

João Miguel Clemente de Sena Esteves

# *Análise de Circuitos I*

Guimarães, Outubro de 2010



# Grandezas, Unidades e Prefixos do Sistema Internacional de Unidades (SI)

## Grandezas e Unidades SI

Grandeza		Unidade	
Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
potencial eléctrico	U	volt	V
tensão, diferença de potencial ou queda de potencial	U, E	volt	V
corrente eléctrica	I	ampere	A
energia	W	joule	J
potência	P	watt	W
frequência	f	hertz	Hz
resistência eléctrica	R	ohm	$\Omega$
resistividade	$\rho$	ohm metro	$\Omega \cdot m$
capacidade eléctrica	C	farad	F
permitividade	$\epsilon$	farad por metro	$F \cdot m^{-1}$
coeficiente de auto-indução	L	henry	H
permeabilidade	$\mu$	henry por metro	$H \cdot m^{-1}$
momento do binário	T	newton metro	$N \cdot m$

## Prefixos SI

### Múltiplos

Nome	Símbolo	Factor multiplicador
yotta	Y	$10^{24} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
zetta	Z	$10^{21} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
exa	E	$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
<b>tera</b>	<b>T</b>	<b><math>10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000</math></b>
<b>giga</b>	<b>G</b>	<b><math>10^9 = 1\,000\,000\,000</math></b>
<b>mega</b>	<b>M</b>	<b><math>10^6 = 1\,000\,000</math></b>
<b>quilo</b>	<b>k</b>	<b><math>10^3 = 1000</math></b>
hecto	h	$10^2 = 100$
deca	da	$10^1 = 10$

## Submúltiplos

Nome	Símbolo	Factor multiplicador
deci	d	$10^{-1} = 0,1$
centi	c	$10^{-2} = 0,01$
<b>mili</b>	<b>m</b>	<b><math>10^{-3} = 0,001</math></b>
<b>micro</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>10^{-6} = 0,000\ 001</math></b>
<b>nano</b>	<b>n</b>	<b><math>10^{-9} = 0,000\ 000\ 001</math></b>
<b>pico</b>	<b>p</b>	<b><math>10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001</math></b>
fento	f	$10^{-15} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001$
ato	a	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
zepto	z	$10^{-21} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
yocto	y	$10^{-24} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

## Unidades a Converter ao SI

Nome	Símbolo	Valor correspondente no SI
quilowatt-hora	kWh	3600000J
cavalo-vapor	cv	$735,49875\text{W} \cong \mathbf{735\text{W}}$
<i>horse power (metric)</i>		$735,49875\text{W} \cong \mathbf{735\text{W}}$
<i>cheval vapeur (França)</i>	CV	$735,49875\text{W} \cong \mathbf{735\text{W}}$
<i>pferdestarke (Alemanha)</i>	PS	$735,49875\text{W} \cong \mathbf{735\text{W}}$
<i>horse power(550ft·lbf/s)</i>	hp ( <i>1hp = 550ft·lbf/s</i> )	$745.69987\text{W} \cong \mathbf{746\text{W}}$
<i>horse power (electric)</i>		746W
<i>horse power (Reino Unido)</i>		745,7W
onça-força ( <i>ounce-force</i> )	ozf	0,27801385N
libra-força ( <i>pound-force</i> )	lbf	4,4482216N
polegada ( <i>inch</i> )	in, ''	0,0254m
pé ( <i>foot</i> )	ft	0,3048m
onça-força polegada ( <i>ounce-force inch</i> )	oz·in	0,00706155Nm
rotação por minuto	$\text{rot} \cdot \text{min}^{-1}$ , r.p.m.	$0,104720\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

# 1. Corrente Eléctrica, Potencial Eléctrico e Tensão

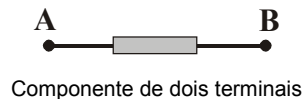
A **corrente eléctrica** (**I**) tem como unidade o **ampere** (**A**).

O **potencial eléctrico** que existe num ponto A (**U<sub>A</sub>**) tem como unidade o **volt** (**V**).

A **tensão**, **diferença de potencial** ou **queda de potencial** que existe entre um ponto A e um ponto B (**U<sub>AB</sub>**) tem como unidade o **volt** (**V**) e é dada por

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

Um **componente de um circuito eléctrico** tem sempre **dois ou mais terminais**. Num componente de dois terminais, a corrente que entra por um dos terminais é a mesma que sai pelo outro.



