

# FUNDAMENTOS DE ELETROÔNICA APLICADA

PROF. MSC. MARCELO VIANA DA SILVA



# PRINCÍPIOS DE ELETRÔNICA

## ■ Visão geral

- Prefixos
- Potencial elétrico, ddp, corrente elétrica
- Resistores, tipos
- Lei de Ohm
- Resistência equivalente
- Divisor de tensão
- Lei das Tensões de Kirchhoff
- Capacitores
- Diodo
- Transistores

# PREFIXOS

# PREFIXOS

FATORES MULTIPLICATIVOS	PREFIXO NO SI	SÍMBOLO NO SI
$1.000.000.000.000.000.000 = 10^{18}$	exa	E
$1.000.000.000.000.000 = 10^{15}$	peta	P
$1.000.000.000.000 = 10^{12}$	tera	T
$1.000.000.000 = 10^9$	giga	G
$1.000.000 = 10^6$	mega	M
$1.000 = 10^3$	quilo	k
$0,001 = 10^{-3}$	mili	m
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	micro	$\mu$
$0.000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	nano	n
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	pico	p
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	femto	f
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	ato	a

# PREFIXOS

- Ex.:  $5200 \text{ m} = 5.2 \text{ km}$
- Ex.:  $512000000000 \text{ B} = 512 \text{ GB}$
- Ex.:  $0,2 \text{ l} = 200 \text{ ml}$
- Ex.:  $0,000043 \text{ g} = 43 \mu\text{g}$
- Ex.:  $2400000000 \text{ Hz} = 2.4 \text{ GHz}$
- Ex.:  $2300000 \text{ W} = 2,3 \text{ MW}$
- Ex.:  $0,0000000025 \text{ s} = 250 \text{ ns}$



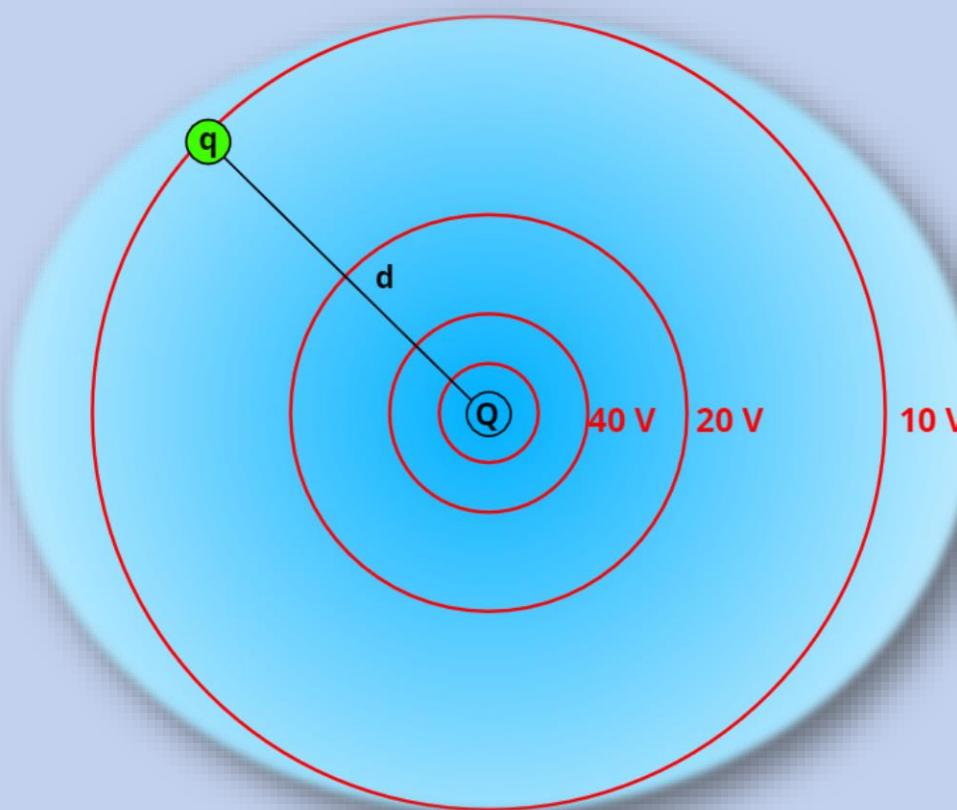
# PREFIXOS



# POTENCIAL ELÉTRICO

# POTENCIAL ELÉTRICO

- Potencial elétrico é a **capacidade** de um corpo energizado de realizar trabalho, atraindo ou repelindo cargas.



# POTENCIAL ELÉTRICO

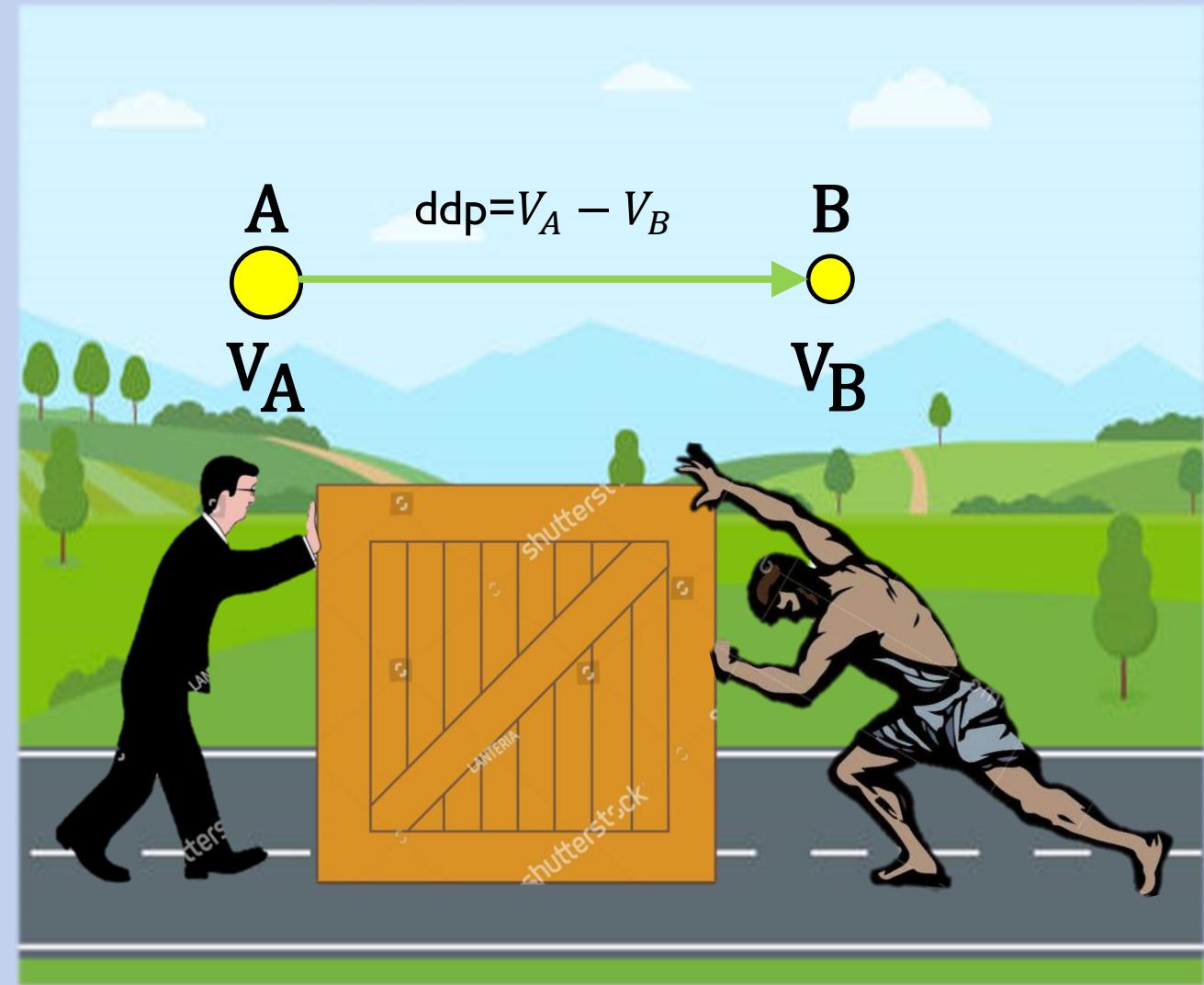
- Imagine duas pessoas que devem carregar uma caixa de certo peso por uma ladeira. A pessoa que aparenta ter mais força tem maior potencial de carregar a caixa.
- Isso significa que o maior potencial consegue carregar a mesma caixa em menos tempo.



