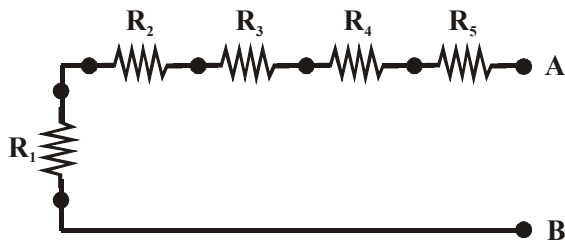


## 9. Série Eléctrica e Paralelo Eléctrico

Dois componentes estão **em série** quando são atravessados pela **mesma corrente**.

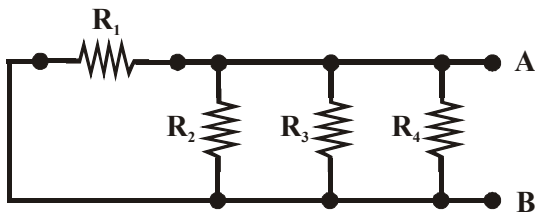


$R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  e  $R_5$  estão em série, relativamente aos terminais A e B.

$R_{AB}$  (resistência medida entre os terminais A e B) é **superior à maior das resistências**, e aumenta se se colocar mais alguma resistência em série com as outras.

$$R_{AB} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = \sum_{i=1}^5 R_i$$

Dois componentes estão **em paralelo** quando estão submetidos à **mesma tensão**.



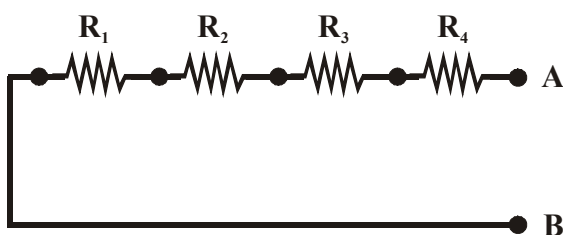
$R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$  estão em paralelo, relativamente aos terminais A e B.

$R_{AB}$  (resistência medida entre os terminais A e B) é **inferior à menor das resistências**, e diminui se se colocar mais alguma resistência em paralelo com as outras.

$$R_{AB} = R_1 // R_2 // R_3 // R_4$$

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{R_i}$$

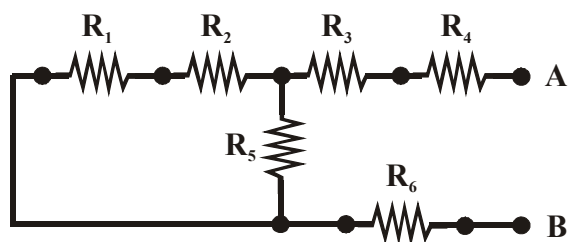
- Dois componentes em série podem não ter nenhum terminal comum.



$R_1$  e  $R_4$  estão em série, relativamente aos terminais A e B, mas não possuem nenhum terminal comum.

$$R_{AB} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

- Dois componentes com um terminal comum podem não estar em paralelo e também não estar em série.

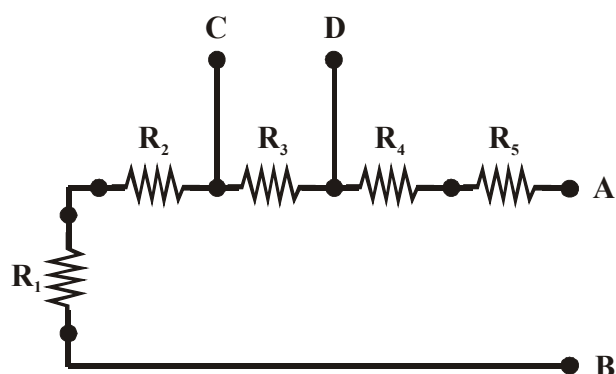


Relativamente aos terminais A e B:

- $R_1$  está em série com  $R_2$
- $R_3$  está em série com  $R_4$  e com  $R_6$
- $R_2$  não está nem em série nem em paralelo com  $R_3$
- $R_2$  não está nem em série nem em paralelo com  $R_5$
- $R_5$  não está nem em série nem em paralelo com  $R_6$
- $R_5$  está em paralelo com a série formada por  $R_1$  e  $R_2$
- O paralelo de  $R_5$  com a série formada por  $R_1$  e  $R_2$  está em série com  $R_3$ ,  $R_4$  e  $R_6$ .

$$R_{AB} = [(R_1 + R_2) // R_5] + R_3 + R_4 + R_6$$

- A associação existente entre dois ou mais componentes de um circuito depende dos terminais considerados.