Diz-se (porque é verdade) que...

- uma **corrente eléctrica** passa num componente de um circuito.
- um **potencial eléctrico** existe num ponto.
- uma **tensão** existe entre dois pontos.

Notações:

- Usam-se **setas rectas** para indicar os sentidos de **correntes eléctricas**.
- Usam-se **setas curvas** para indicar os sentidos de **tensões** (quedas de potencial).

O **sentido verdadeiro da corrente eléctrica** que passa num componente de um circuito eléctrico é o oposto ao do movimento dos electrões que constituem essa corrente.

- Em Física, o **sentido real da corrente eléctrica** que passa num componente de um circuito eléctrico é o do movimento dos electrões que constituem essa corrente; o **sentido convencional da corrente eléctrica** é o oposto ao desse movimento. Assim, o **sentido verdadeiro da corrente eléctrica**, usado em Electrotecnia e em Electrónica, coincide com o **sentido convencional da corrente eléctrica** usado em Física.

O **sentido positivo da corrente eléctrica** que passa num componente é convencional, podendo coincidir ou não com o sentido verdadeiro da corrente.

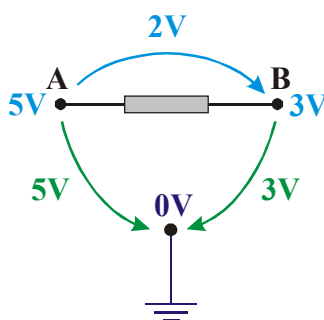
O **potencial eléctrico que existe num ponto** só fica determinado se estiver definida uma referência para os potenciais eléctricos. Por definição, o valor do potencial eléctrico de referência é zero.

Pode escolher-se, arbitrariamente, o potencial de qualquer ponto de um circuito eléctrico como referência para os potenciais eléctricos. Em geral, a escolha da referência faz-se por forma a simplificar a análise do circuito.

É frequente usar o potencial da **terra** ou o potencial da **massa** (*chassis*) dos aparelhos eléctricos como referência para os potenciais eléctricos.

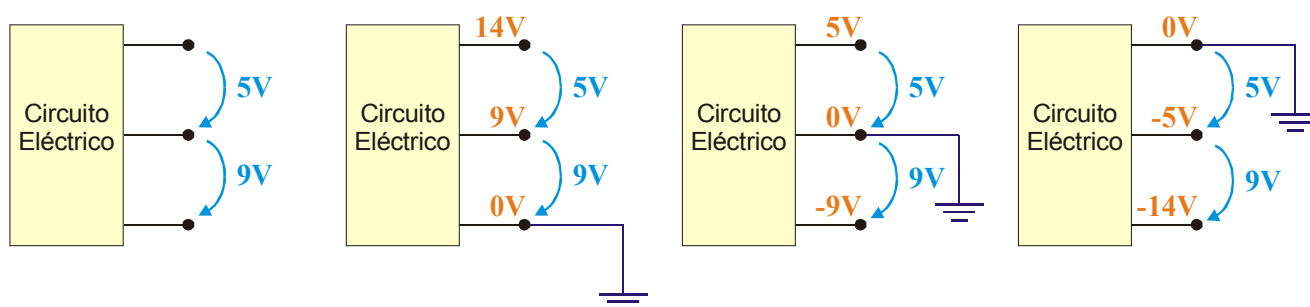


O **potencial eléctrico que existe num ponto** tem o valor da tensão existente entre esse ponto e o ponto cujo potencial é usado como referência para os potenciais eléctricos.



O **potencial eléctrico que existe num ponto** depende da referência escolhida para os potenciais eléctricos e pode assumir qualquer valor.

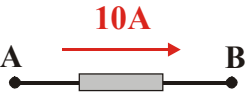
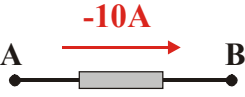
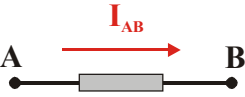
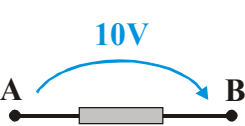
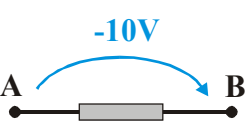
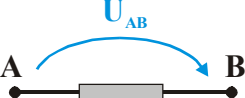
A **tensão** existente entre dois pontos tem um valor que não depende da referência escolhida para os potenciais eléctricos.