# POTENCIAL ELÉTRICO

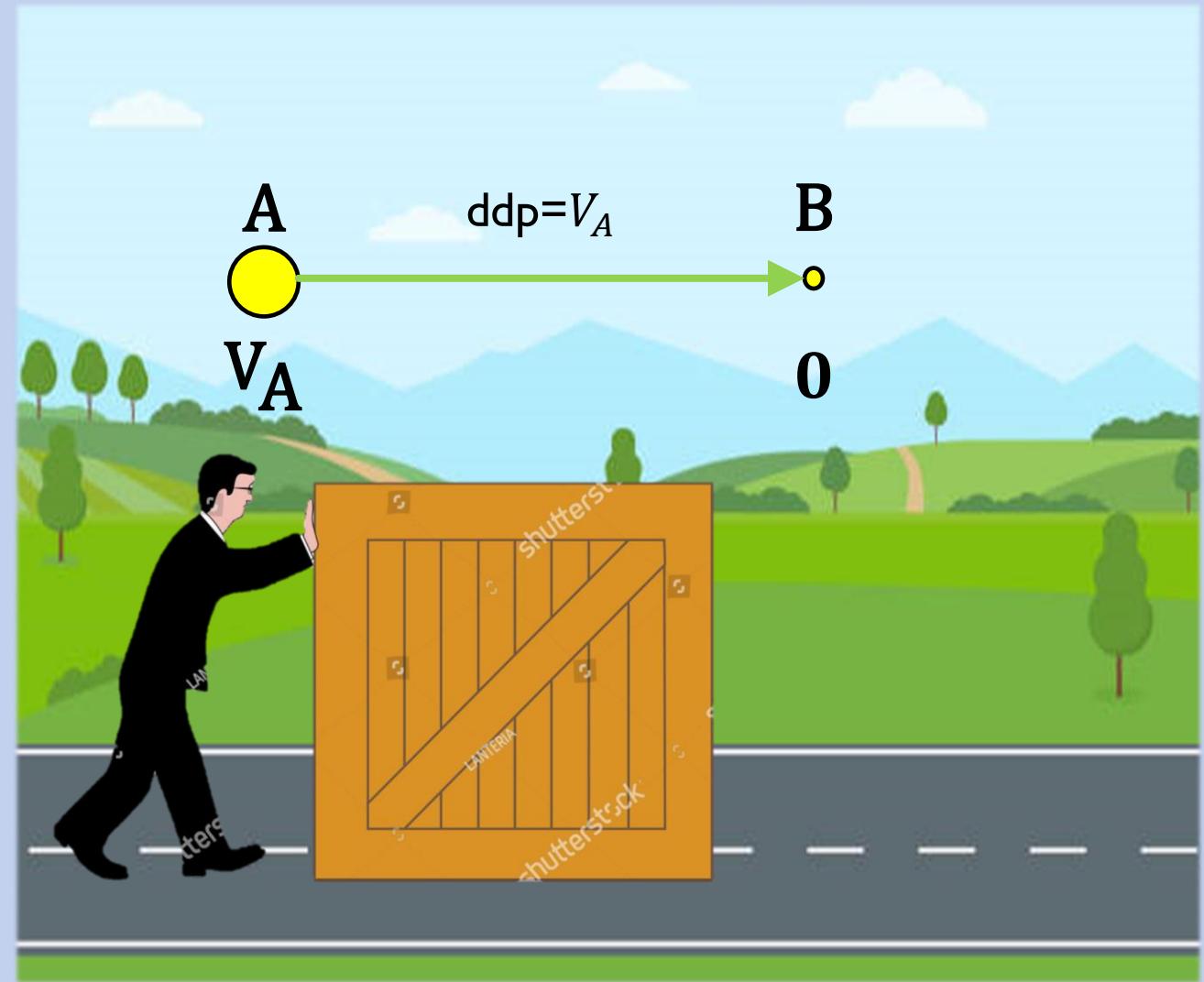
Se houverem forças opostas, existirá uma **diferença de potencial (ddp)**. A caixa irá se mover no sentido do **maior potencial** para o **menor potencial** com um potencial resultante igual à diferença dos potenciais, especificamente, o maior menos o menor.

A seta aponta no sentido do maior para o menor potencial.



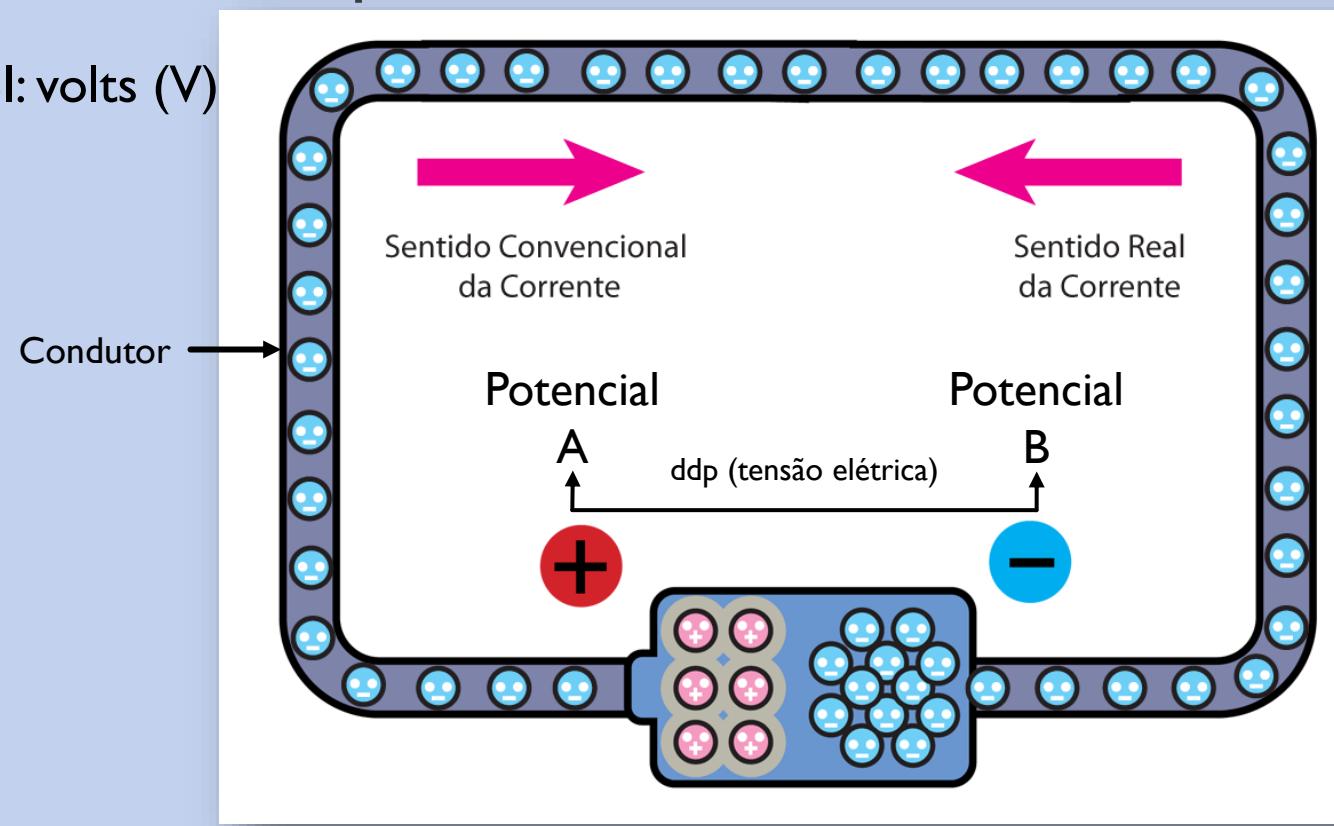
# POTENCIAL ELÉTRICO

- Se houver **apenas um potencial**, não há força opositora, portanto, o potencial contrário é zero. Nesse caso, a **ddp é igual ao potencial não nulo**.
- Para existir tensão, é preciso uma **diferença de potencial**, mesmo que um dos potenciais seja zero. Por isso todas as fontes de tensão possuem no mínimo dois terminais.
- O **terminal positivo** indica o **maior** potencial e o **terminal negativo** indica o **menor** potencial.



