

# Eletricidade básica

Aula 06: Circuitos em série

# Fonte elétrica

- As fontes elétricas são fundamentais na compreensão da eletrodinâmica, pois elas que mantêm a diferença de potencial (ddp) necessária para a manutenção da corrente elétrica. Num circuito elétrico, a fonte elétrica é representada pelo símbolo abaixo:



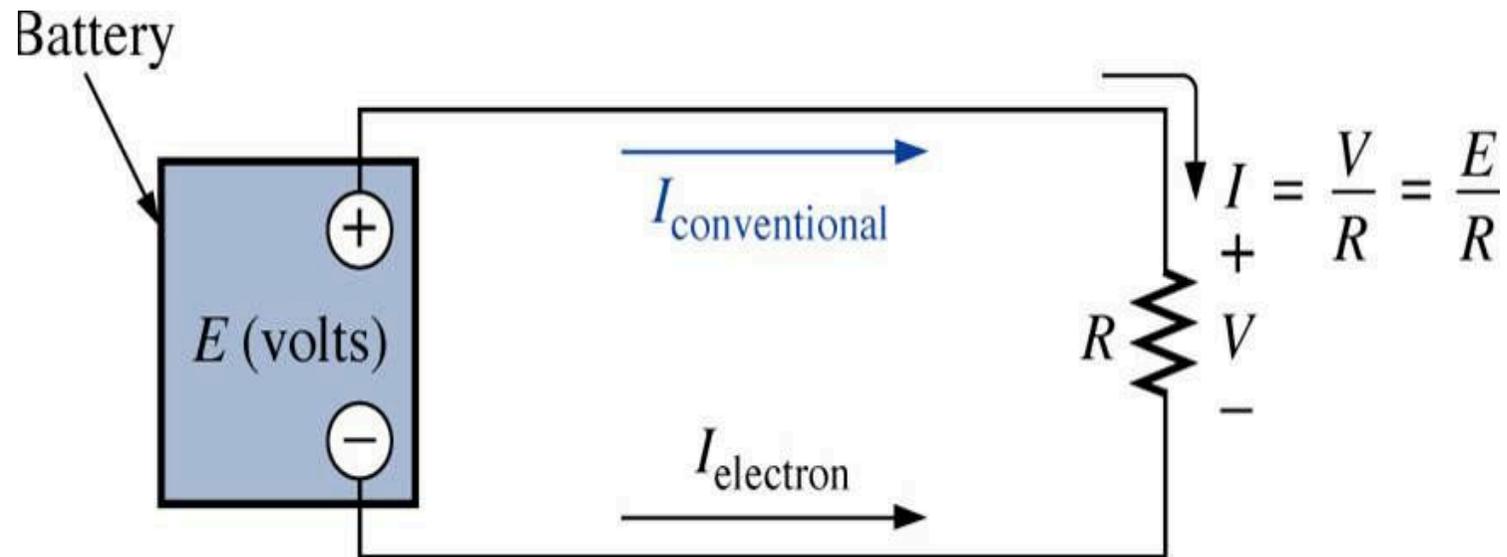
Símbolo de fonte elétrica no circuito.

O pólo positivo (+) representa o terminal cujo potencial elétrico é maior. O pólo negativo (-) corresponde ao terminal de menor potencial elétrico.

# Circuito elétrico simples

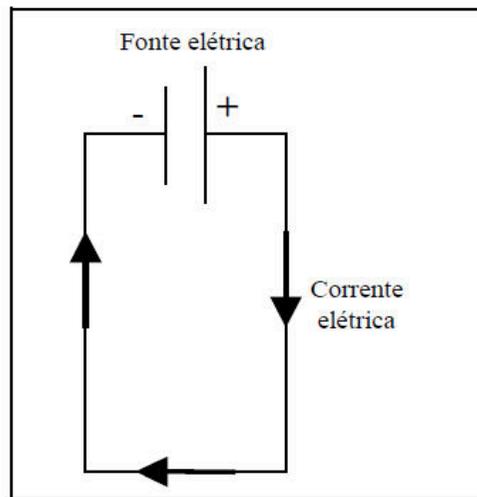
- Um circuito consiste em um número qualquer de elementos unidos por seus terminais, estabelecendo pelo menos um caminho fechado através do qual a carga possa fluir.

Boylestad – Introdução à análise de circuitos

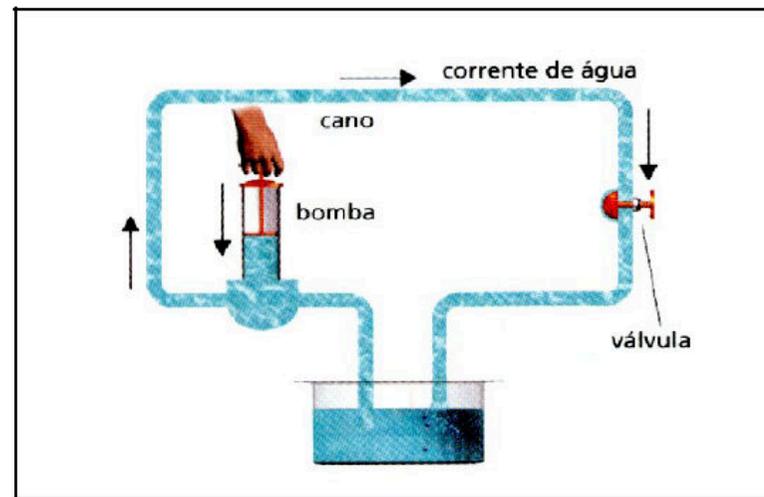


# Circuito elétrico simples

- O sistema formado por um fio condutor com as extremidades acopladas aos pólos de um gerador é considerado um **circuito elétrico simples**, no qual a **corrente elétrica se dá através do fio**.
- No fio condutor os elétrons se deslocam do pólo negativo para o pólo positivo (sentido real) . Nesse deslocamento há perda de energia elétrica, devido a colisões dos elétrons com os átomos do material.