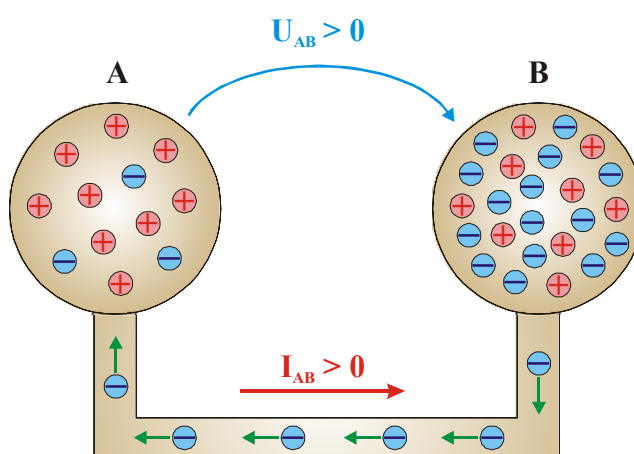
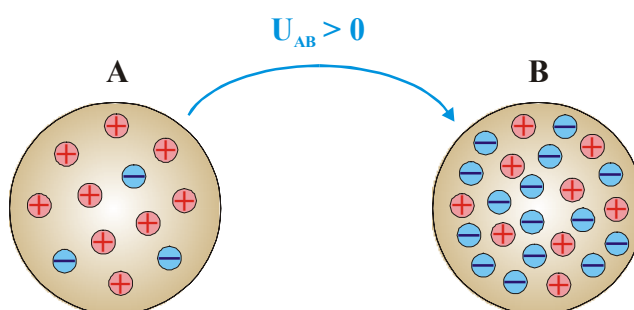
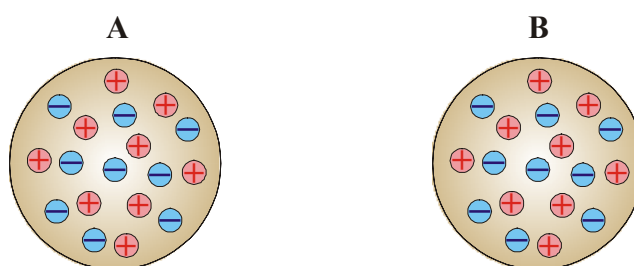
O **sentido verdadeiro da tensão** existente entre dois pontos é do ponto de potencial superior para o ponto de potencial inferior.

O **sentido positivo da tensão** existente entre dois pontos é convencionado, podendo coincidir ou não com o sentido verdadeiro da queda de potencial.

Para correntes e tensões **constantes**...

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A seta indica o <b>sentido verdadeiro da corrente</b> que atravessa o componente.</li> <li>- Dentro do componente, a corrente vai do terminal A para o terminal B.</li> <li>- A corrente que atravessa o componente tem um valor de 10A.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A seta indica o <b>sentido positivo da corrente</b> que atravessa o componente.</li> <li>- Dentro do componente, a corrente vai do terminal B para o terminal A.</li> <li>- A corrente que atravessa o componente tem um valor de 10A.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A seta indica o <b>sentido positivo da corrente</b> que atravessa o componente.</li> <li>- Se, dentro do componente, a corrente for do terminal A para o terminal B, então o sentido positivo da corrente coincide com o sentido verdadeiro da corrente e <math>I_{AB} &gt; 0</math>.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A seta indica o <b>sentido verdadeiro da tensão</b> existente entre os terminais A e B do componente.</li> <li>- O potencial no terminal A é superior ao potencial no terminal B.</li> <li>- Entre os terminais existe uma diferença de potencial de 10V.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A seta indica o <b>sentido positivo da tensão</b> existente entre os terminais A e B do componente.</li> <li>- O potencial no terminal B é superior ao potencial no terminal A.</li> <li>- Entre os terminais existe uma diferença de potencial de 10V.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A seta indica o <b>sentido positivo da tensão</b> existente entre os terminais A e B do componente.</li> <li>- Se o potencial no terminal A for superior ao potencial no terminal B, então o sentido positivo da tensão coincide com o sentido verdadeiro da tensão e <math>U_{AB} &gt; 0</math>.</li> </ul>

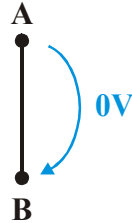
**Nota:** Para manter os desenhos simples, **não se representa o resto do circuito, que está ligado aos terminais A e B.** Sem esse circuito não poderiam existir as correntes representadas.