# POTENCIAL ELÉTRICO

- Quando dois potenciais elétricos interagem, existe uma **diferença de potencial (ddp)** que causa o deslocamento de cargas no sentido do maior para o menor potencial, realizando *trabalho*.
- Unidade no SI: volts (V)

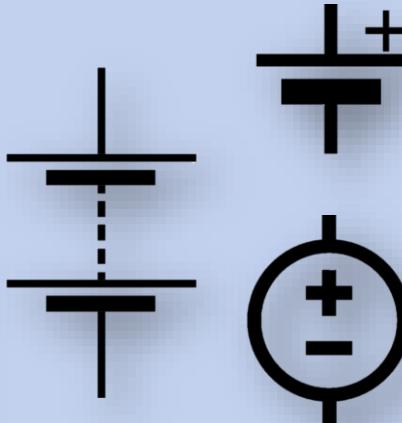


# POTENCIAL ELÉTRICO

- Fontes de tensão contínua como baterias, são polarizadas, o que significa que um terminal apresenta maior potencial e outro terminal apresenta o menor potencial.
- Fontes de tensão alternadas como a própria rede elétrica não são polarizadas, isto é, em ambos os terminais podem haver potenciais maiores ou menores.
- Um potencial negativo indica que a força está em sentido oposto, isto é, puxando as cargas, ao invés de empurrar.



Tensão contínua



SÍMBOLOS



Tensão alternada



SÍMBOLO

# POTENCIAL ELÉTRICO

- A diferença de potencial (ddp) entre dois pontos, A e B, de potenciais elétricos, respectivamente,  $V_A$  e  $V_B$ , é dada por:
- Unidade no SI: volts (V)