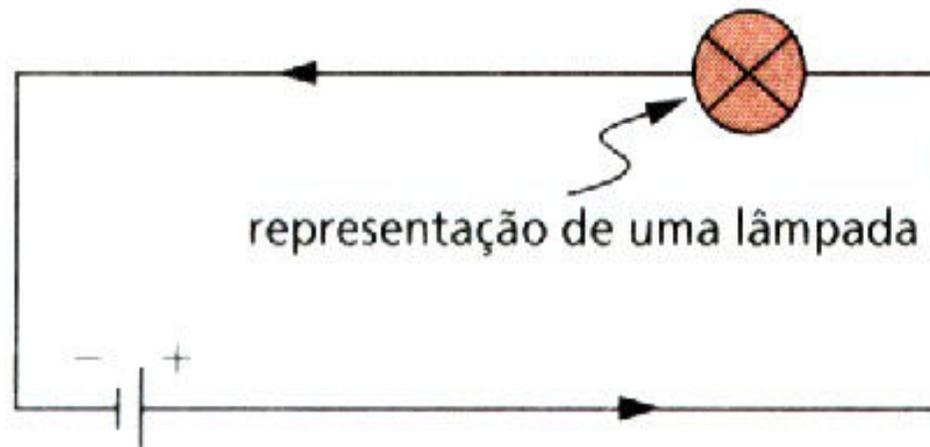
Circuito elétrico simples



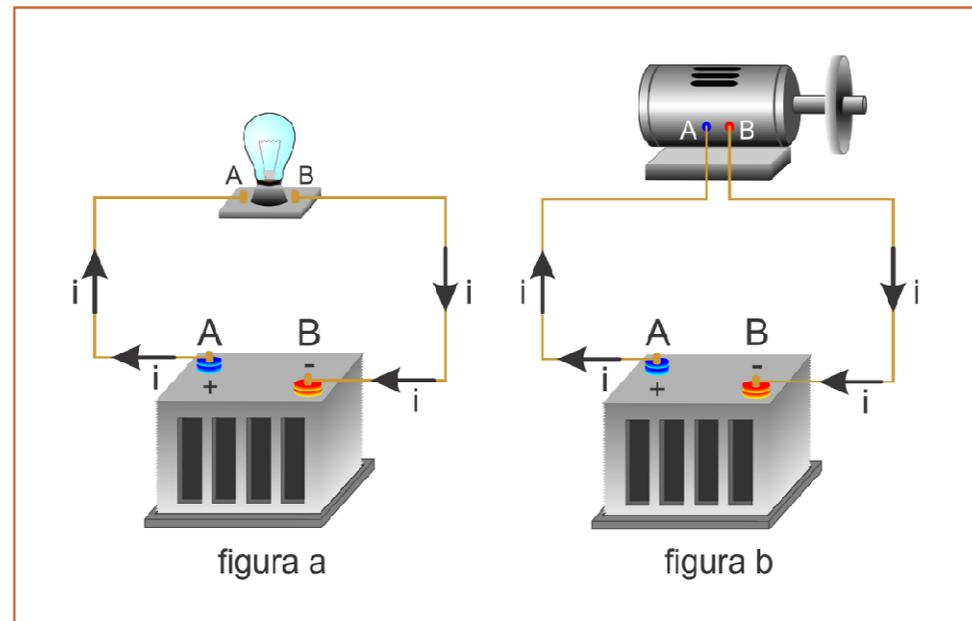
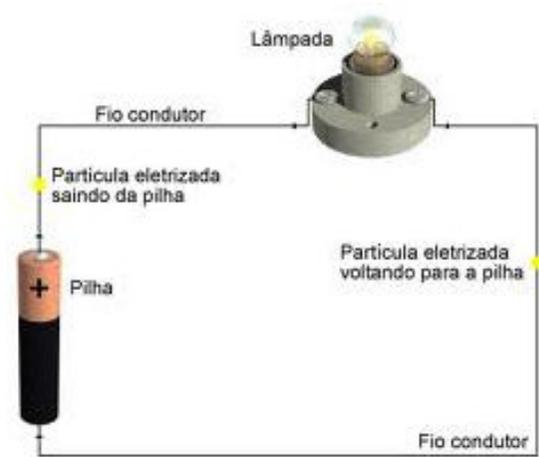
Sistema hidráulico

## Exemplo de Circuito Simples

A figura abaixo mostra a representação gráfica de um circuito elétrico contendo um gerador, uma lâmpada e fios condutores.



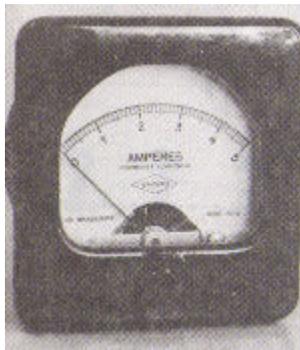
# Circuito Elétrico Corrente Contínua (CC)



**AMPERÍMETRO** é o instrumento que fornece o valor da intensidade da corrente elétrica.

Quando a corrente elétrica é muito pequena, o aparelho usado para a sua medida é o galvanômetro. Trata-se de um aparelho semelhante ao amperímetro, só que bem mais sensível, com capacidade para efetuar medições de pequenas correntes elétricas.

