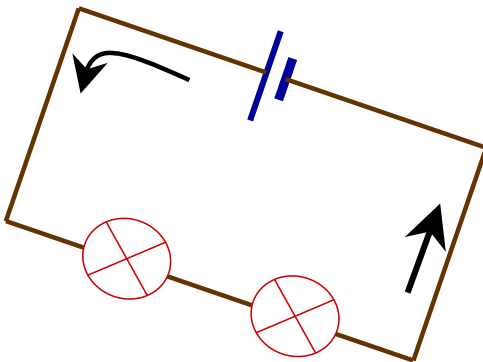


# Sistemas Electrónicos



## Capítulo 1, Parte 2: Leis Experimentais e Circuitos Simples



Ernesto Martins  
[evm@ua.pt](mailto:evm@ua.pt)  
DETI (gab. 4.2.38)  
Universidade de Aveiro



Sistemas Electrónicos – 2020/2021

### Sumário

- Lei de Ohm;
- Resistividade;
- Potência dissipada numa resistência;
- Lei das correntes e lei das tensões de Kirchhoff;
- Análise de circuitos simples (um loop / um par de nós);
- Combinação de fontes e de resistências;
- Divisores de tensão e de corrente;
- Terra, massa, chassis...

# Lei de Ohm

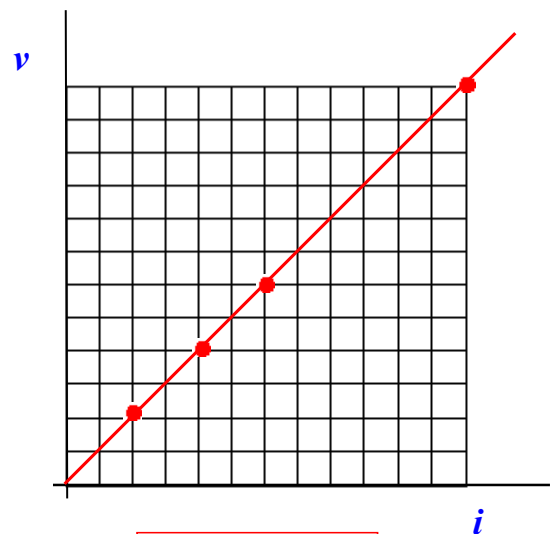
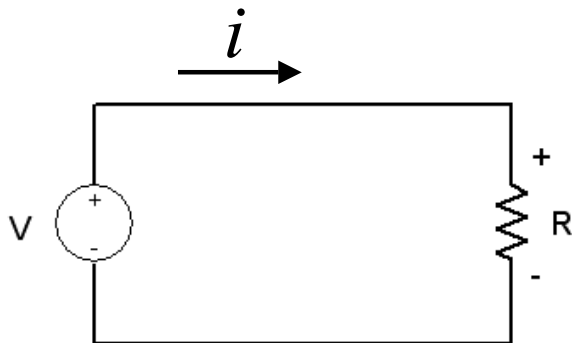


George Simon Ohm, físico alemão  
(16-03-1789, 06-07-1854)

## Lei de Ohm

- Lei fundamental da electricidade enunciada pela primeira vez, em 1827, pelo físico alemão Georg Simon Ohm:

**“Para todo o condutor linear, existe uma razão constante entre a tensão  $v$  aos seus terminais e a corrente  $i$  que o atravessa”**



$$\frac{v}{i} = R$$

- A constante de proporcionalidade é a **Resistência,  $R$** .

## Lei de Ohm

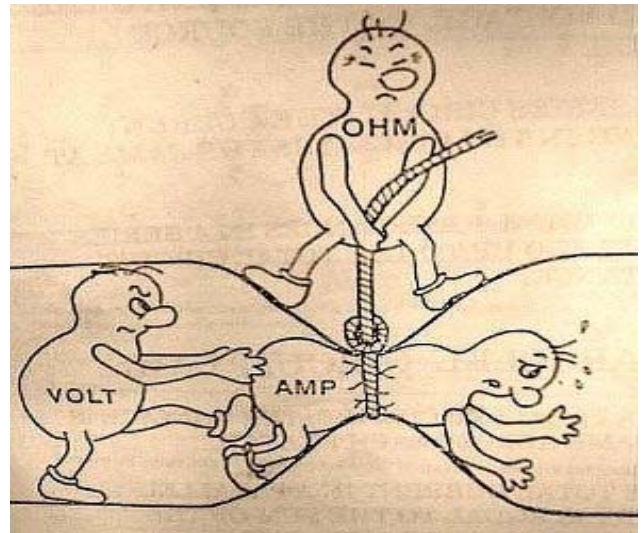
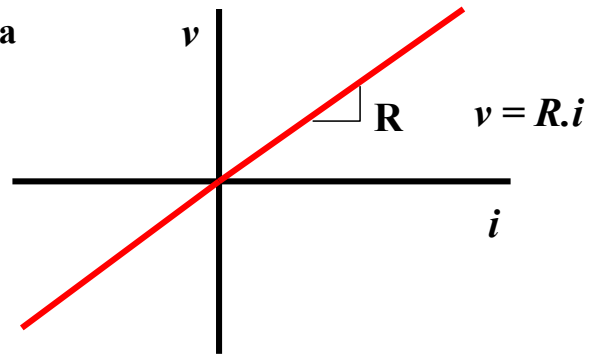
● A proporcionalidade directa entre a tensão e a corrente, implica um gráfico  $v=f(i)$  que é uma recta. Assim,  $R$  é o **declive** da recta;

● A **resistência** é uma medida da oposição que o condutor eléctrico oferece à passagem da corrente; Medida em *Ohm* ( $\Omega$ );

$$i = \frac{v}{R}$$

● Quanto menor a resistência, maior a corrente;

● Em muitas resistências reais a relação entre  $v$  e  $i$  só é aproximadamente linear numa gama limitada de  $v$  e/ou de  $i$ .