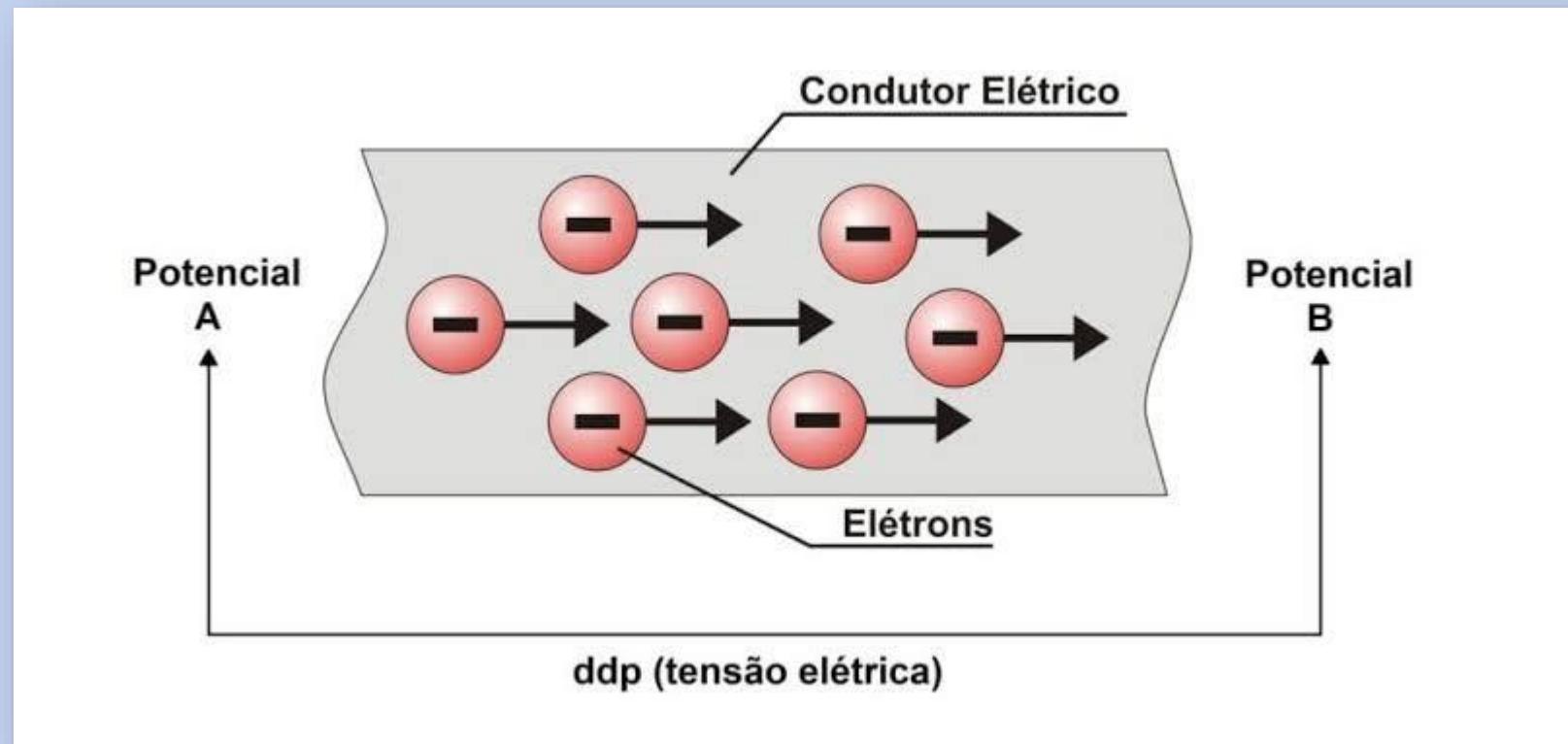
$$V_{AB} = V_A - V_B$$

Se  $V_B = 0$  então  
 $V_{AB} = V_A$

# CORRENTE ELÉTRICA

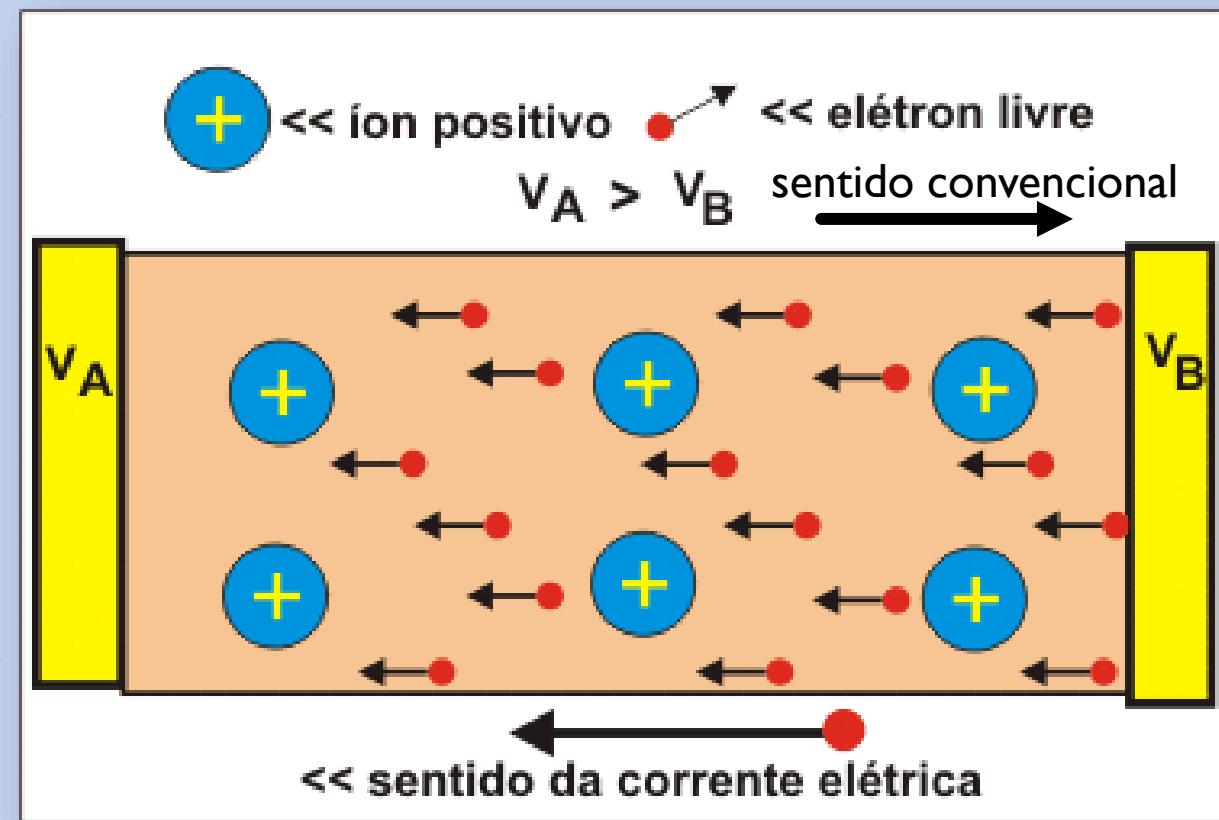
# CORRENTE ELÉTRICA

- A d.d.p. causa o deslocamento de cargas, caracterizando o fluxo de elétrons ou **corrente elétrica**.
- Unidade no SI: ampère (A)



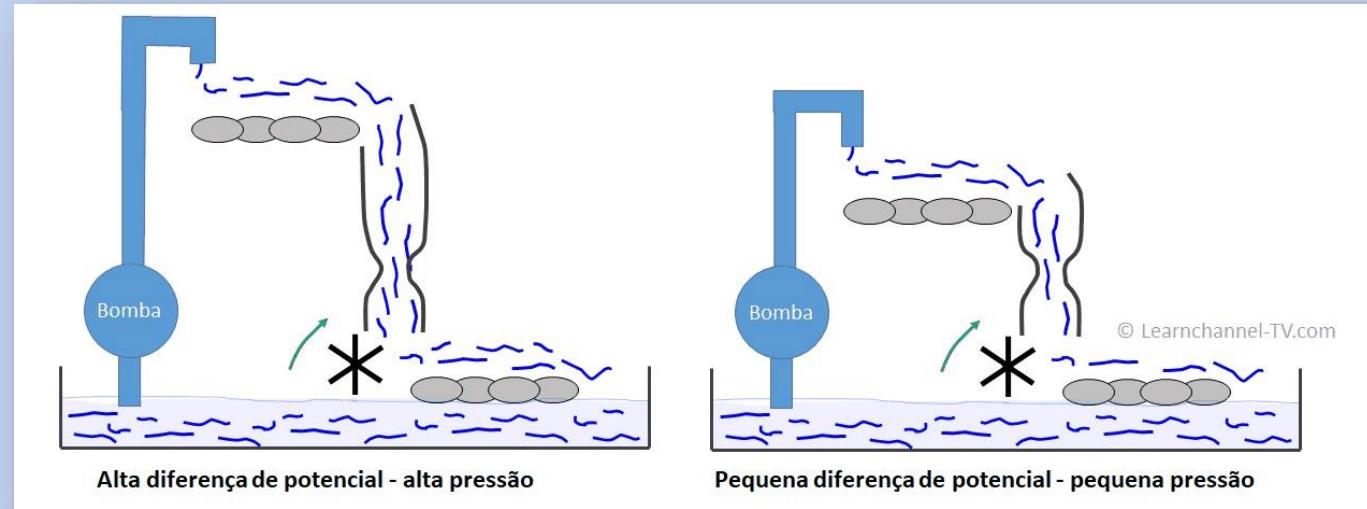
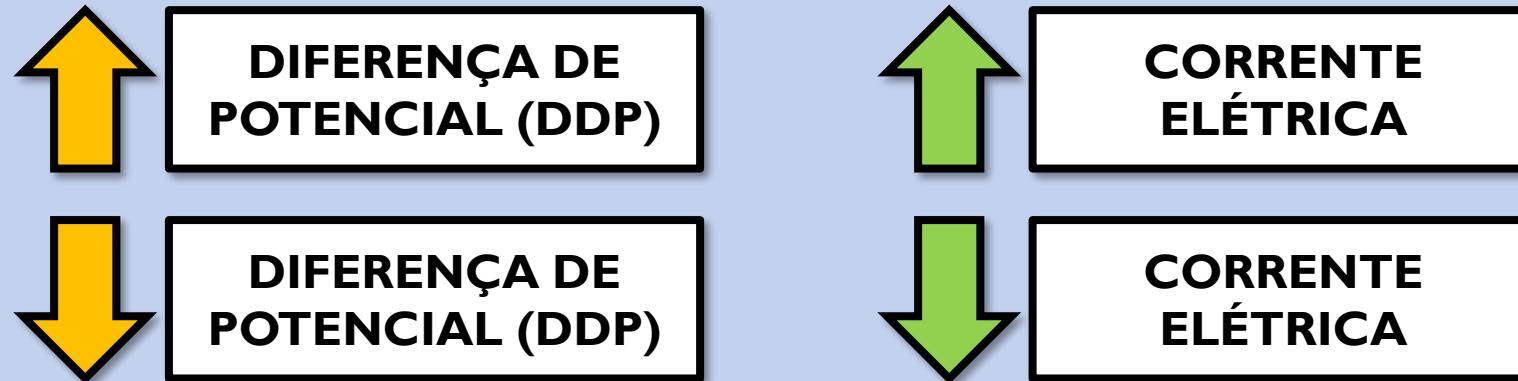
# CORRENTE ELÉTRICA

- A corrente elétrica é o fluxo de elétrons que são atraídos pelo ponto de maior potencial. Portanto, o fluxo de elétrons ocorre no sentido do menor para o maior potencial. Esse fluxo é chamado de **sentido real** ou **sentido dos elétrons**.
- Porém, é mais intuitivo pensar no fluxo de corrente no sentido do maior potencial para o menor. Esse fluxo é o adotado na maioria dos casos e é chamado de **sentido convencional** ou **sentido das lacunas** (íons positivos).
- Na eletrônica aplicada utilizamos sempre o sentido convencional, porém é bom ter em mente que o fluxo da corrente elétrica ocorre em sentido inverso.



# CORRENTE ELÉTRICA

- Quanto maior o potencial, maior a corrente.
- Quanto menor o potencial, menor a corrente.