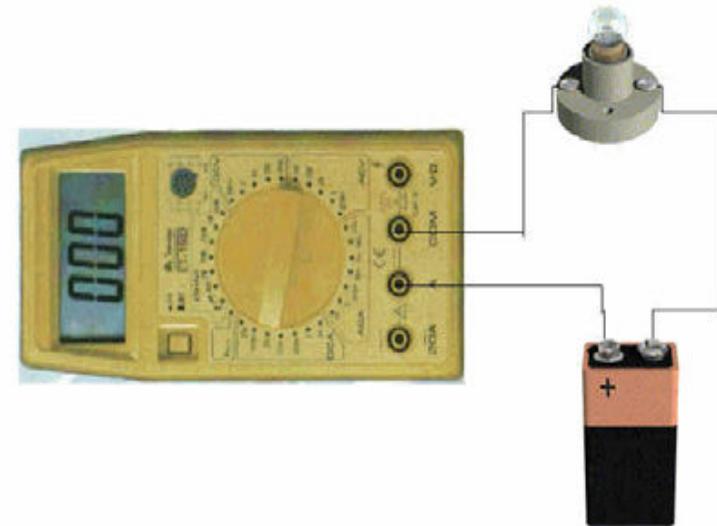
Veja abaixo alguns exemplos de amperímetros:



Amperímetro de Bancada



Alicate amperímetro

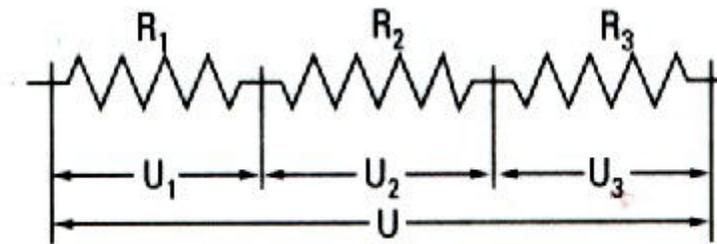
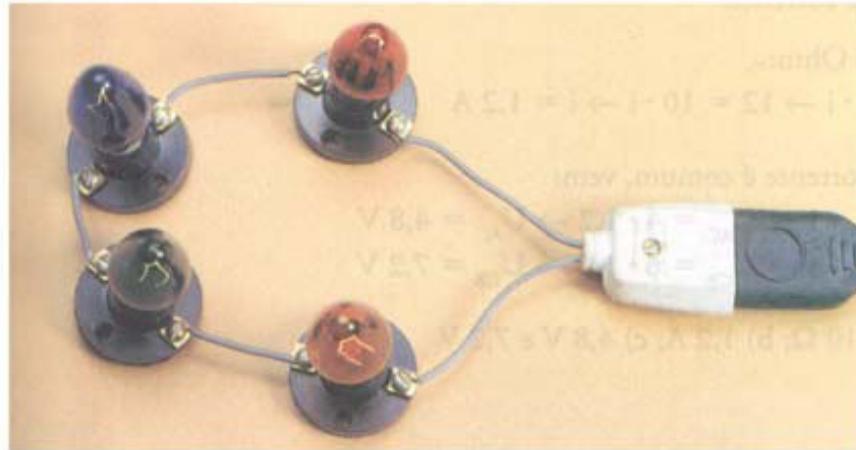


Montagem de um amperímetro num circuito elétrico

# Associação de resistores

## Resistores em Série

Nesse tipo de associação, a corrente elétrica percorre todos os resistores antes de retornar à tomada.



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

## Resistência equivalente de um circuito em série

A introdução da resistência equivalente em um circuito não modifica o valor da corrente elétrica, temos:

$$U = Ri$$

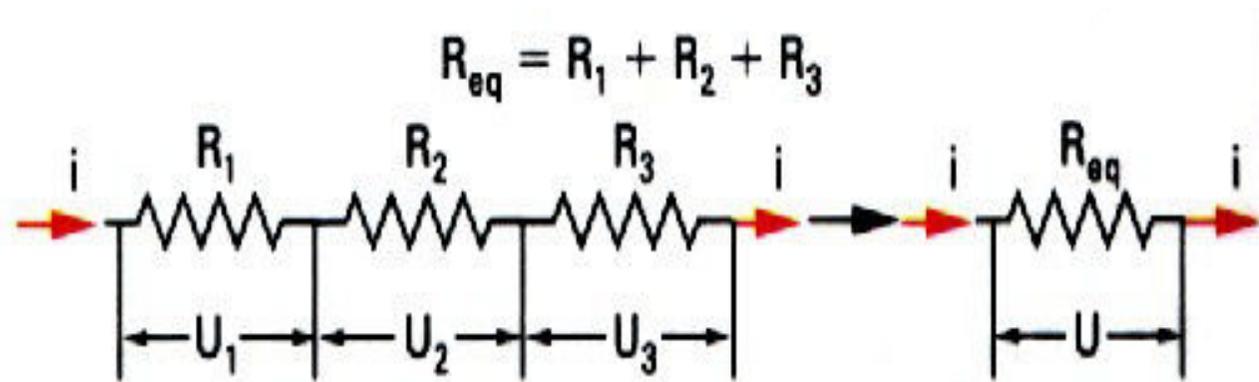
Sabendo que  $U = U_1 + U_2 + U_3$ , temos:

$$R_{eq} \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i$$

Dividindo os membros da igualdade pela corrente  $i$ , temos:

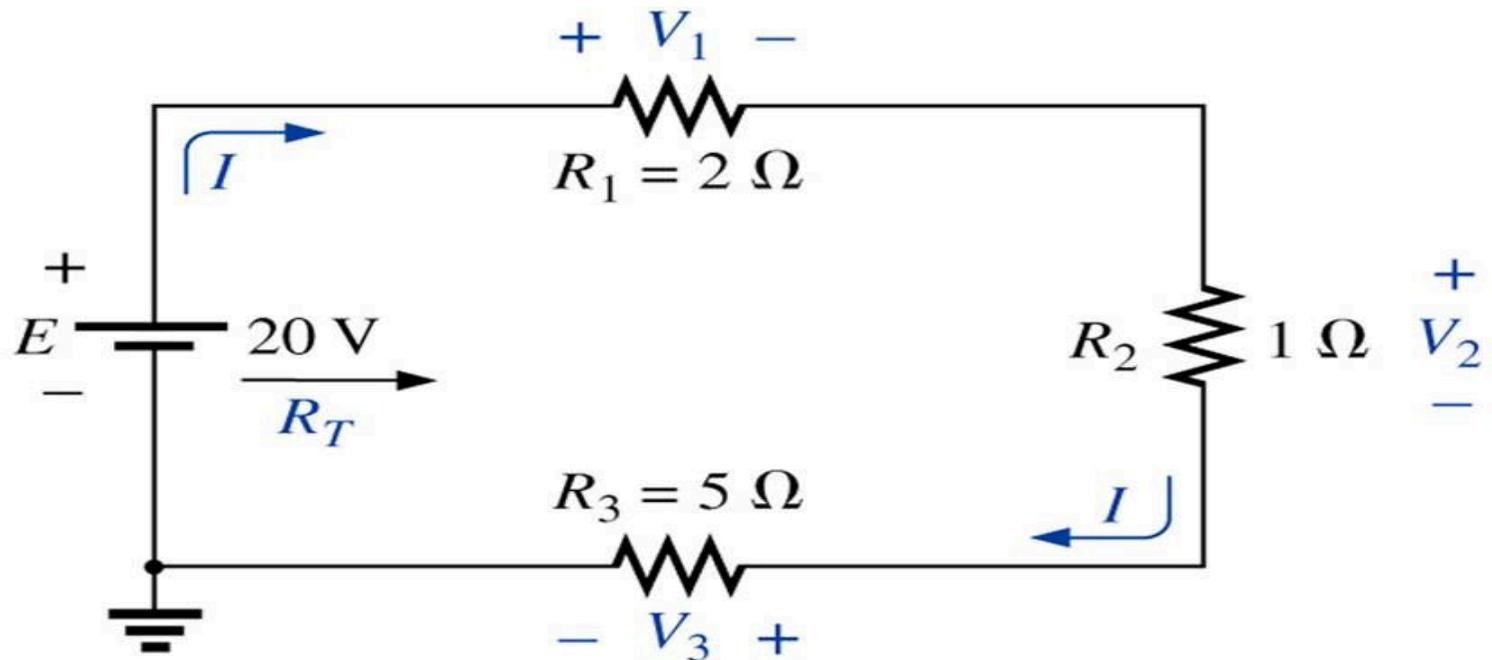
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

Em geral, numa associação de resistores em série, a resistência equivalente  $R_{eq}$  é igual à soma das resistências individuais.



Exercício: Determine a resistência total do circuito em série abaixo:

- Calcule a corrente fornecida pela fonte.
- Determine as tensões  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ .
- Calcule a potência dissipada por  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ .
- Calcule a potência dissipada pela fonte e compare com a soma das potências calculadas nas partes.



Exercício: solução

**Solução:**

a.  $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \Omega + 1 \Omega + 5 \Omega = 8 \Omega$

b.  $I_s = \frac{E}{R_T} = \frac{20 \text{ V}}{8 \Omega} = 2,5 \text{ A}$

c.  $V_1 = IR_1 = (2,5 \text{ A})(2 \Omega) = 5 \text{ V}$

$$V_2 = IR_2 = (2,5 \text{ A})(1 \Omega) = 2,5 \text{ V}$$

$$V_3 = IR_3 = (2,5 \text{ A})(5 \Omega) = 12,5 \text{ V}$$

d.  $P_1 = V_1 I_1 = (5 \text{ V})(2,5 \text{ A}) = 12,5 \text{ W}$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (2,5 \text{ A})^2 (1 \Omega) = 6,25 \text{ W}$$

$$P_3 = V_3^2 / R_3 = (12,5 \text{ V})^2 / 5 \Omega = 31,25 \text{ W}$$

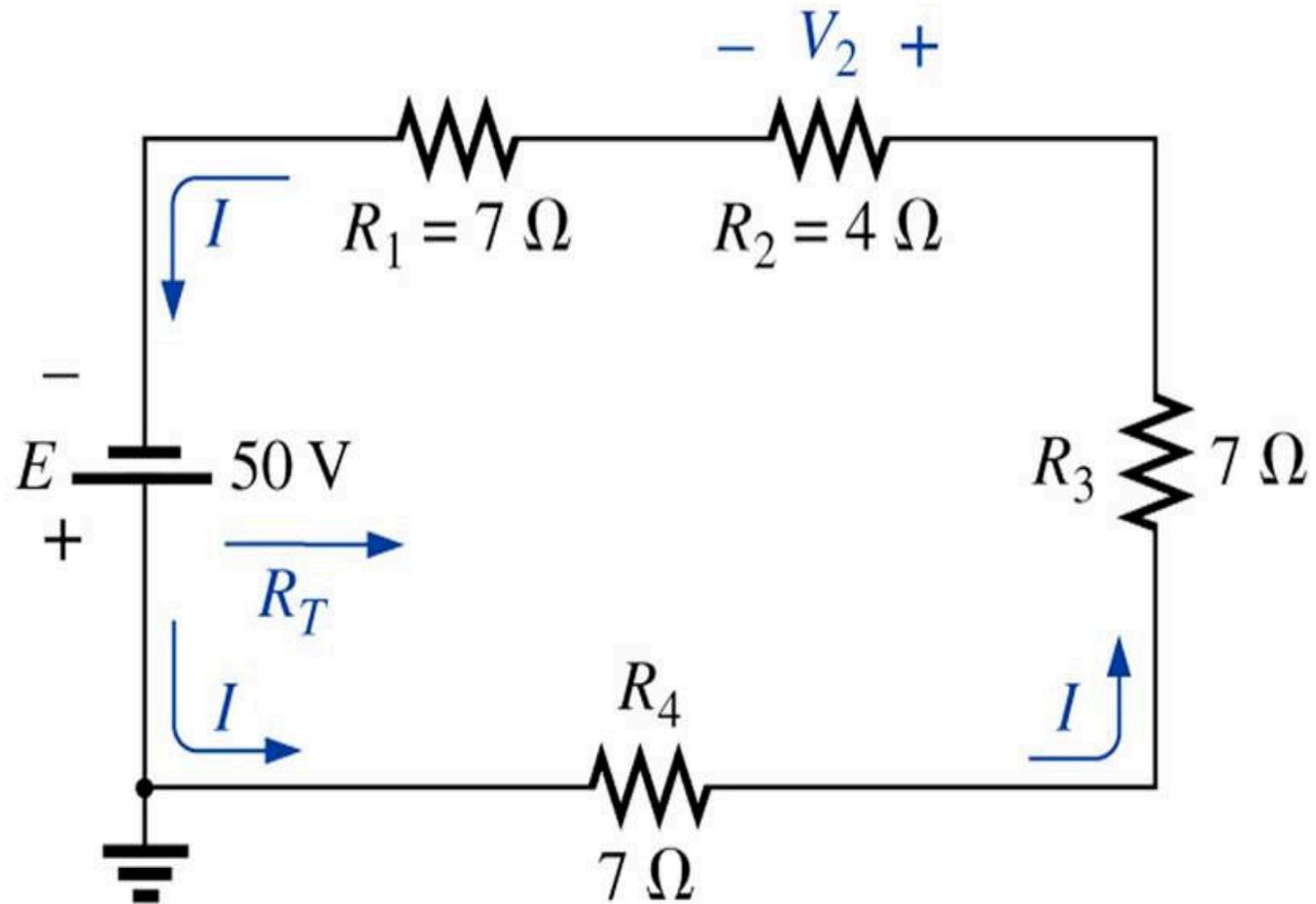
e.  $P_{\text{del}} = EI = (20 \text{ V})(2,5 \text{ A}) = 50 \text{ W}$