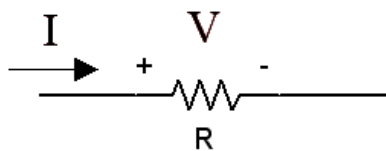


E. Martins, DETI Universidade de Aveiro

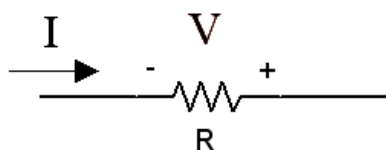
1.2-5

## Lei de Ohm e os sinais da tensão e corrente

● A expressão dada da Lei de Ohm é válida para uma resistência desde que se respeite a **CSEP**:



$$v = R.i$$



$$v = -R.i$$

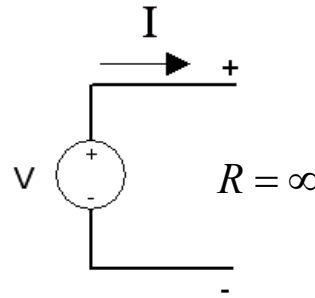
## Conductância, circuito aberto e curto-circuito

- O inverso da resistência é a **Conductância**. Medida em *mho* ou *Siemen (S)*.

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

- Num **circuito aberto**,

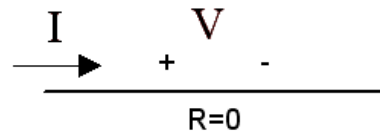
$$R = \infty \Rightarrow i = v/R = 0$$



**Nota:** Nos circuitos que iremos estudar, os fios de ligação entre elementos são considerados ideais, ou seja, apresentam  $R=0$ .

- Num **curto-circuito**,

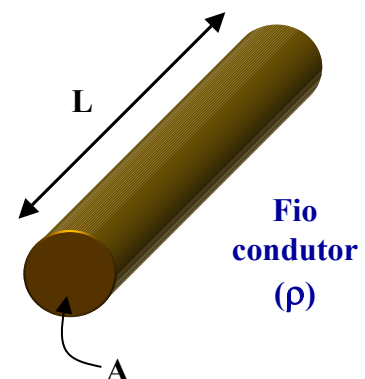
$$R = 0 \Rightarrow v = R.i = 0$$



## Resistência e resistividade de materiais

- Os condutores reais apresentam alguma resistência eléctrica que pode ser determinada por:

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



$\rho$  - Resistividade do material, em  $\Omega m$ ;

$L$  - comprimento, em  $m$ ;

$A$  - Área da secção, em  $m^2$ .

Material	$\rho (\Omega m)$
prata (Ag)	$1.6 \times 10^{-8}$
cobre (Cu)	$1.7 \times 10^{-8}$
ouro (Au)	$2.2 \times 10^{-8}$
alumínio (Al)	$2.7 \times 10^{-8}$
tungsténio (W)	$5.5 \times 10^{-8}$

## Potência dissipada numa resistência

- A resistência é o elemento passivo mais simples;
- A potência dissipada ou absorvida por uma resistência é sempre positiva;

$$p = v.i = (R.i).i \quad \longrightarrow \quad p = R.i^2$$

$$p = v.i = v\left(\frac{v}{R}\right) \quad \longrightarrow \quad p = \frac{v^2}{R}$$

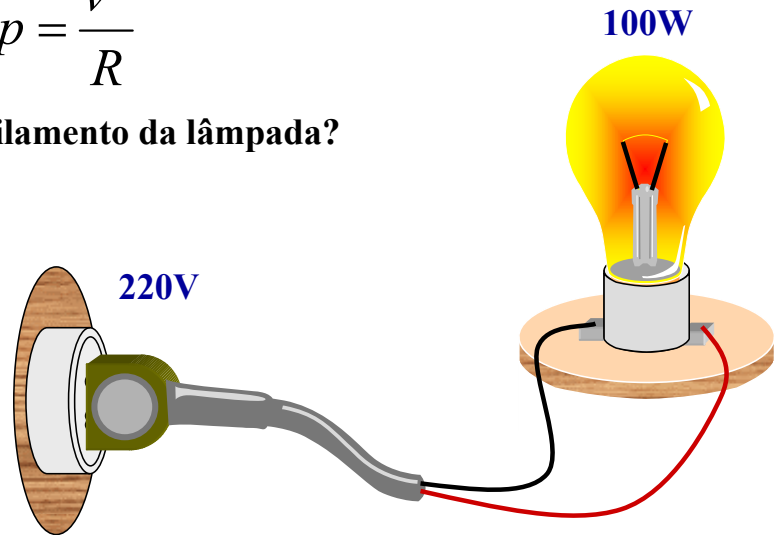
- Qual é o valor da resistência do filamento da lâmpada?

$$p = \frac{v^2}{R} \quad \Leftrightarrow \quad R = \frac{v^2}{p}$$

$$R = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

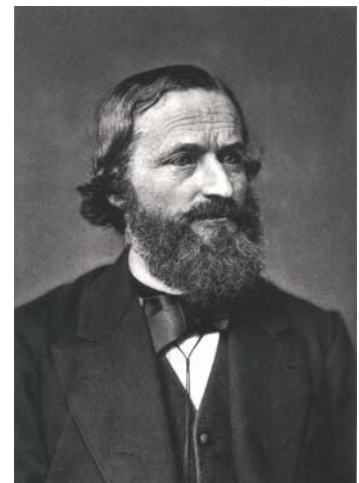
- E a corrente no circuito?

$$i = \frac{p}{v} = \frac{100}{220} = 455\text{mA}$$



## Leis de Kirchhoff

### lei das correntes



**Gustav Robert Kirchhoff**, físico alemão  
(12-03-1824, 17-10-1887)

## Pressupostos e definições

Na análise que se segue consideramos:

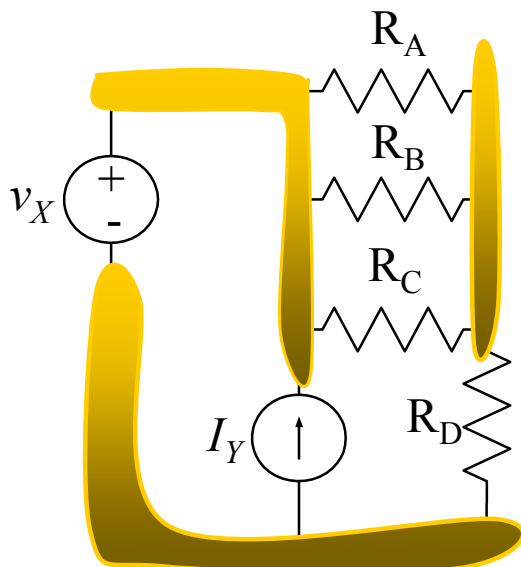
- Circuitos constituídos por um conjunto finito de elementos simples, ligados por condutores perfeitos – **redes de parâmetros concentrados**;
- **Nó** – Ponto de ligação de dois ou mais elementos;
- **Nó essencial** – Ponto de ligação de três ou mais elementos;
- **Ramo** – Caminho no circuito que liga dois nós.
- **Caminho fechado ou loop** – Qualquer caminho através do circuito que começa e termina no mesmo nó.

## Nós

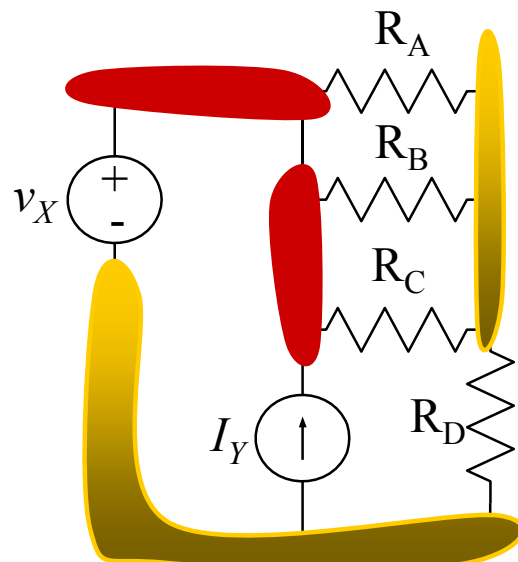
- Para analisar um circuito é importante identificar os nós desse circuito.

Quantos nós?

**Resposta: 3**



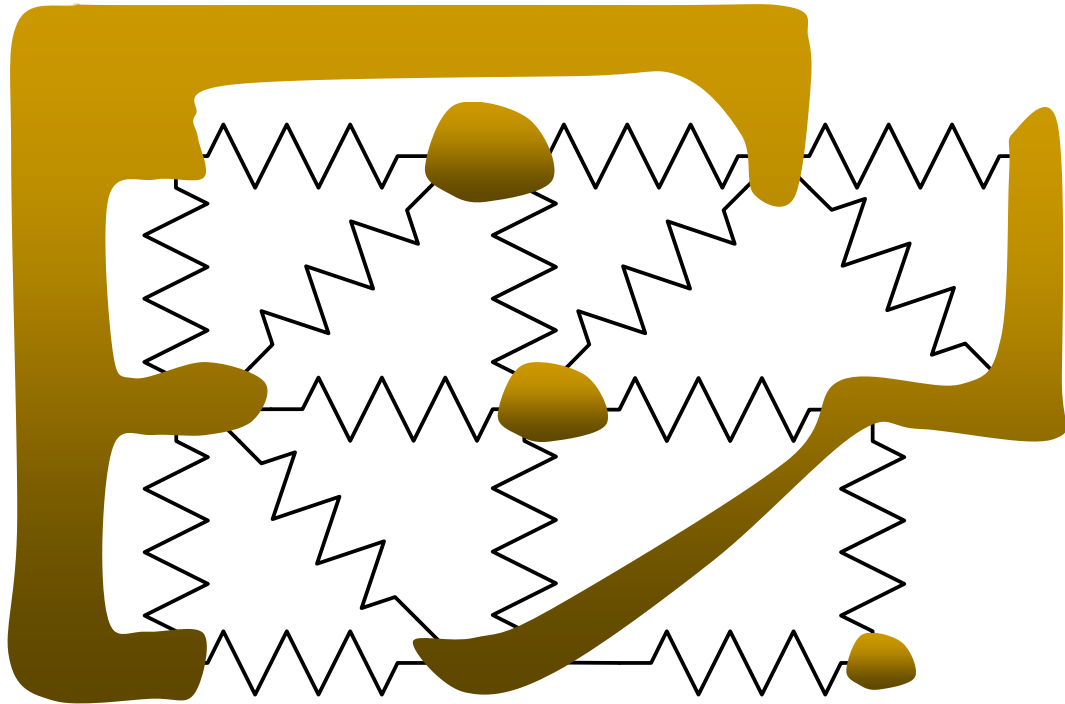
Dois pontos de ligação ligados por um fio constituem o mesmo nó



## Nós

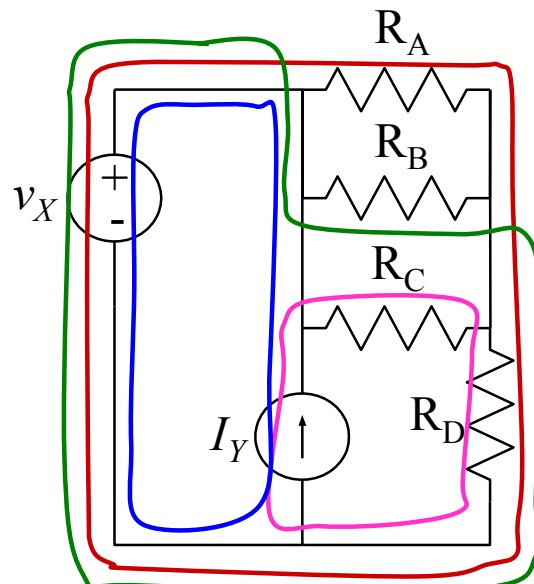
Quantos nós tem este circuito?