# RESISTÊNCIA ELÉTRICA

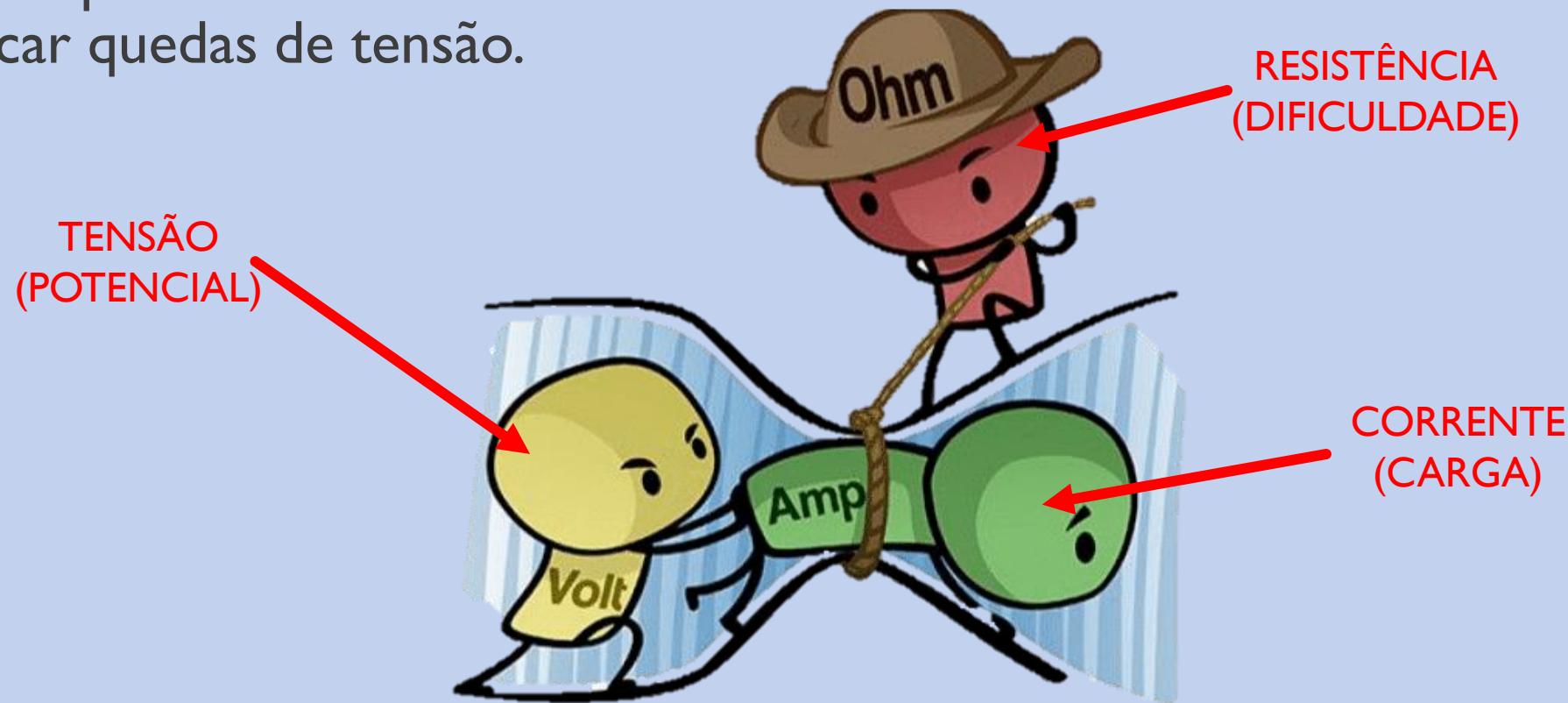
# RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- Outro fator importante além de forças contrárias é a dificuldade encontrada no próprio caminho que dificulta a realização do trabalho dos potenciais elétricos.
- Essa dificuldade pode ser representada pela inclinação da ladeira. *Quanto mais inclinada for a ladeira, maior será a dificuldade de carregar a caixa e será necessário um maior potencial para carregar a mesma caixa.*



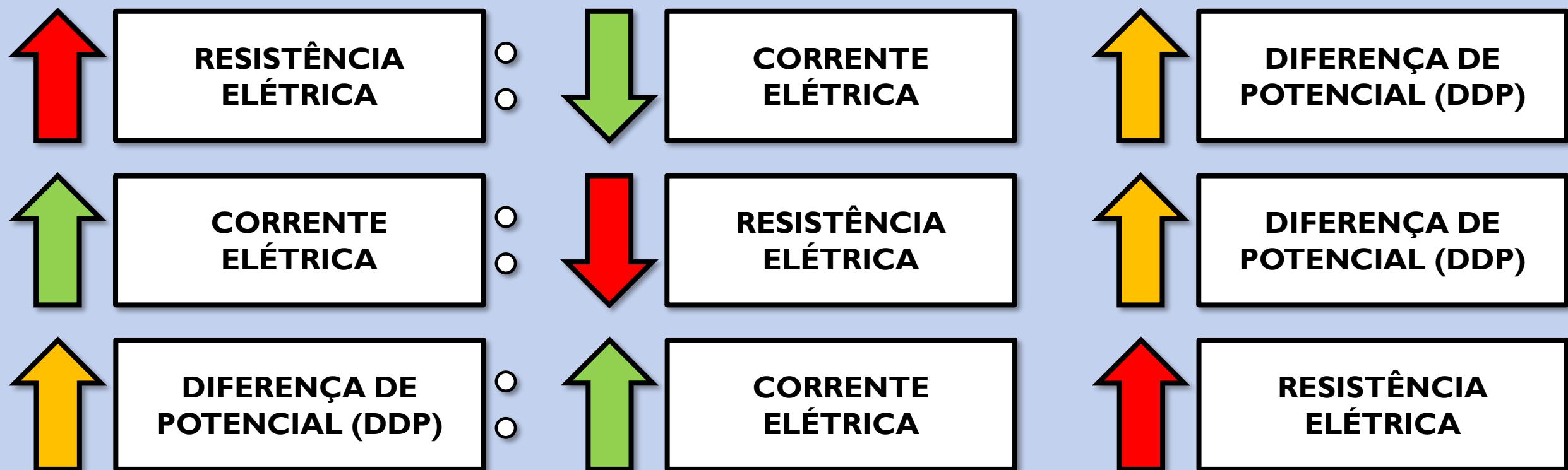
# RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- Na eletricidade, o componente que cria dificuldade à passagem de corrente é chamado de **RESISTOR**. Ele limita a passagem de corrente, reduzindo seu fluxo no circuito.
- Esse componente é utilizado com a finalidade de limitar a corrente elétrica ou provocar quedas de tensão.



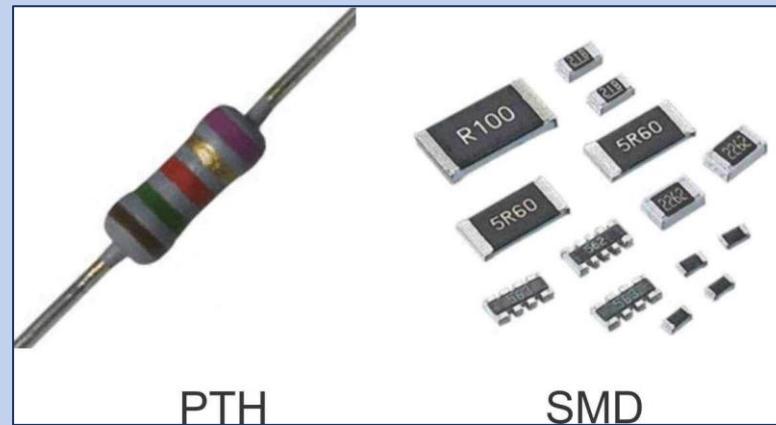
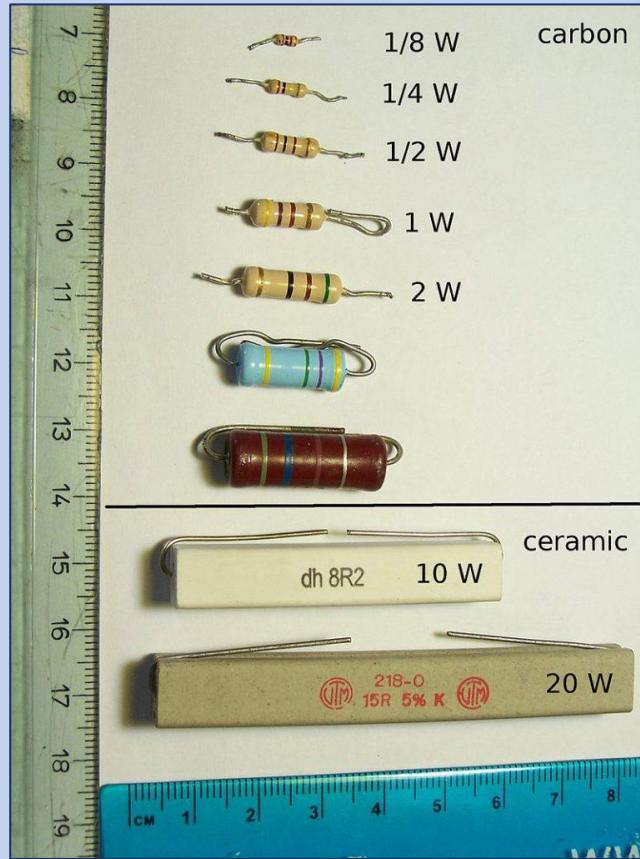
# RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- Quanto **maior** a resistência elétrica, **menor** o fluxo de corrente elétrica e **maior** a tensão.
- Quanto **maior** a corrente, **menor** a resistência elétrica e **maior** a tensão.
- Quanto **maior** a tensão, **maior** a resistência que pode ser sobreposta e **maior** o fluxo de corrente.