$$P_{\text{del}} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$50 \text{ W} = 12,5 \text{ W} + 6,25 \text{ W} + 31,25 \text{ W}$$

$$\underline{50 \text{ W} = 50 \text{ W}} \quad (\text{conferido})$$

Exercício: Determine  $R_t$ ,  $I$  e  $V_2$  para o circuito abaixo:



Exercício: solução

Observe o sentido da corrente, estabelecido pela bateria, e a polaridade da queda de tensão entre os terminais de  $R_2$  determinada pelo sentido da corrente.

Como  $R_1 = R_3 = R_4$ :

$$\begin{aligned} R_T &= NR_1 + R_2 = (3)(7 \Omega) + 4 \Omega \\ &= 21 \Omega + 4 \Omega = 25 \Omega \end{aligned}$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{50 \text{ V}}{25 \Omega} = 2 \text{ A}$$

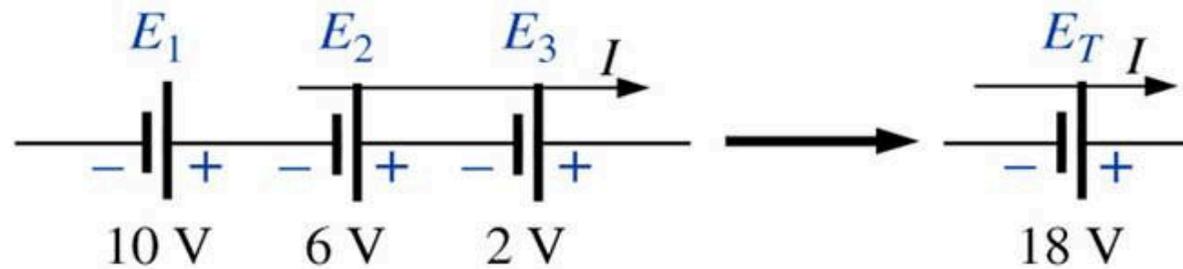
$$V_2 = IR_2 = (2 \text{ A})(4 \Omega) = 8 \text{ V}$$

## Fontes de tensão em série:

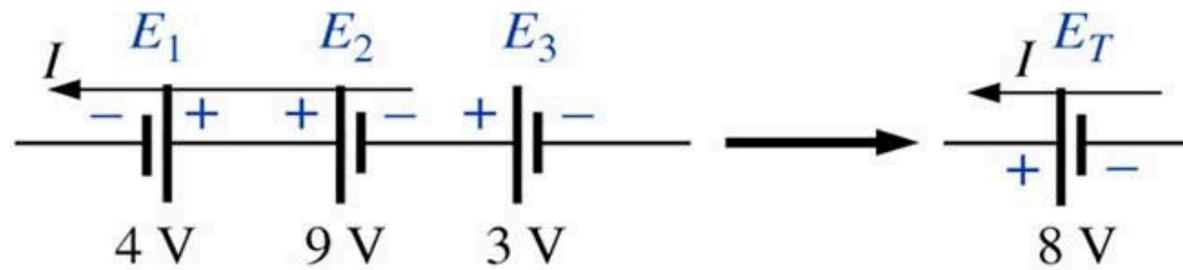
- Fontes de tensão podem ser conectadas em série para aumentar ou diminuir a tensão total do sistema.
- A tensão total do sistema é obtida somando-se as tensões de fonte de mesma polaridade e subtraindo-se as tensões de fontes de polaridade opostas.
- A polaridade resultante é aquela para onde a soma é maior.

## Fontes de tensão em série:

- Exemplos



(a)



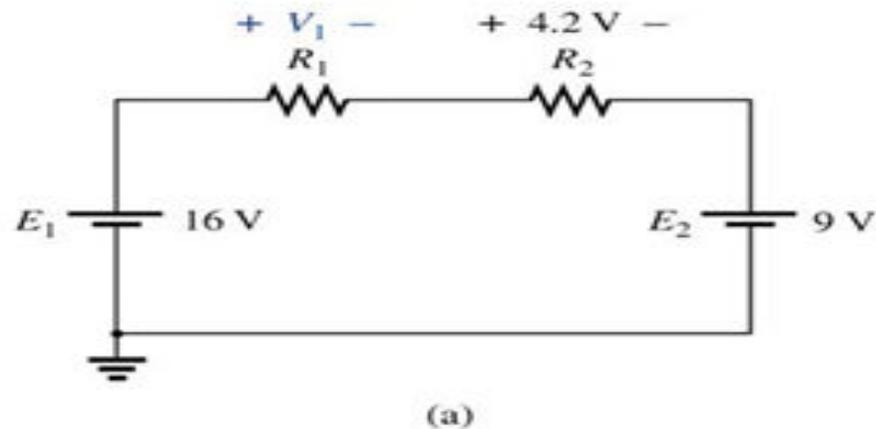
(b)

## Lei de Kirchhoff para tensões

- Uma malha fechada é qualquer caminho contínuo que ao ser percorrido em um sentido único retorna ao mesmo ponto em sentido oposto.
- Ao percorrermos uma malha fechada, a soma das tensões aplicadas ao circuito será sempre igual a zero.
- Obs: a soma será sempre zero independente do sentido que se percorre a malha.