Resposta: 5



## Caminhos fechados ou *loops*

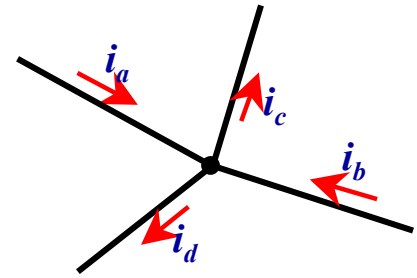
- Para analisar um circuito é importante identificar *loops* nesse circuito (embora não seja preciso identificar todos os *loops* possíveis).
- Alguns desses *loops* são:



## Lei das Correntes de Kirchhoff – 1ª lei: KCL

- “A soma das correntes que entram num nó é igual à soma das correntes que saem desse nó”

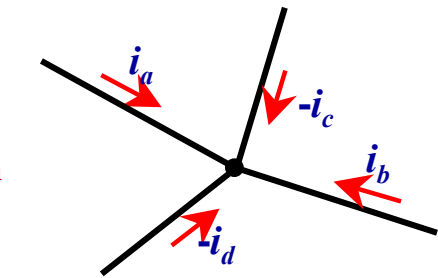
$$i_a + i_b = i_c + i_d$$



- É uma consequência da **Lei da Conservação da Carga**: a carga não se pode perder nem criar num nó;

- Alternativamente pode ser enunciada como:  
“A soma algébrica das correntes que entram num nó é zero”

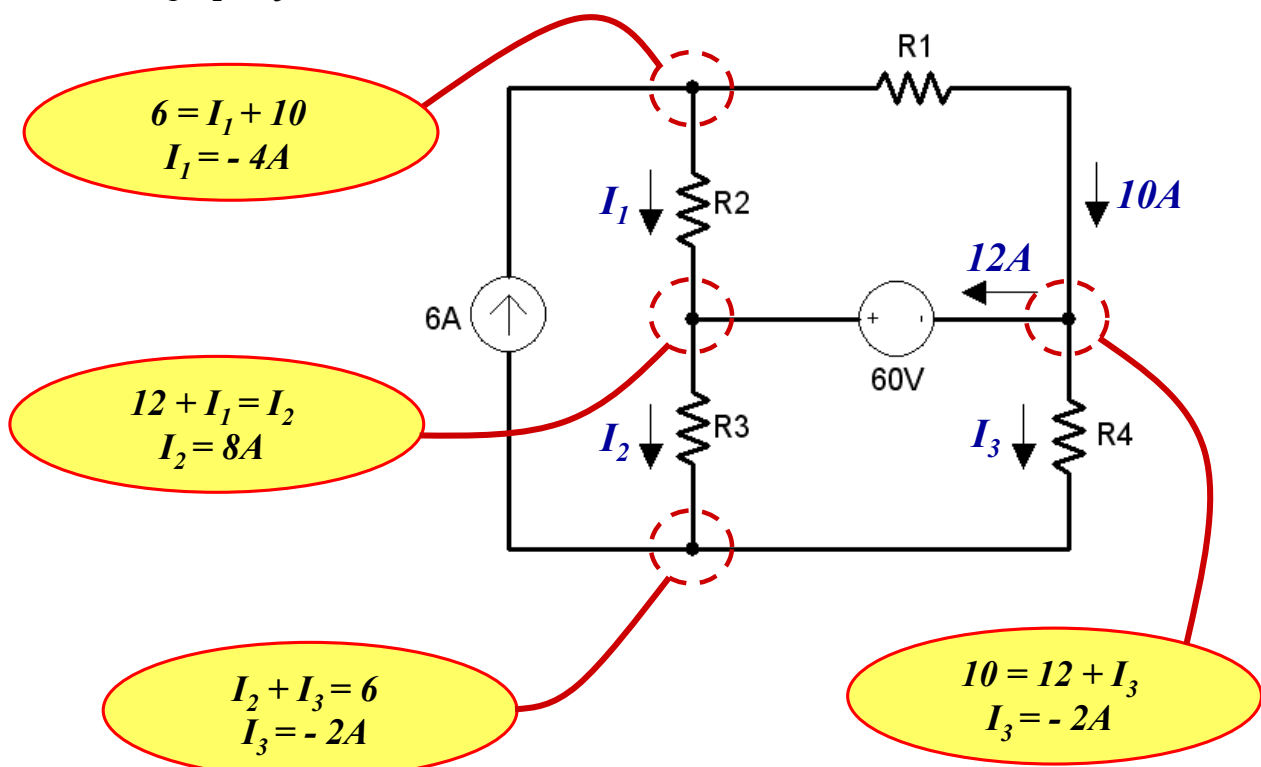
$$\sum_{n=1}^N i_n = 0$$



$$i_a + i_b - i_c - i_d = 0$$

## Lei das Correntes de Kirchhoff – 1ª lei: KCL

Calcular  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ .

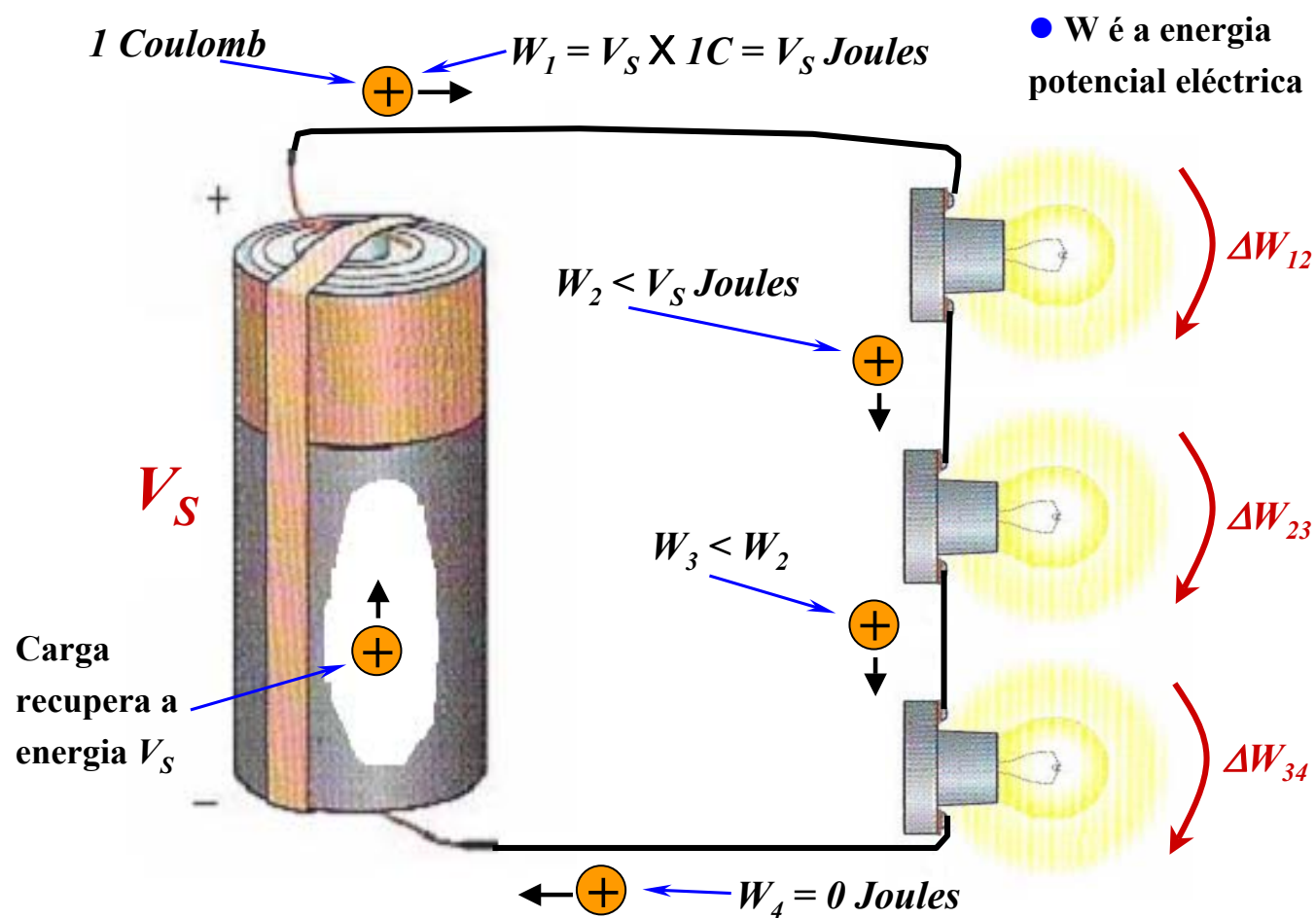




# Leis de Kirchhoff

## lei das tensões

## Lei das Tensões de Kirchhoff



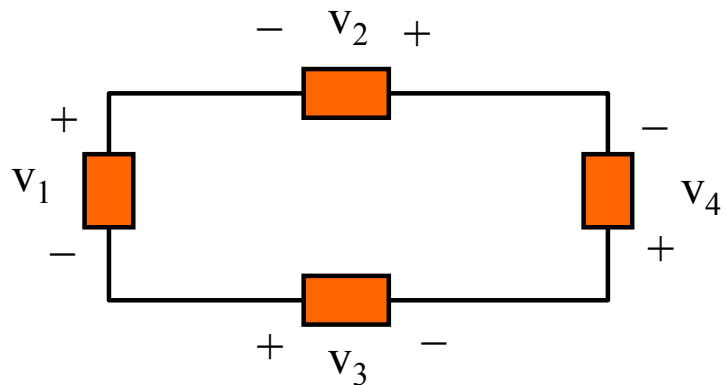
## Lei das Tensões de Kirchhoff – 2ª lei: KVL

- Pela **Lei da Conservação da Energia** temos de ter:

$$\Delta W_1 = \Delta W_{12} + \Delta W_{23} + \Delta W_{34}$$

- Ou seja, o potencial eléctrico da bateria,  $V_S$ , **tem de igualar a soma das diferenças de potencial** em cada uma das lâmpadas.
- Ou ainda, mais genericamente,

$$\sum_{n=1}^N v_n = 0$$



**A soma algébrica das tensões ao longo de um caminho fechado (*loop*) é zero**

## Lei das Tensões de Kirchhoff – 2ª lei: KVL

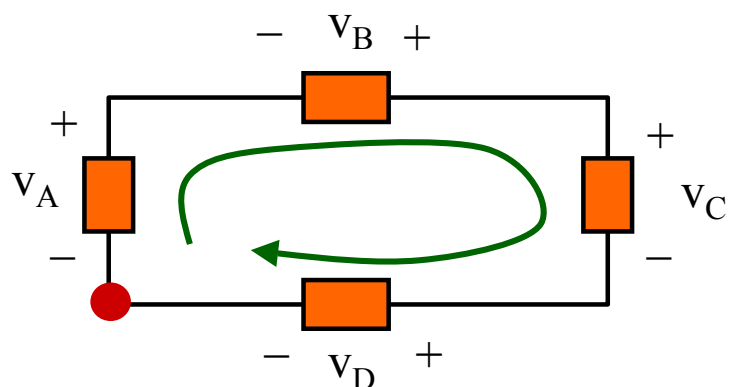
Para escrever a soma das tensões de um *loop*, procedemos da seguinte maneira:

**1-** Escolhemos um nó como ponto de partida do caminho fechado;

**2-** Percorremos o *loop* no sentido horário ou anti-horário, adicionando cada uma das tensões que encontramos;

**3-** O sinal algébrico atribuído a cada tensão é:

- Positivo, se encontramos primeiro o sinal positivo (+) dessa tensão;
- Negativo, se encontramos primeiro o sinal negativo (-) dessa tensão;



$$-v_A - v_B + v_C + v_D = 0$$

## Lei das Tensões de Kirchhoff – 2ª lei: KVL

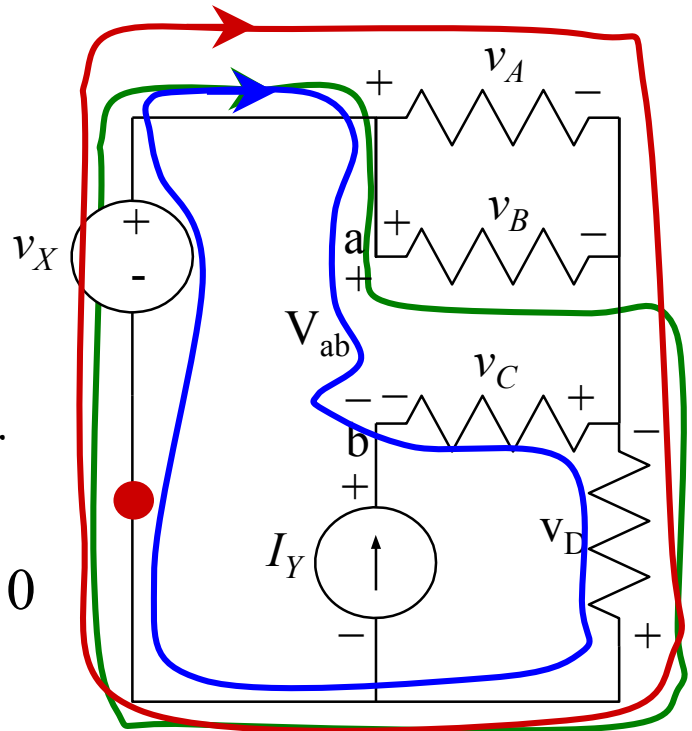
● Podemos escrever tantas equações quantos os *loops* que conseguirmos identificar no circuito:

➡  $-v_X + v_A - v_D = 0$

➡  $-v_X + v_B - v_D = 0$

● Note-se que, para efeitos de escrita da equação, o caminho escolhido pode saltar entre dois nós:

➡  $-v_X + v_{ab} - v_C - v_D = 0$

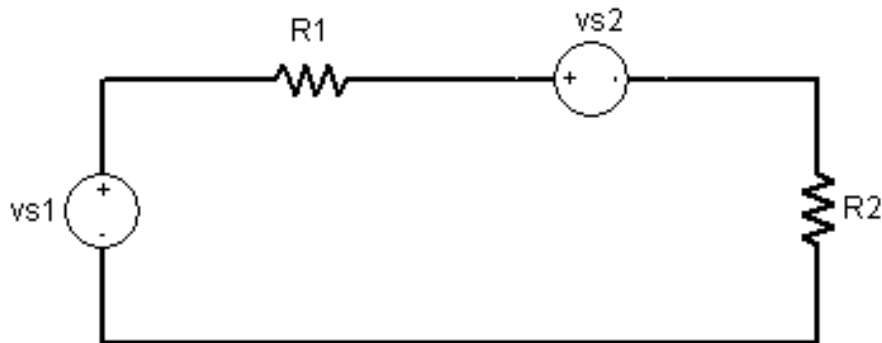


## Análise de circuitos simples

**A Lei de Ohm e as Leis de Kirchhoff são tudo o que precisamos para calcular as tensões e as correntes em circuitos com geradores e resistências.**

## Circuito com um só *loop* (ou uma só malha)

- Pretendemos analisar o **circuito série** dado;

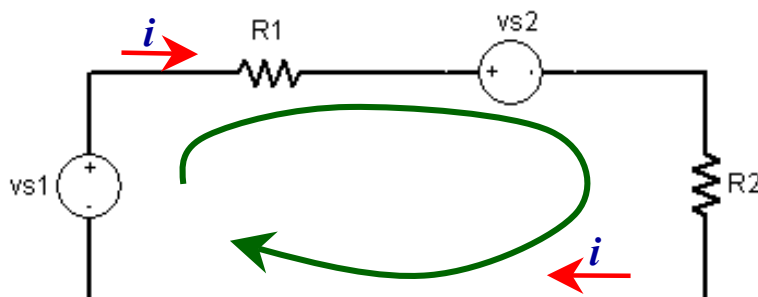


- **Analisar** é o termo genérico que usamos para referir os procedimentos de cálculo que nos permitem obter coisas como: a **corrente no circuito**, a **potência dissipada em R2**, etc.
- Como este é um circuito série, a grandeza mais importante a determinar (da qual todas as outras dependem) é a **corrente,  $i$** , no circuito.

## Circuito com um só *loop* – determinação de $i$

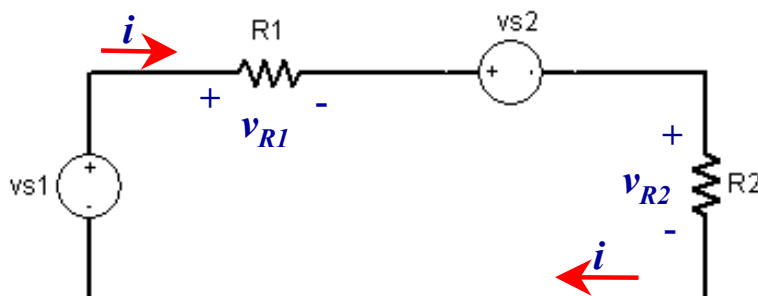
### Aplicação da KVL

- 1- Arbitrar um sentido de referência para a corrente



Lembremos que elementos em série são percorridos pela mesma corrente.