$R_{AB}$  é a resistência medida entre os terminais A e B quando todos os outros terminais estão em aberto.

$R_{CD}$  é a resistência medida entre os terminais C e D quando todos os outros terminais estão em aberto.

$R_{AD}$  é a resistência medida entre os terminais A e D quando todos os outros terminais estão em aberto.

$R_{BC}$  é a resistência medida entre os terminais B e C quando todos os outros terminais estão em aberto.

**Relativamente aos terminais A e B** (terminais C e D em aberto), todas as resistências estão em série.

$$R_{AB} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

**Relativamente aos terminais C e D** (terminais A e B em aberto),  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  e  $R_5$  estão em série com um circuito aberto, logo não são atravessadas por nenhuma corrente. Uma corrente que entre pelo terminal C e saia pelo terminal D só passa por  $R_3$ .

$$R_{CD} = R_3$$

**Relativamente aos terminais A e D** (terminais B e C em aberto):

- $R_4$  está em série com  $R_5$ .
- $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  estão em série com um circuito aberto, logo não são atravessadas por nenhuma corrente.

$$R_{AD} = R_4 + R_5$$

**Relativamente aos terminais B e C** (terminais A e D em aberto):

- $R_1$  está em série com  $R_2$ .
- $R_3$ ,  $R_4$  e  $R_5$  estão em série com um circuito aberto, logo não são atravessadas por nenhuma corrente.

$$R_{BC} = R_1 + R_2$$

Uma **fonte ideal de tensão**:

- pode estar **em vazio** (ou seja, colocada em série com um circuito aberto), sendo atravessada por uma **corrente nula**;
- **não pode ser curto-circuitada com um condutor ideal** (ou seja, colocada em paralelo com um condutor ideal);
- pode ser colocada **em série com uma ou mais fontes ideais de tensão**, independentemente dos valores das tensões das outras fontes;
- **só pode** ser colocada **em paralelo** com outra fonte ideal de tensão que possua uma **tensão de igual valor** entre os seus terminais.

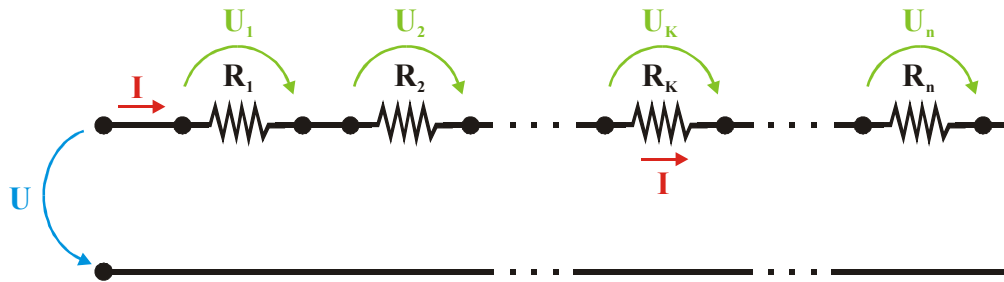
Uma **fonte ideal de corrente**:

- pode ser **curto-circuitada com um condutor ideal**, possuindo uma **tensão nula** entre os seus terminais;
- **não pode estar em vazio**;
- pode ser colocada **em paralelo com uma ou mais fontes ideais de corrente**, independentemente dos valores das correntes das outras fontes;
- **só pode** ser colocada **em série** com outra fonte ideal de corrente que debite uma **corrente de igual valor**;
- apresenta entre os seus terminais uma **tensão** cujos **sentido e valor dependem do circuito alimentado pela fonte**.

Dualidade...