# Lei de Kirchhoff para tensões

- Exemplo: determine a tensão desconhecida no circuito abaixo:



solução

$$+E_1 - V_1 - V_2 - E_2 = 0$$

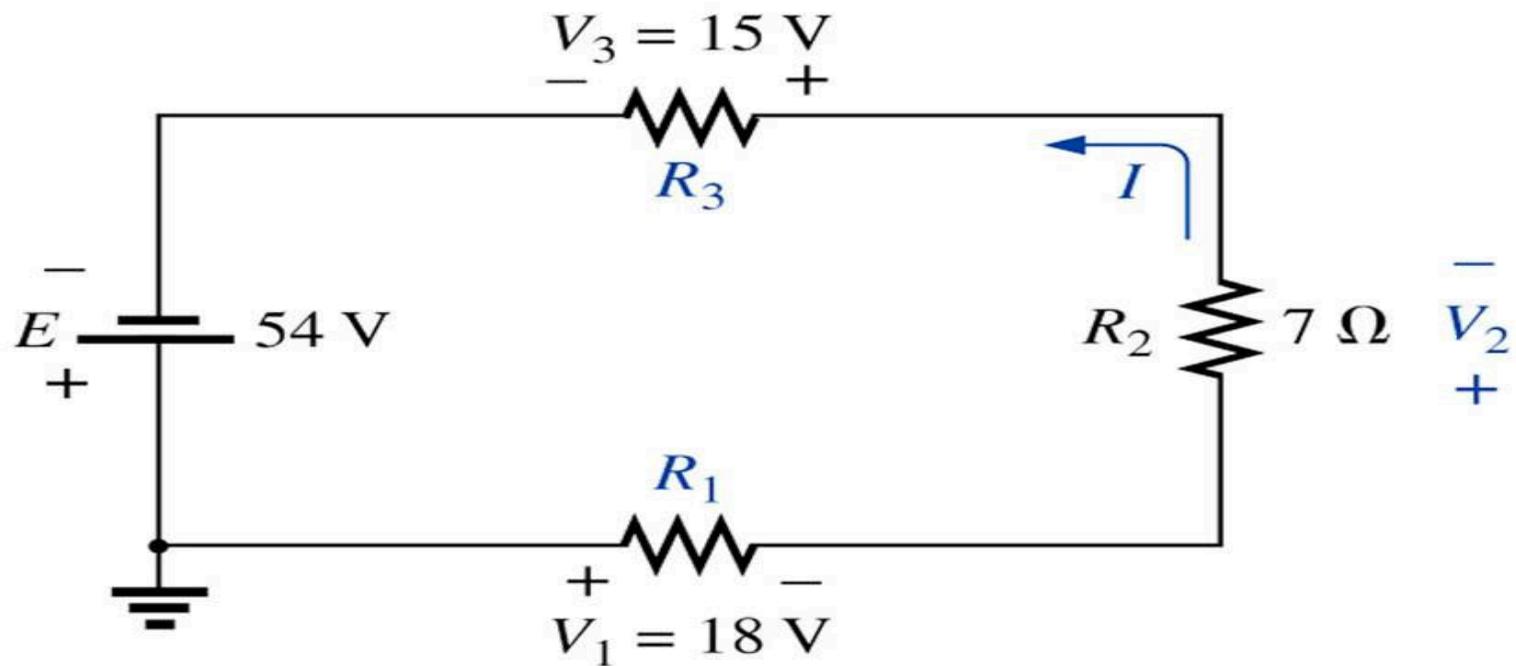
e

$$V_1 = E_1 - V_2 - E_2 = 16 \text{ V} - 4,2 \text{ V} - 9 \text{ V} = 2,8 \text{ V}$$

# Lei de kirchhoff para tensões

Exercício: para o circuito abaixo determine:

- $V_2$
- Determine  $I$
- Determine  $R_1$  e  $R_3$



# Lei de Kirchhoff para tensões

Exercício:

**Solução:**

- a. A lei de Kirchhoff para tensões (escolhendo o sentido horário):

$$-E + V_3 + V_2 + V_1 = 0$$

ou

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

e  $V_2 = E - V_1 - V_3 = 54 \text{ V} - 18 \text{ V} - 15 \text{ V} = 21 \text{ V}$