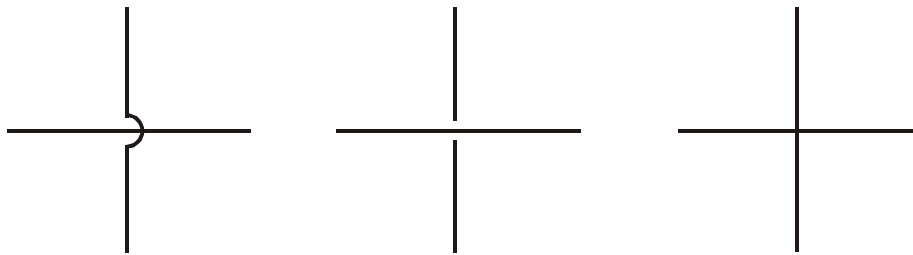
## 2. Condutor Ideal

Um **condutor ideal** mantém uma **tensão de 0V entre os seus terminais**, independentemente do valor e do sentido da corrente que o atravessa. Todos os seus pontos estão **sempre ao mesmo potencial**.

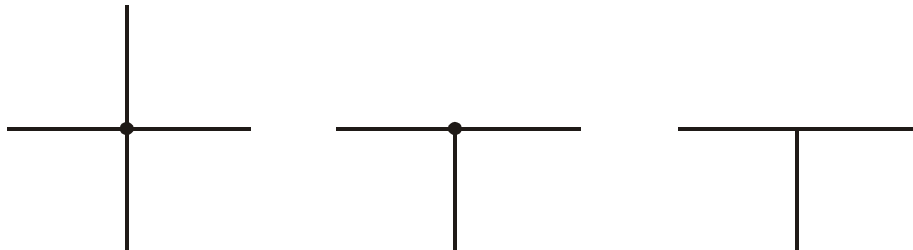


Ao ligar um condutor ideal entre dois pontos provoca-se um **curto-circuito** entre esses pontos. Mas **condutor ideal** e **curto-circuito** não são sinónimos, uma vez que é possível provocar um curto-circuito entre dois pontos com um condutor não ideal.

Representação de dois **condutores ideais isolados** um do outro:

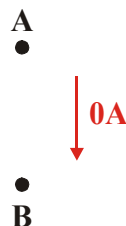


Representação de dois **condutores ideais ligados** um ao outro:



## 3. Circuito Aberto

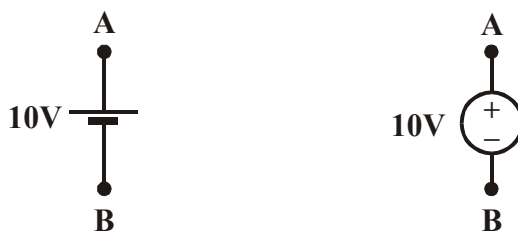
Um **circuito aberto entre dois pontos** é atravessado por uma **corrente de 0A**, independentemente do valor e do sentido da tensão que existe entre esses pontos.



## 4. Fonte Ideal de Tensão

Entre os terminais de uma **fonte ideal de tensão** existe uma tensão cuja evolução ao longo do tempo não depende do valor da corrente debitada pela fonte.

Uma **fonte ideal de tensão constante** tem **sempre a mesma tensão** entre os seus terminais, independentemente da corrente que debita ou do instante considerado.



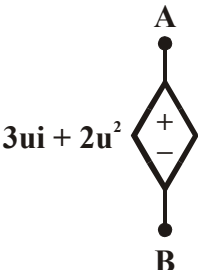


- O sentido e o valor da corrente que atravessa a fonte dependem do circuito ao qual se liga a fonte.
- Um **condutor ideal** é equivalente a uma **fonte ideal de tensão de 0V**.