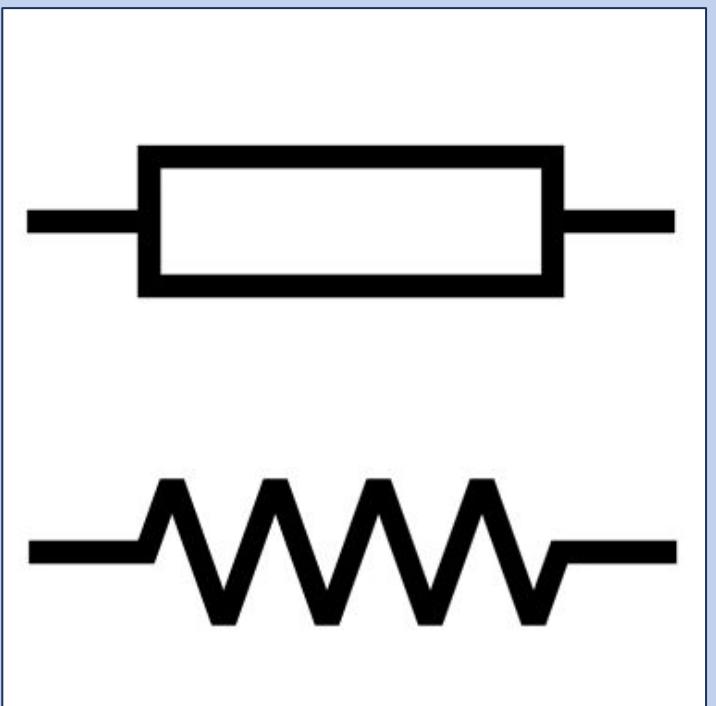


# RESISTORES

- São componentes utilizados com a finalidade de limitar a corrente elétrica ou provocar quedas de tensão.



UNIDADE: ohm ( $\Omega$ )  
SIMBOLOGIA:



# RESISTORES

- Características:

- a) **Resistência ôhmica:** obtida pelo código de cores
- b) **Percentual de tolerância:** obtida pelo código de cores
- c) **Potência dissipada:** em função do tamanho do resistor.



Exemplo:

Resistor de **1000 Ω (1K)** **+/- 5%** **¼ W**

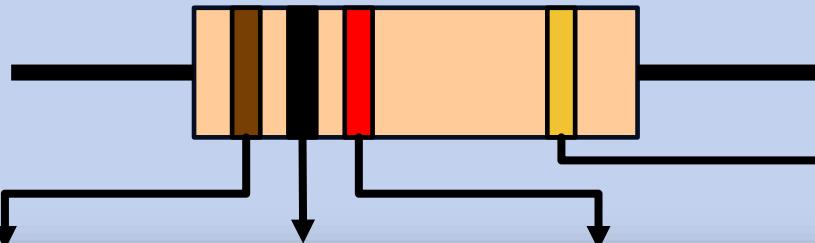
- Resistência
- Potência dissipada
- Tolerância

# TABELA DO CÓDIGO DE CORES PARA RESISTORES

Cor	1 <sup>a</sup> Faixa	2 <sup>a</sup> Faixa	Faixa multiplicadora	Tolerância
Preto	0	0	×1Ω	-
Marrom	1	1	×10Ω	±1%
Vermelho	2	2	×100Ω	±2%
Laranja	3	3	×1kΩ	-
Amarelo	4	4	×10kΩ	-
Verde	5	5	×100kΩ	±0,5%
Azul	6	6	×1MΩ	±0,25%
Violeta	7	7	×10MΩ	±0,1%
Cinza	8	8	-	±0,05%
Branco	9	9	-	-
Dourado	-	-	×0,10Ω	±5%
Prateado	-	-	×0,01Ω	±10%
Sem cor	-	-	-	±20%

# TABELA DO CÓDIGO DE CORES PARA RESISTORES

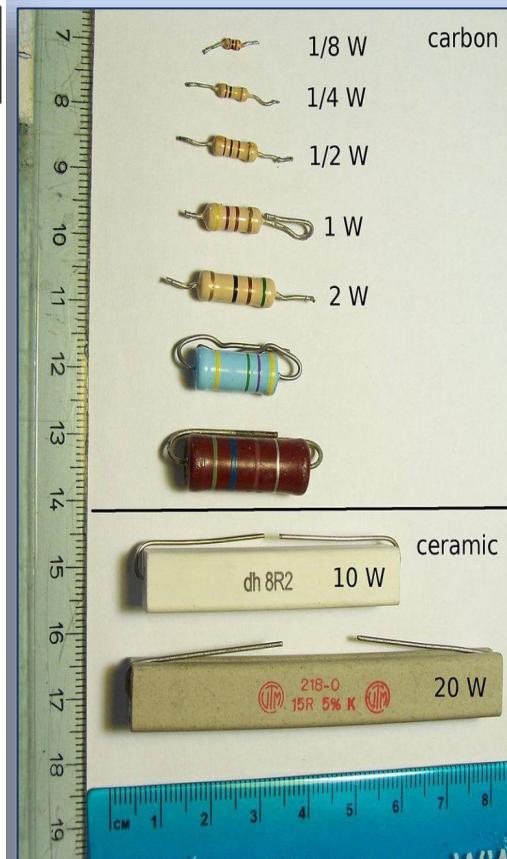
**1000 Ω (1K) +/- 5% 1/4 W**



$$10 \times 100\Omega = 1000\Omega = 1k\Omega$$

Cor	1ª Faixa	2ª Faixa	Faixa multiplicadora	Tolerância
Preto	0	0	×1Ω	-
Marrom	1	1	×10Ω	±1%
Vermelho	2	2	×100Ω	±2%
Laranja	3	3	×1kΩ	-
Amarelo	4	4	×10kΩ	-
Verde	5	5	×100kΩ	±0,5%
Azul	6	6	×1MΩ	±0,25%
Violeta	7	7	×10MΩ	±0,1%
Cinza	8	8	-	±0,05%
Branco	9	9	-	-
Dourado	-	-	×0,10Ω	±5%
Prateado	-	-	×0,01Ω	±10%
Sem cor	-	-	-	±20%