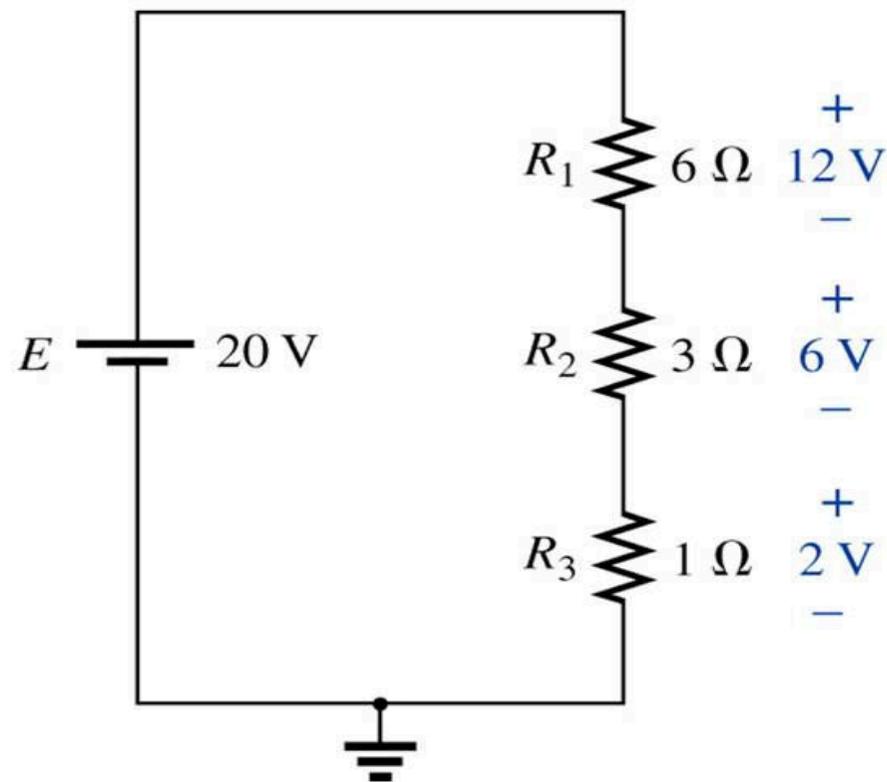
b.  $I = \frac{V_2}{R_2} = \frac{21 \text{ V}}{7 \Omega} = 3 \text{ A}$

c.  $R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{18 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 6 \Omega$

$$R_3 = \frac{V_3}{I} = \frac{15 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 5 \Omega$$

# Divisor de tensões

Observe que em uma malha fechada a tensão em cada elemento resistivo é proporcional ao seu valor em relação aos outros resistores;



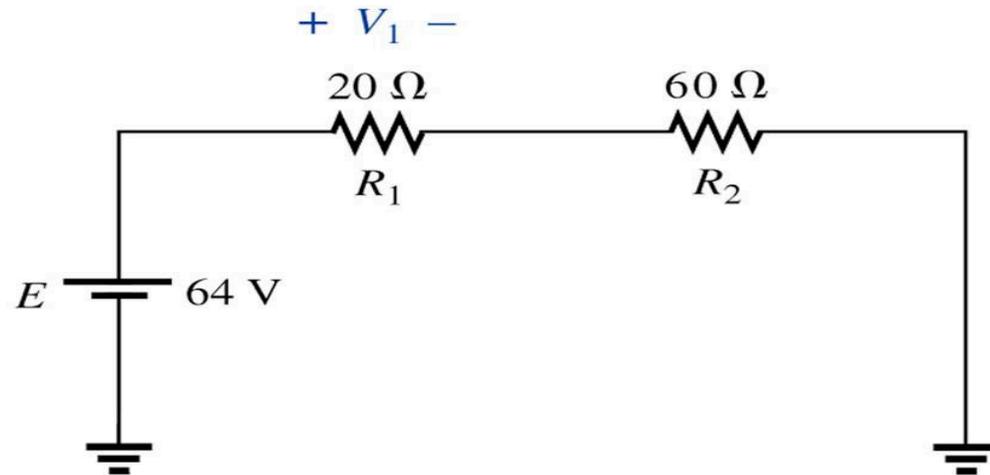
## Divisor de tensões

Desta observação podemos obter a relação conhecida como divisor de tensões:

$$V_1 = ( R_1 / R_{total} ) * V_{total}$$

# Divisor de tensões

exemplo: Determine  $V_1$  para o exemplo abaixo.

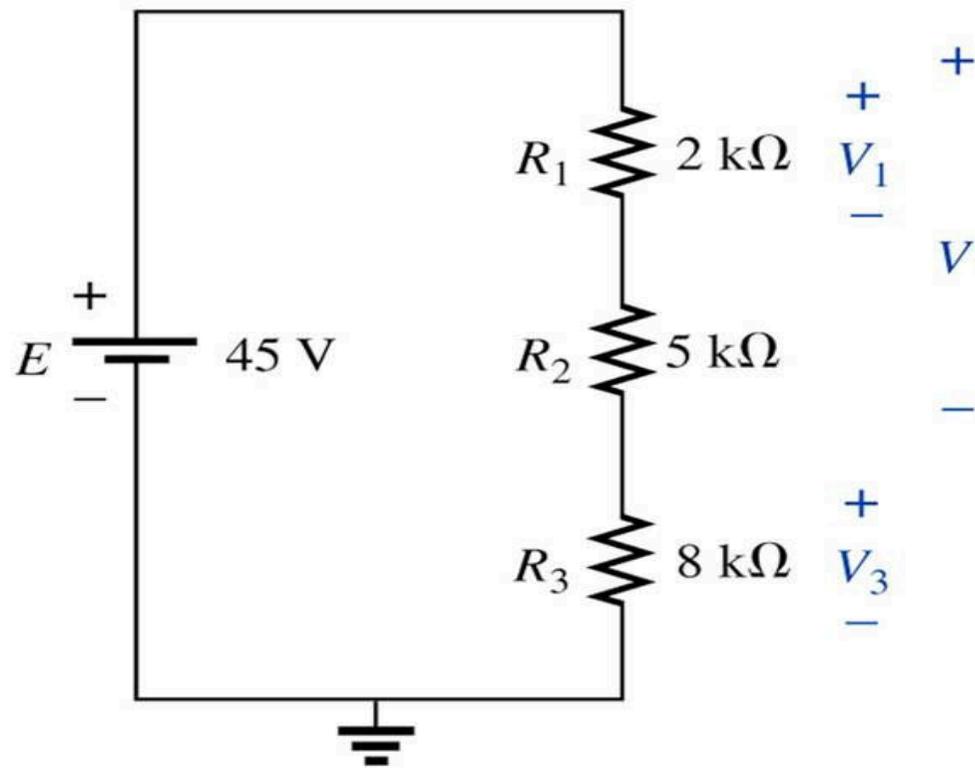


**Solução:**

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{R_1 E}{R_T} = \frac{R_1 E}{R_1 + R_2} = \frac{(20\ \Omega)(64\text{ V})}{20\ \Omega + 60\ \Omega} \\ &= \frac{1.280\text{ V}}{80} = 16\text{ V} \end{aligned}$$