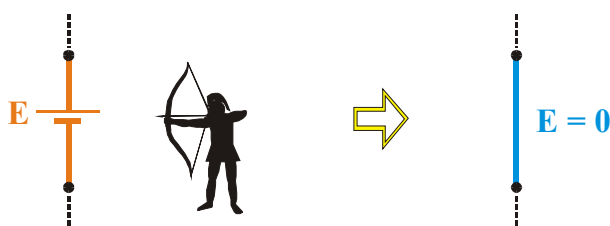
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre os terminais da fonte existe uma diferença de potencial de 5V.</li> <li>- O potencial no terminal A é superior ao potencial no terminal B.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre os terminais da fonte existe uma diferença de potencial de 5V.</li> <li>- O potencial no terminal B é superior ao potencial no terminal A.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se o potencial no terminal A for superior ao potencial no terminal B, então <math>E &gt; 0</math>.</li> </ul>

Numa **fonte ideal de tensão independente**, o valor da tensão que existe entre os seus terminais não depende do circuito no qual a fonte se insere.

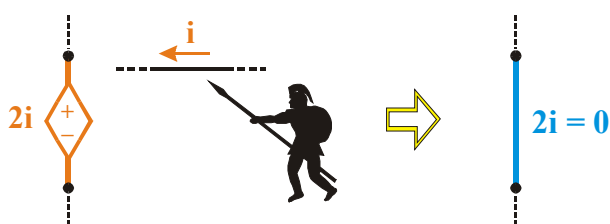
Numa **fonte ideal de tensão dependente** (ou **controlada**), o valor da tensão que existe entre os seus terminais é determinado (ou controlado) por tensões ou correntes existentes no circuito em que a fonte se insere.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre os terminais da fonte existe uma diferença de potencial cujo valor é o dobro do valor da corrente <math>i</math>.</li> <li>- Se <math>i &gt; 0</math>, então o potencial no terminal A é superior ao potencial no terminal B.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre os terminais da fonte existe uma diferença de potencial cujo valor é o triplo do valor da tensão <math>u</math>.</li> <li>- Se <math>u &gt; 0</math>, então o potencial no terminal A é superior ao potencial no terminal B.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre os terminais da fonte existe uma diferença de potencial cujo valor é o triplo do produto dos valores da tensão <math>u</math> e da corrente <math>i</math> mais o dobro do quadrado do valor da tensão <math>u</math>.</li> <li>- Se <math>3ui + 2u^2 &gt; 0</math>, então o potencial no terminal A é superior ao potencial no terminal B.</li> </ul>

**Desactivar uma fonte ideal de tensão** corresponde a anular a tensão que caracteriza essa fonte. A fonte desactivada é equivalente a um condutor ideal.



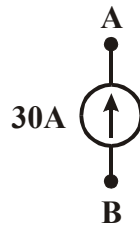
A tensão que existe entre os terminais de uma **fonte ideal de tensão dependente** só pode ser anulada por actuação sobre as tensões e correntes que determinam essa tensão.



## 5. Fonte Ideal de Corrente

A corrente debitada por uma **fonte ideal de corrente** tem uma evolução ao longo do tempo que não depende do valor da tensão existente entre os terminais da fonte.

Uma **fonte ideal de corrente constante** debita **sempre a mesma corrente**, independentemente da tensão que existe entre os seus terminais ou do instante considerado.



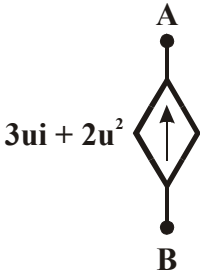


- O sentido e o valor da tensão existente entre os terminais da fonte dependem do circuito ao qual se liga a fonte.
- Um **circuito aberto** é equivalente a uma **fonte ideal de corrente de 0A**.

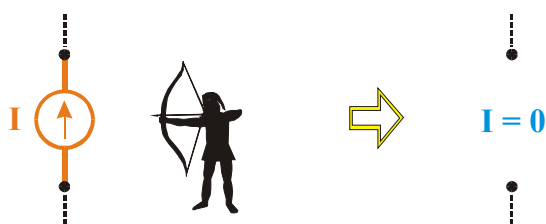
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A corrente debitada pela fonte tem um valor de 8A.</li> <li>- Dentro da fonte, a corrente vai do terminal B para o terminal A.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A corrente debitada pela fonte tem um valor de 8A.</li> <li>- Dentro da fonte, a corrente vai do terminal A para o terminal B.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se, dentro da fonte, a corrente for do terminal B para o terminal A, então <math>I &gt; 0</math>.</li> </ul>

Numa **fonte ideal de corrente independente**, o valor da corrente debitada pela fonte não depende do circuito no qual a fonte se insere.

