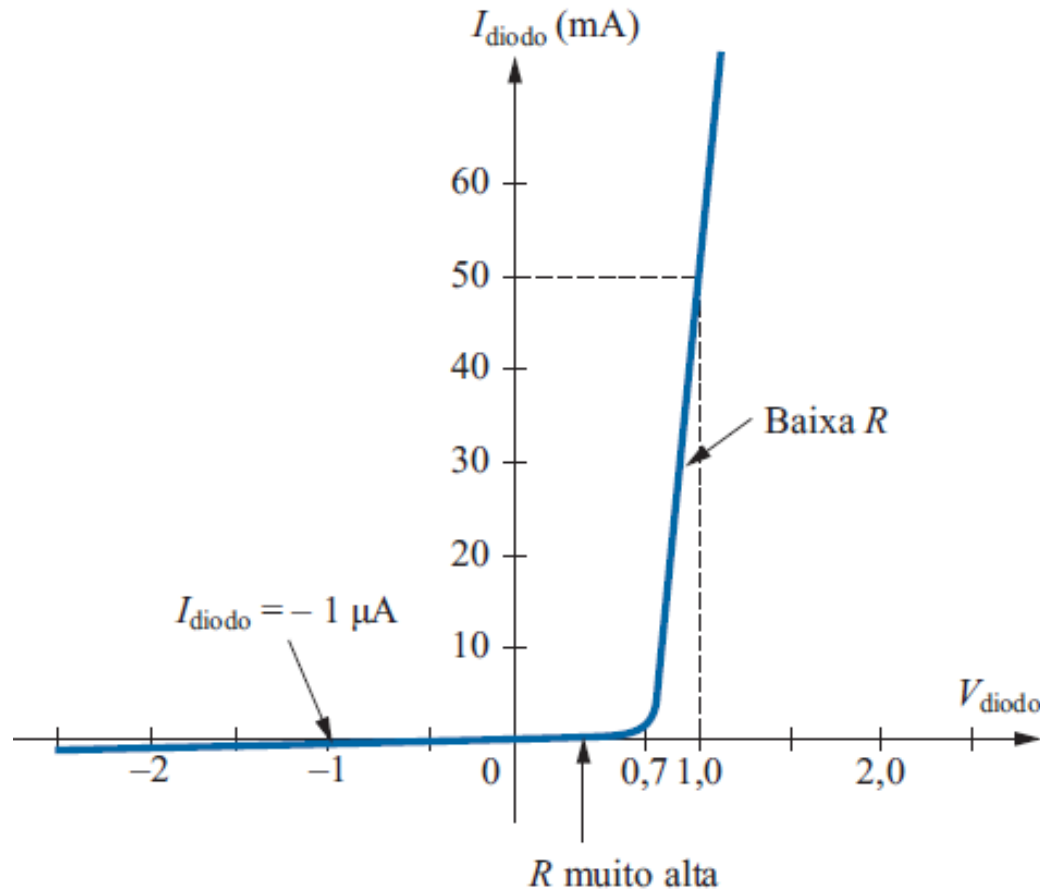
$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{2V}{1\text{mA}} = 2\text{ k}\Omega$$





# Lei de Ohm

## Resistência de um diodo



Para  $V_D = 1$  V:

$$R_{\text{diodo}} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{1 \text{ V}}{50 \text{ mA}}$$
$$= \frac{1 \text{ V}}{50 \times 10^{-3} \text{ A}} = 20 \Omega$$

Para  $V_D = -1$  V:

$$R_{\text{diodo}} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{1 \text{ V}}{1 \mu\text{A}} = 1 \text{ M}\Omega$$

Curva característica de um diodo semiconductor



# Potência



# Potência

## Potência:

O termo **potência** é aplicado para fornecer uma **indicação da quantidade de trabalho** (conversão de energia) que pode ser **realizado em um determinado período de tempo**; isto é, a potência é a velocidade com que um trabalho é executado

$$1 \text{ watt (W)} = 1 \text{ joule/segundo (J/s)}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

(watts, W, ou joules/segundo, J/s)

# Potência

A unidade de medida, o **watt**, é derivada do sobrenome de **James Watt**, que realizou trabalhos fundamentais para o estabelecimento de padrões de medida de potência. Ele introduziu a unidade chamada *horsepower* (hp) para representar a **potência média desenvolvida por um cavalo robusto ao puxar uma carroça durante um dia inteiro de trabalho**.

$$1 \text{ horsepower} \cong 746 \text{ watts}$$



James Watt.  
Escócia (1736-1819)