Potência dissipada

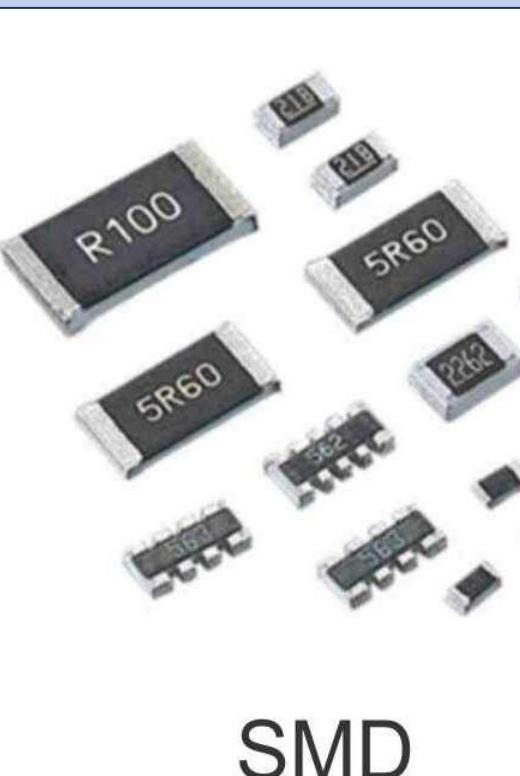


# RESISTORES

## FIXOS

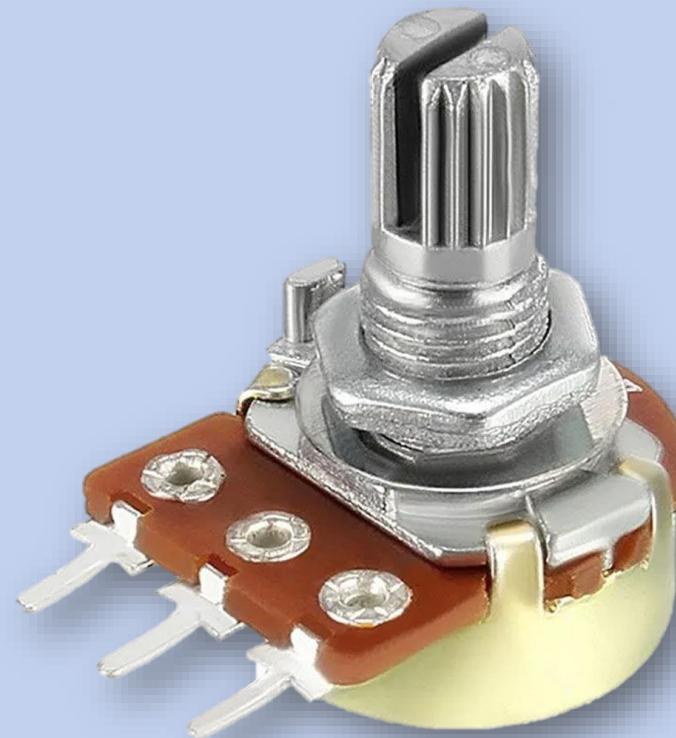


Resistores de carbono



Resistores de montagem  
em superfície (SMD)

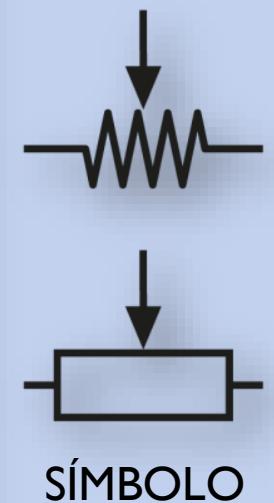
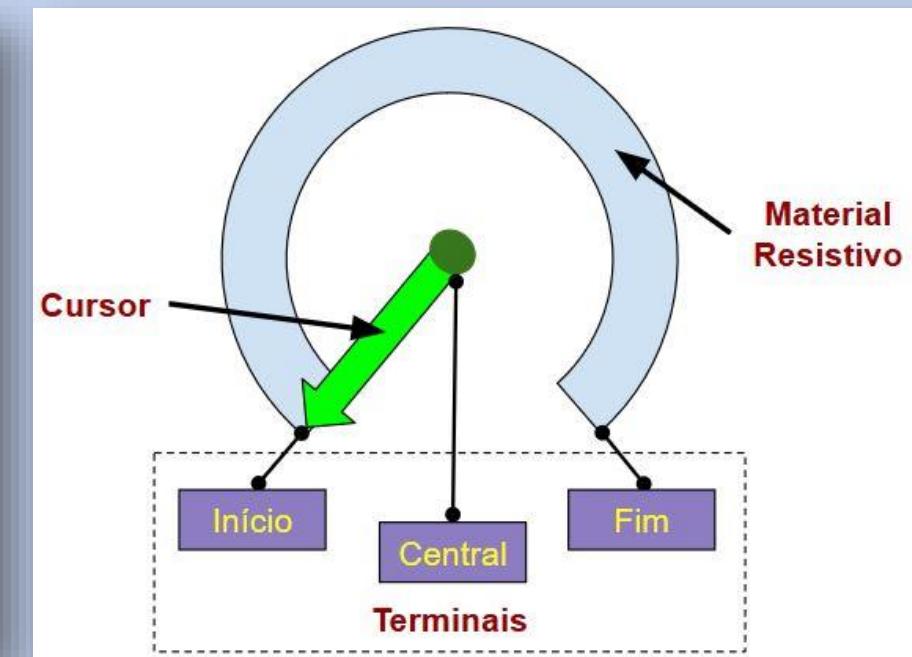
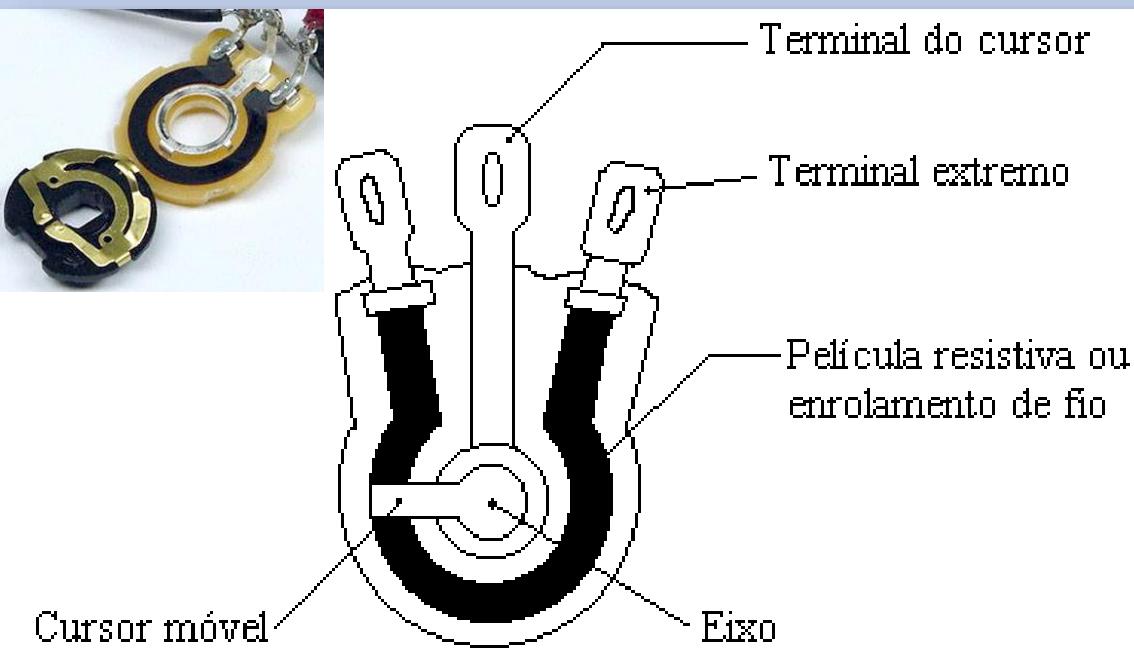
## VARIÁVEIS



Potenciômetro

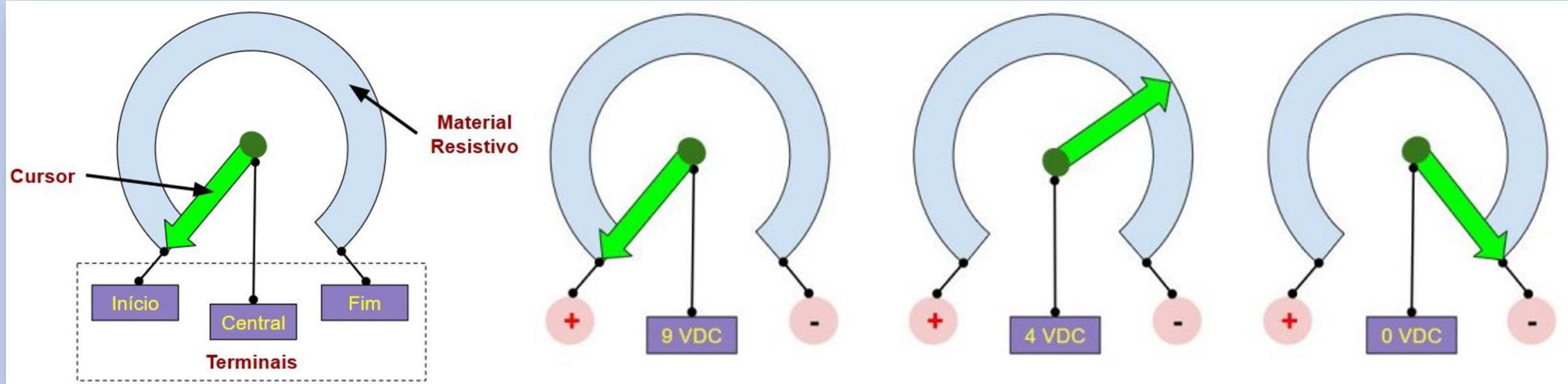
# POTENCIÔMETRO

- Potenciômetros são resistores com uma derivação central que permite a variação do valor resistivo pelo movimento de um eixo.
- A resistência entre o terminal central e um dos terminais das extremidades varia conforme a posição do cursor.