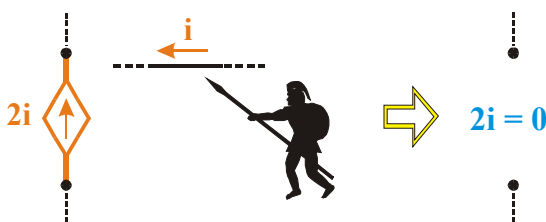
Numa **fonte ideal de corrente dependente** (ou **controlada**), o valor da corrente debitada pela fonte é determinado (ou controlado) por tensões ou correntes existentes no circuito em que a fonte se insere.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A fonte debita uma corrente cujo valor é o dobro do valor da corrente <math>i</math>.</li> <li>- Se <math>i &gt; 0</math> então, dentro da fonte, a corrente vai do terminal B para o terminal A.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A fonte debita uma corrente cujo valor é o triplo do valor da tensão <math>u</math>.</li> <li>- Se <math>u &gt; 0</math> então, dentro da fonte, a corrente vai do terminal B para o terminal A.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A fonte debita uma corrente cujo valor é o triplo do produto dos valores da tensão <math>u</math> e da corrente <math>i</math> mais o dobro do quadrado do valor da tensão <math>u</math>.</li> <li>- Se <math>3ui + 2u^2 &gt; 0</math> então, dentro da fonte, a corrente vai do terminal B para o terminal A.</li> </ul>

**Desactivar uma fonte ideal de corrente** corresponde a anular a corrente que caracteriza essa fonte. A fonte desactivada é equivalente a um circuito aberto.



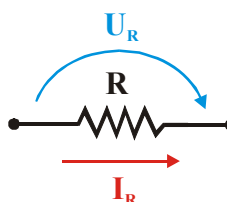
A corrente que percorre uma **fonte ideal de corrente dependente** só pode ser anulada por actuação sobre as tensões e correntes que determinam essa corrente.



## 6. Resistência e Lei de Ohm

Uma **resistência** é atravessada por uma **corrente que é proporcional à tensão** aplicada entre os seus terminais, ou seja

$$\frac{U_R}{I_R} = \text{constante}$$



A **resistência eléctrica** ( $R$ ) tem como unidade o **ohm** ( $\Omega$ ). O seu valor depende apenas do material do qual a resistência é feita, das suas dimensões e do percurso seguido pela corrente no seu interior. Para os sentidos positivos de  $U_R$  e de  $I_R$  indicados na figura, o valor de  $R$  pode determinar-se experimentalmente recorrendo à expressão

$$R = \frac{U_R}{I_R}$$

Lei de Ohm

A **Lei de Ohm** aplica-se **exclusivamente às resistências** (por exemplo, não se aplica nem às fontes ideais de tensão nem às fontes ideais de corrente).

Um **condutor ideal** pode ser visto como uma **resistência de valor nulo**

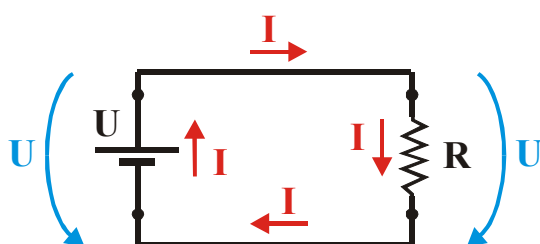
- como  $R=0$ , então a tensão entre os terminais do condutor ideal é nula, independentemente do valor e do sentido da corrente que o percorre.

Um **circuito aberto entre dois pontos** pode ser visto como uma **resistência de valor infinito**

- como  $R = \infty$ , então a corrente que a atravessa é nula, independentemente do valor e do sentido da tensão que existe entre os seus terminais.