## Potência

**Qual é a potência consumida por um sistema ou por um dispositivo elétrico em função dos valores de corrente e de tensão? Demonstrar matematicamente.**



## Potência

Qual é a potência consumida por um sistema ou por um dispositivo elétrico em função dos valores de corrente e de tensão? Demonstrar matematicamente.

$$P = VI$$

(watts, W)

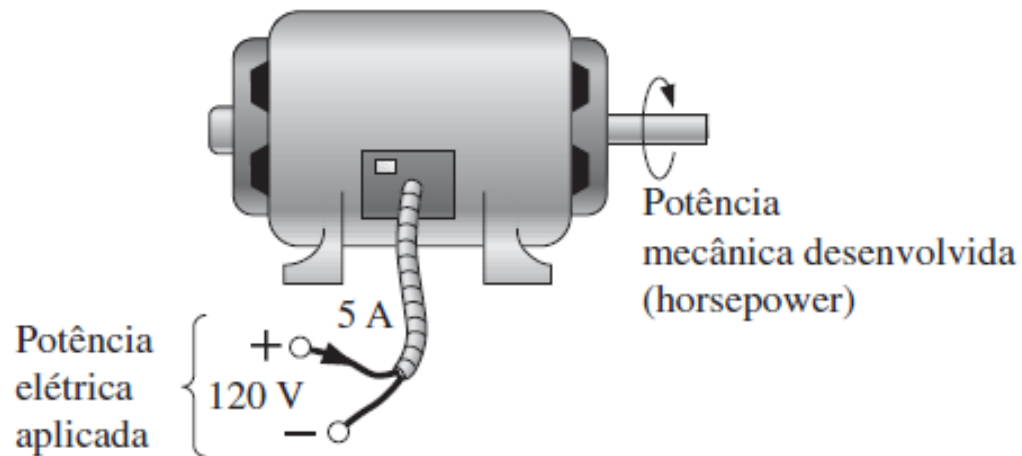
$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$P = I^2 R$$

# Potência

## Exemplos:

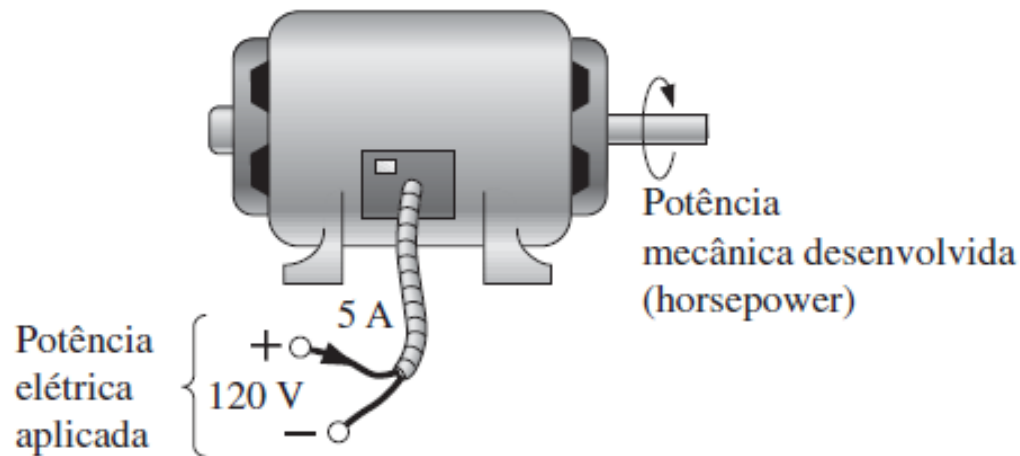
Determine a potência entregue ao motor de corrente contínua ilustrado na seguinte figura.



# Potência

## Exemplos:

Determine a potência entregue ao motor de corrente contínua ilustrado na seguinte figura.



$$P = EI = (120 \text{ V})(5 \text{ A}) = 600 \text{ W} = \mathbf{0,6 \text{ kW}}$$





# Referências

Boylestad, R., L. Introdução à análise de circuitos, 12nd ed. Pearson, 2012.



Universidade de São Paulo (USP), Escola  
de Engenharia de Lorena (EEL),  
Curso de Engenharia Física



***Obrigado***

**Prof. Dr. Andy Blanco Rodriguez**  
**andy.blanco@usp.br**

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR), Sala A 53C, Área II da EEL-USP,  
Estrada Chiquito de Aquino, N° 1000, Lorena, São Paulo, Brasil.