# Divisor de tensões

exemplo: Usando a regra da divisão de tensões calcule as tensões  $V_1$  e  $V_3$  no circuito em série abaixo:



## Divisor de tensões

exemplo:

**Solução:**

$$V_1 = \frac{R_1 E}{R_T} = \frac{(2 \text{ k}\Omega)(45 \text{ V})}{2 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega + 8 \text{ k}\Omega} = \frac{(2 \text{ k}\Omega)(45 \text{ V})}{15 \text{ k}\Omega}$$

$$= \frac{(2 \times 10^3 \Omega)(45 \text{ V})}{15 \times 10^3 \Omega} = \frac{90 \text{ V}}{15} = 6 \text{ V}$$

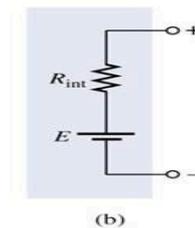
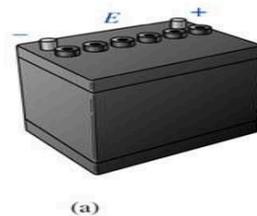
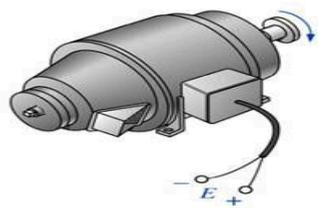
$$V_3 = \frac{R_3 E}{R_T} = \frac{(8 \text{ k}\Omega)(45 \text{ V})}{15 \text{ k}\Omega} = \frac{(8 \times 10^3 \Omega)(45 \text{ V})}{15 \times 10^3 \Omega}$$

$$= \frac{360 \text{ V}}{15} = 24 \text{ V}$$

# Resistência interna das fontes

Toda fonte de tensão, independente de sua natureza possui uma resistência interna.

A existência desta resistência interna provoca uma queda de tensão do circuito a que ela esteja ligada por se associar à carga total do sistema. Em outras palavras, a resistência interna se associa às cargas do circuito em paralelo.



## Resistência interna das fontes

A equação para se calcular o valor da resistência interna decorre da proporcionalidade da tensão em função do valor da resistência de cada elemento e é dada por:

$$R_{\text{int}} = \frac{V_{NL}}{I_L} - R_L$$

Onde:  $R_{\text{int}}$  = resistência interna  
 $V_{nl}$  = tensão sem carga (no load)  
 $I_L$  = corrente com carga (load)  
 $R_L$  = resistência da carga (Load)

## Resistência interna das fontes

Exemplo: A tensão de saída de uma fonte sem carga é 40V. Quando uma carga de 500 ohm é conectada a tensão cai para 38,5 V. Qual o valor da resistência interna da fonte?

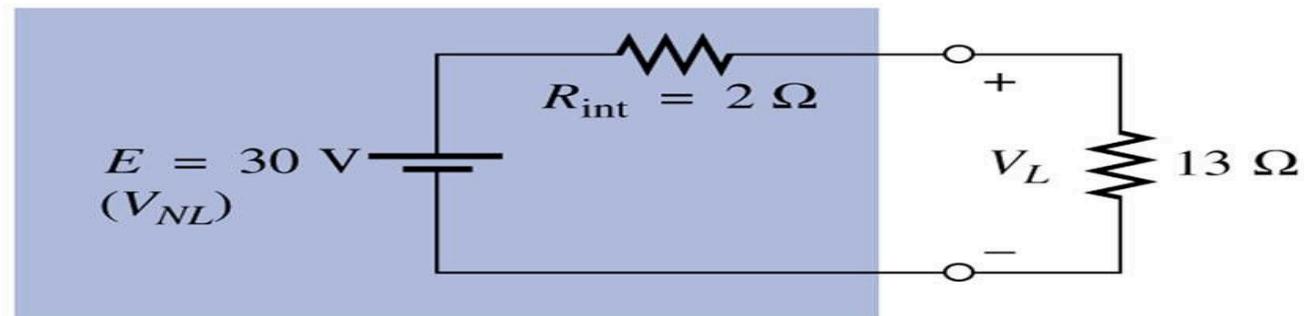
! Solução:

A diferença  $40\text{ V} - 38,5\text{ V} = 1,5\text{ V}$  aparece entre os terminais da resistência interna da fonte. A corrente na carga é  $38,5\text{ V}/0,5\text{ k}\Omega = 77\text{ mA}$ . Aplicando a Equação

$$\begin{aligned} R_{\text{int}} &= \frac{V_{NL}}{I_L} - R_L = \frac{40\text{ V}}{77\text{ mA}} - 0,5\text{ k}\Omega \\ &= 519,48\ \Omega - 500\ \Omega = 19,48\ \Omega \end{aligned}$$

# Resistência interna das fontes

Exemplo: No exemplo abaixo determine a tensão com carga e a potência dissipada pela resistência interna.



**Solução:**

$$I_L = \frac{30\text{ V}}{2\ \Omega + 13\ \Omega} = \frac{30\text{ V}}{15\ \Omega} = 2\text{ A}$$

$$V_L = V_{NL} - I_L R_{\text{int}} = 30\text{ V} - (2\text{ A})(2\ \Omega) = 26\text{ V}$$

$$P_{\text{perda}} = I_L^2 R_{\text{int}} = (2\text{ A})^2 (2\ \Omega) = (4)(2) = 8\text{ W}$$

# Regulação de tensão

Regulação de tensão nos dá a variação de tensão de uma fonte quando submetida a uma carga. Quanto menor a regulação de tensão mais ela se aproxima de uma fonte ideal:

Regulação de tensão é dado por:

$$VR\% = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

Ou:

$$VR\% = \frac{R_{int}}{R_L} \times 100\%$$