**Em qualquer resistência de valor finito não nulo**

- a **corrente que a percorre** flui **sempre** do terminal de **potencial mais alto** para o terminal de **potencial mais baixo**;
- o **valor da corrente** que a percorre depende do **valor da tensão** que existe entre seus terminais;
- a corrente que a percorre é nula se não houver tensão entre os seus terminais;
- a tensão entre seus terminais é nula se não for atravessada por nenhuma corrente.



- dentro da resistência, a corrente flui do terminal de **potencial mais alto** para o terminal de **potencial mais baixo**;
- fora da fonte, a corrente flui do terminal de **potencial mais alto** para o terminal de **potencial mais baixo**;
- dentro da fonte, a corrente flui do terminal de **potencial mais baixo** para o terminal de **potencial mais alto**.

## 7. Energia e Potência

Um componente inserido num circuito pode receber energia do circuito ou fornecer energia ao circuito. A **energia** recebida ou fornecida pelo componente tem como unidade o **joule (J)**. Em Electrotecnia também é frequente usar como unidade de energia o **quilowatt-hora (kWh)**:

$$1\text{kWh} = 1000 \cdot 3600 \underbrace{\text{Ws}}_{\text{J}} = 3600000\text{J} = 3600\text{kJ} = 3,6\text{MJ}$$

Um componente de um circuito **recebe energia do circuito** se, dentro desse componente, a corrente flui do terminal de **potencial mais alto** para o terminal de **potencial mais baixo**.

Um componente de um circuito **fornece energia ao circuito** se, dentro desse componente, a corrente flui do terminal de **potencial mais baixo** para o terminal de **potencial mais alto**.

A **potência instantânea em jogo num componente de um circuito** é a derivada em ordem ao tempo da energia recebida ou fornecida pelo componente ao circuito e tem como unidade o **watt (W)**. O seu valor (em watts) é igual ao produto do valor da **tensão** que existe entre os terminais desse componente (em volts) pelo valor da **corrente** que o atravessa (em amperes).

Se a tensão e a corrente forem constantes:

- $P = U \cdot I$  (Potência em jogo no componente)
- $W = P \cdot \Delta t = U \cdot I \cdot \Delta t$  (Energia recebida ou fornecida pelo componente durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ )

Num circuito isolado, a soma das potências de todos os componentes que recebem energia do circuito é igual à soma das potências de todos os componentes que fornecem energia ao circuito.

Numa **resistência**:

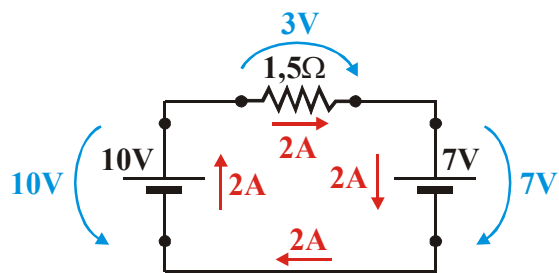
$$P_R = U_R \cdot I_R = \underbrace{(R \cdot I_R)}_{U_R} \cdot I_R = R \cdot I_R^2$$

$$P_R = U_R \cdot I_R = U_R \cdot \underbrace{\left(\frac{U_R}{R}\right)}_{I_R} = \frac{U_R^2}{R}$$

**Efeito de Joule:** Uma resistência constante **R** (em ohm) atravessada por uma corrente constante **I** (em ampere) durante um intervalo de tempo  $\Delta t$  (em segundos) liberta sob a forma de calor uma energia **W** (em joule) dada por

$$W = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

### Exemplo



- **dentro da resistência**, a corrente flui do terminal de **potencial mais alto** para o terminal de **potencial mais baixo**, por isso a resistência **recebe energia do circuito**.

Potência em jogo na **resistência**:  $P = 3 \cdot 2 = 6\text{W}$

- **dentro da fonte de 10V**, a corrente flui do terminal de **potencial mais baixo** para o terminal de **potencial mais alto**, por isso a fonte **fornece energia ao circuito**.

Potência em jogo na **fonte de 10V**:  $P = 10 \cdot 2 = 20\text{W}$

- **dentro da fonte de 7V**, a corrente flui do terminal de **potencial mais alto** para o terminal de **potencial mais baixo**, por isso a fonte **recebe energia do circuito**.

Potência em jogo na **fonte de 7V**:  $P = 7 \cdot 2 = 14\text{W}$

$$6\text{W} + 14\text{W} = 20\text{W}$$