<b>Tensão</b>	<b>Série</b>	<b>Em vazio</b>
<b>Corrente</b>	<b>Paralelo</b>	<b>Em curto-circuito</b>

## 10. Divisor de Tensão



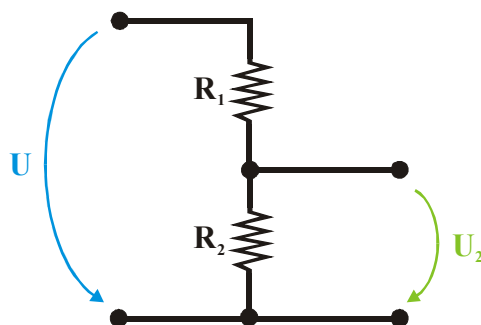
$$\begin{aligned}
 U &= U_1 + U_2 + \dots + U_k + \dots + U_n \\
 &= R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + \dots + R_k \cdot I + \dots + R_n \cdot I \\
 &= (R_1 + R_2 + \dots + R_k + \dots + R_n) \cdot I \\
 &= \left( \sum_{i=1}^n R_i \right) \cdot I
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow I = \frac{U}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

$$U_k = R_k \cdot I$$

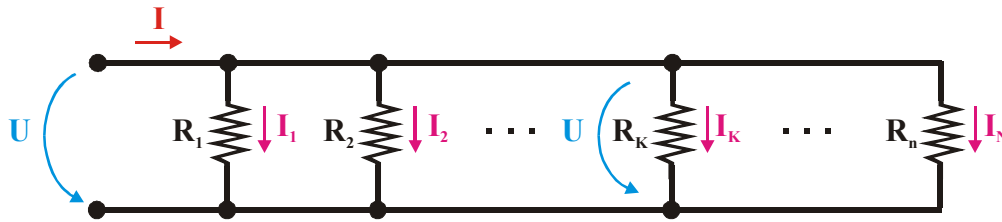
$$\Rightarrow I = \frac{U_k}{R_k}$$

$$U_k = \frac{R_k}{\sum_{i=1}^n R_i} \cdot U$$



$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U$$

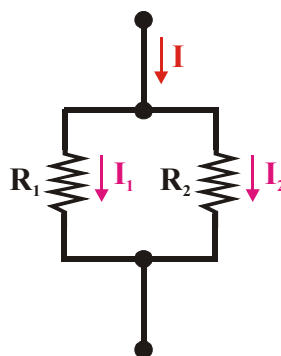
# 11. Divisor de Corrente



$$\begin{aligned}
 I &= I_1 + I_2 + \dots + I_k + \dots + I_n \\
 &= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_k} + \dots + \frac{U}{R_n} \\
 &= \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_k} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot U \\
 &= \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right) \cdot U \\
 \Rightarrow U &= \frac{I}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_k &= \frac{1}{R_k} \cdot U \\
 \Rightarrow U &= \frac{I_k}{\frac{1}{R_k}}
 \end{aligned}$$

$$I_k = \frac{\frac{1}{R_k}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \cdot I$$



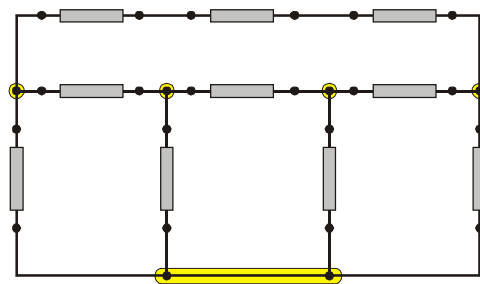
$$I_2 = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \cdot I \Rightarrow I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$$

## 12. Ramos, Nós e Malhas de um Circuito

Um **ramo** de um circuito é constituído por **um componente** (que não seja um condutor ideal) ou um **conjunto de componentes ligados em série**. Os seus terminais estão ligados aos **nós** do circuito.

Um **nó** de um circuito é um ponto (ou um conjunto de pontos com o mesmo potencial eléctrico) onde estão ligados **três ou mais ramos**.

Uma **malha** de um circuito é um **conjunto de componentes** ligados entre si formando um **circuito electricamente fechado**.



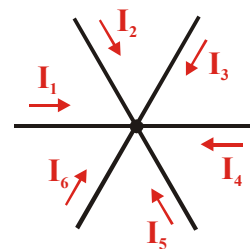
Este circuito tem:

- 8 ramos
- 5 nós
- Quantas malhas?...