- 2- Escolher as polaridades de referência para as tensões desconhecidas

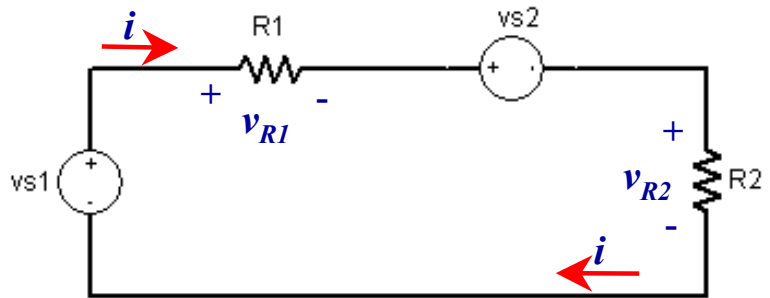


Convém escolher as polaridades de forma a que a corrente entre pelo lado positivo.

## Circuito com um só loop – determinação de $i$

3- Com base na **Lei das Tensões de Kirchhoff**, escrever a equação da malha:

$$-v_{s1} + v_{R1} + v_{s2} + v_{R2} = 0$$



4- Aplica-se a **Lei de Ohm** para expressar  $v_{R1}$  e  $v_{R2}$  em função de  $i$ :

$$v_{R1} = R_1 \cdot i \quad v_{R2} = R_2 \cdot i$$

$$-v_{s1} + R_1 \cdot i + v_{s2} + R_2 \cdot i = 0$$

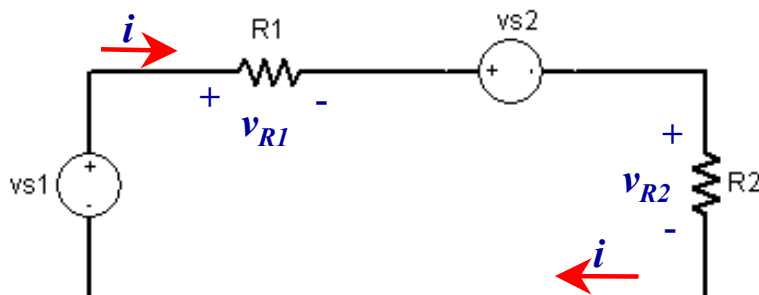
$$i = \frac{v_{s1} - v_{s2}}{R_1 + R_2}$$



## Circuito com um só loop

● Sabendo  $i$  podemos calcular praticamente tudo sobre o circuito, por exemplo:

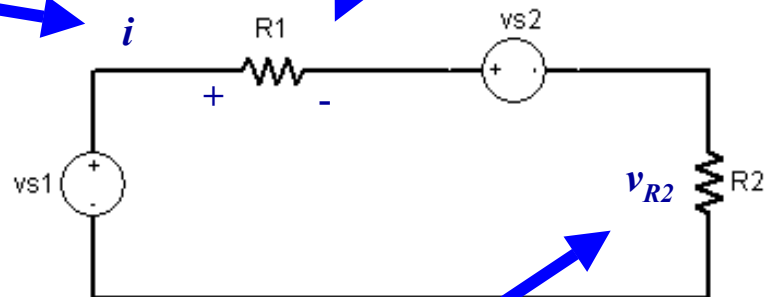
- A tensão aos terminais de R1:  $v_{R1} = R_1 \cdot i$
- A potência dissipada em R2:  $p_{R2} = R_2 \cdot i^2$
- As potências absorvidas por cada uma dos geradores:  $p_{s1} = v_{s1} \cdot (-i)$   
 $p_{s2} = v_{s2} \cdot i$



## Erros frequentes!...

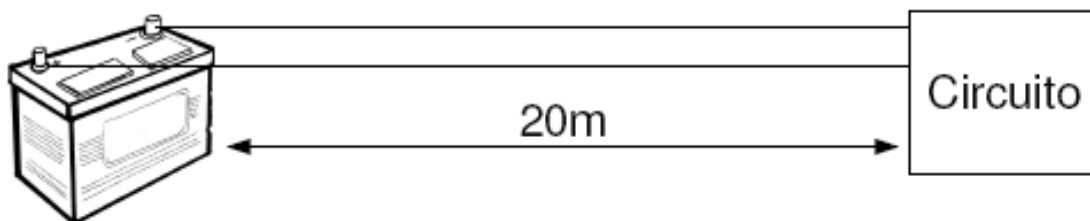
Indicar corrente...  
mas não o sentido!

Indicar polaridade... mas  
não indicar a tensão!



Indicar tensão... mas não  
a polaridade!

## Problema

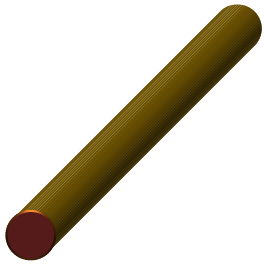


Um par de condutores de cobre com  $0,75\text{mm}^2$  de secção é utilizado para ligar uma bateria de 12 V (tensão nominal) ao circuito que alimenta. O circuito e a bateria estão distantes entre si de 20m.

- Determine a resistência de cada um destes condutores.
- Se o circuito consumir 3A e a bateria tiver uma tensão de 12,3 V aos seus terminais, qual a d.d.p. aos terminais do circuito?