## 13. Lei dos Nós e Lei das Malhas

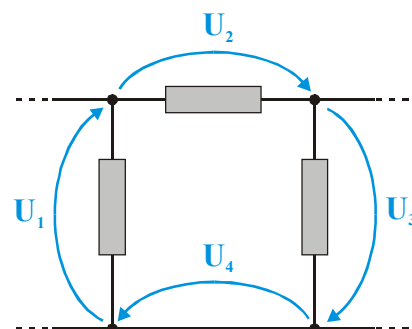
**Lei dos Nós** (caso particular da Lei de Kirchhoff das Correntes): a soma algébrica das correntes que convergem para um nó é igual à soma algébrica das correntes que divergem desse nó.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$



**Lei das Malhas** (caso particular da Lei de Kirchhoff das Tensões): a soma algébrica de todas as **tensões** (quedas de potencial) consideradas num mesmo sentido ao longo de uma malha é nula.

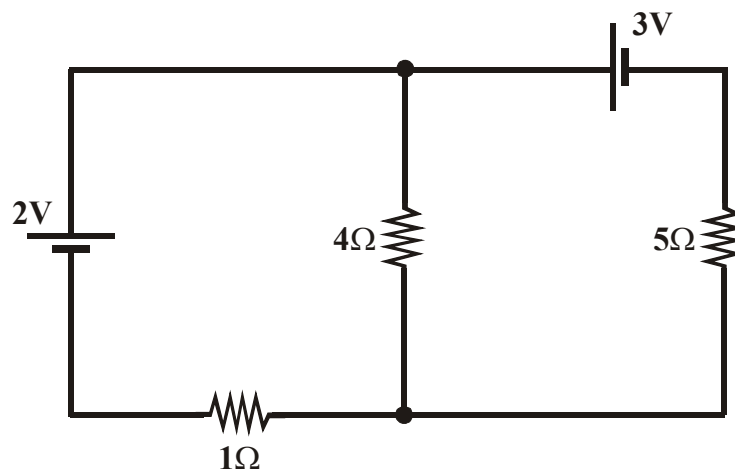
$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$



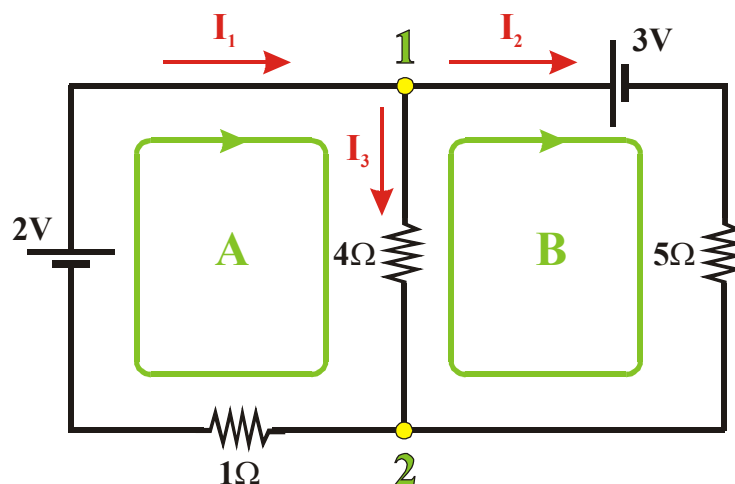
### Algoritmo para calcular as correntes nos ramos de um circuito usando as Leis de Kirchhoff

1. Identificar os **R ramos** e **N nós** do circuito;
2. Arbitrar o **sentido positivo da corrente em cada ramo**;
3. Identificar  **$R - (N - 1)$  malhas independentes** e escrever as respectivas equações, recorrendo à **Lei das Malhas**;
4. Escrever as equações de  **$N - 1$  nós**, recorrendo à **Lei dos Nós**;
5. Resolver um **sistema de equações (de ordem R)** para obter as correntes nos ramos do circuito.

**Exemplo:** Determinar as correntes nos ramos do circuito.



**Resolução:**



$$\text{Resolver o sistema } \begin{cases} 4 \cdot I_3 + 1 \cdot I_1 - 2 = 0 & (\text{malha A}) \\ 3 + 5 \cdot I_2 - 4 \cdot I_3 = 0 & (\text{malha B}) \\ I_1 - I_2 - I_3 = 0 & (\text{nó 1}) \end{cases}$$