## Resolução

**1º: Resistência de cada fio condutor,  $R_C$**



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

$$\rho = 1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

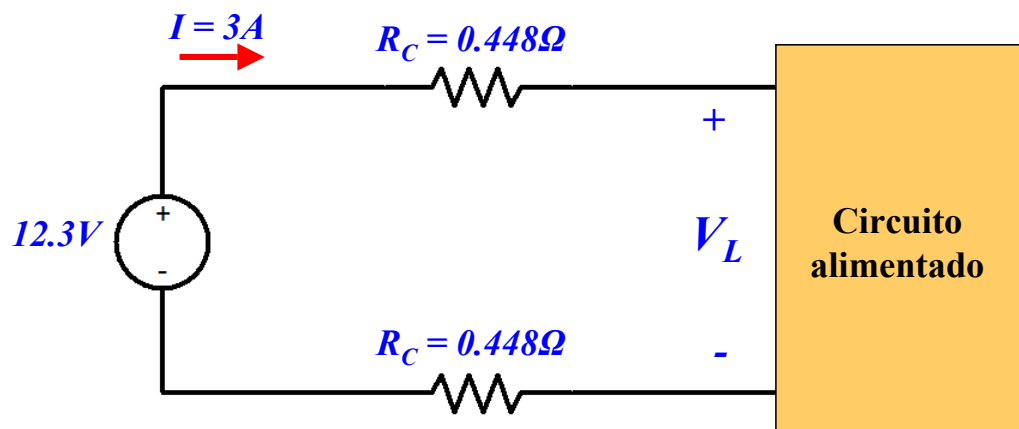
$$L = 20m$$

$$A = 0.75mm^2 = 0.75 \times 10^{-6} m^2$$

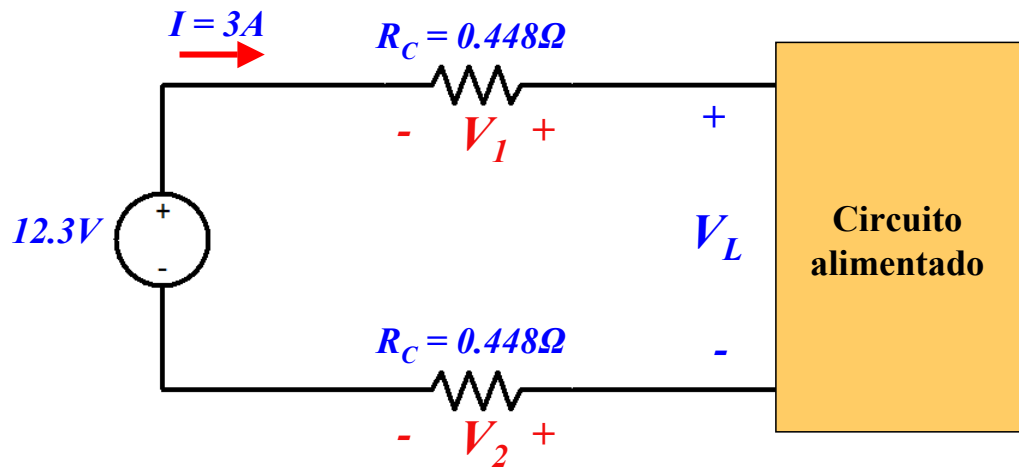
$$R_C = 1.68 \times 10^{-8} \frac{20}{0.75 \times 10^{-6}} = 0.448 \Omega$$

**2º: Tensão aos terminais do circuito,  $V_L$**

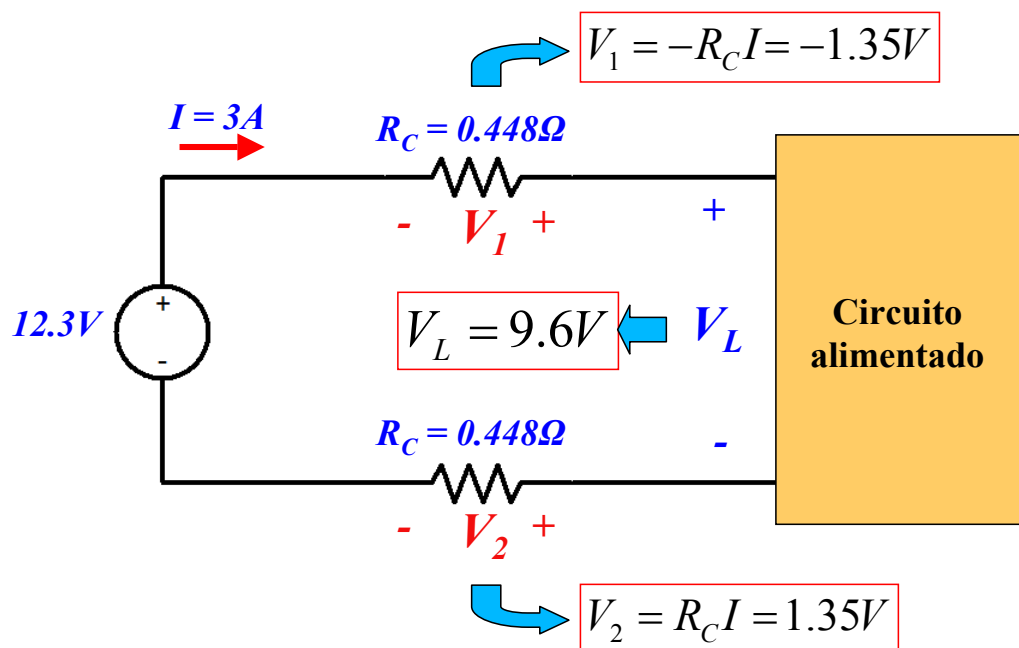
**O circuito equivalente é:**



- Para determinar  $V_L$  vamos usar **KVL**;
- ...mas para isso precisamos de marcar **tensões de referência** nas resistências.



- Aplicando **KVL**, obtemos:  $-12.3 - V_1 + V_L + V_2 = 0$
- Usando a **Lei de Ohm**:  $V_1 = -R_C I$  e  $V_2 = R_C I$
- Substituindo...  $-12.3 + R_C I + V_L + R_C I = 0$
- Substituindo os valores de  $R_C$  e  $I$ :  $-12.3 + 2(0.448 \times 3) + V_L = 0$   
 $V_L = 9.6V$



- Às tensões  $V_1$  e  $V_2$  é costume chamar-se **quedas de tensão**.