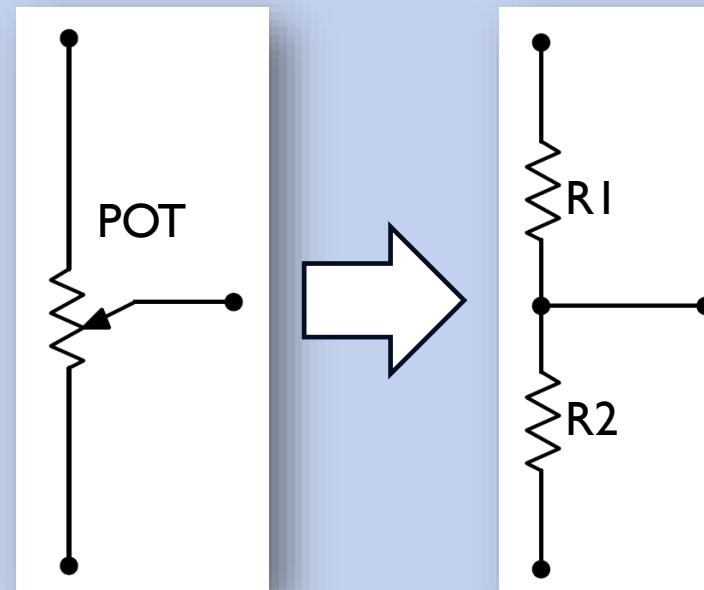
# POTENCIÔMETRO

- Ao alimentar um potenciômetro com uma tensão elétrica e mover o cursor, observamos que a tensão entre o terminal central e o terminal negativo varia de acordo com a posição do cursor. Vamos entender melhor esse funcionamento mais à frente.



# POTENCIÔMETRO

- O potenciômetro funciona como dois resistores em série. O valor dos resistores depende da posição do cursor. A soma dos valores dos resistores sempre será a mesma, igual ao valor do potenciômetro. Quando movemos o cursor, o valor de um dos resistores aumenta, o valor do outro diminui, mantendo a soma sempre constante.

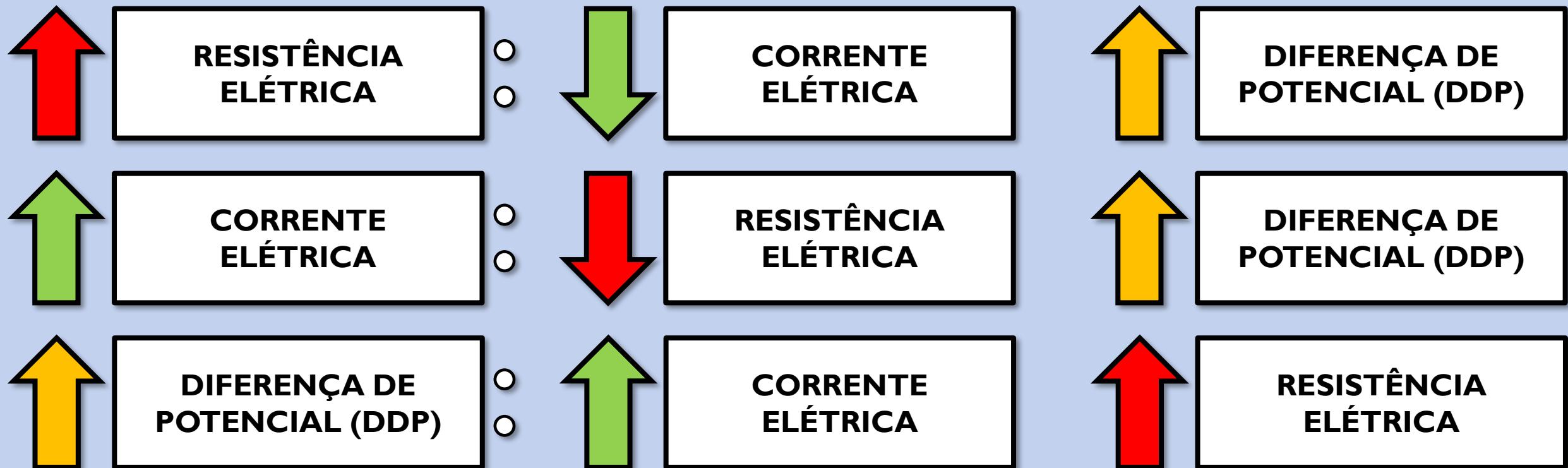


- Se  $R_1$  aumenta,  $R_2$  diminui
- Se  $R_2$  aumenta,  $R_1$  diminui
- $R_1+R_2=POT$

# LEI DE OHM

## RELEMBRANDO..

- Se a **tensão aumenta** ou se a **corrente diminui**, a **resistência deve ser maior**.
- Se a **tensão aumenta** ou a **resistência diminui**, a **corrente será maior**.
- Se a **resistência aumenta** ou a **corrente aumenta**, a **tensão será maior**.



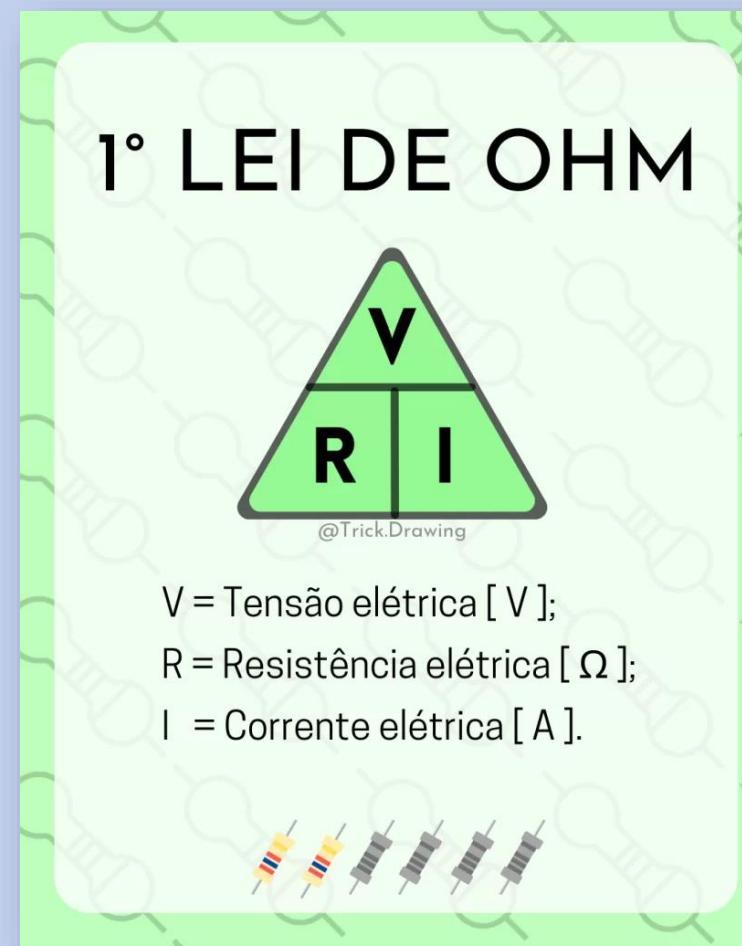
# LEI DE OHM

- A Lei de Ohm relaciona a tensão elétrica com a resistência e a corrente.

$$V = R \times I$$
$$R = \frac{V}{I}$$
$$I = \frac{V}{R}$$

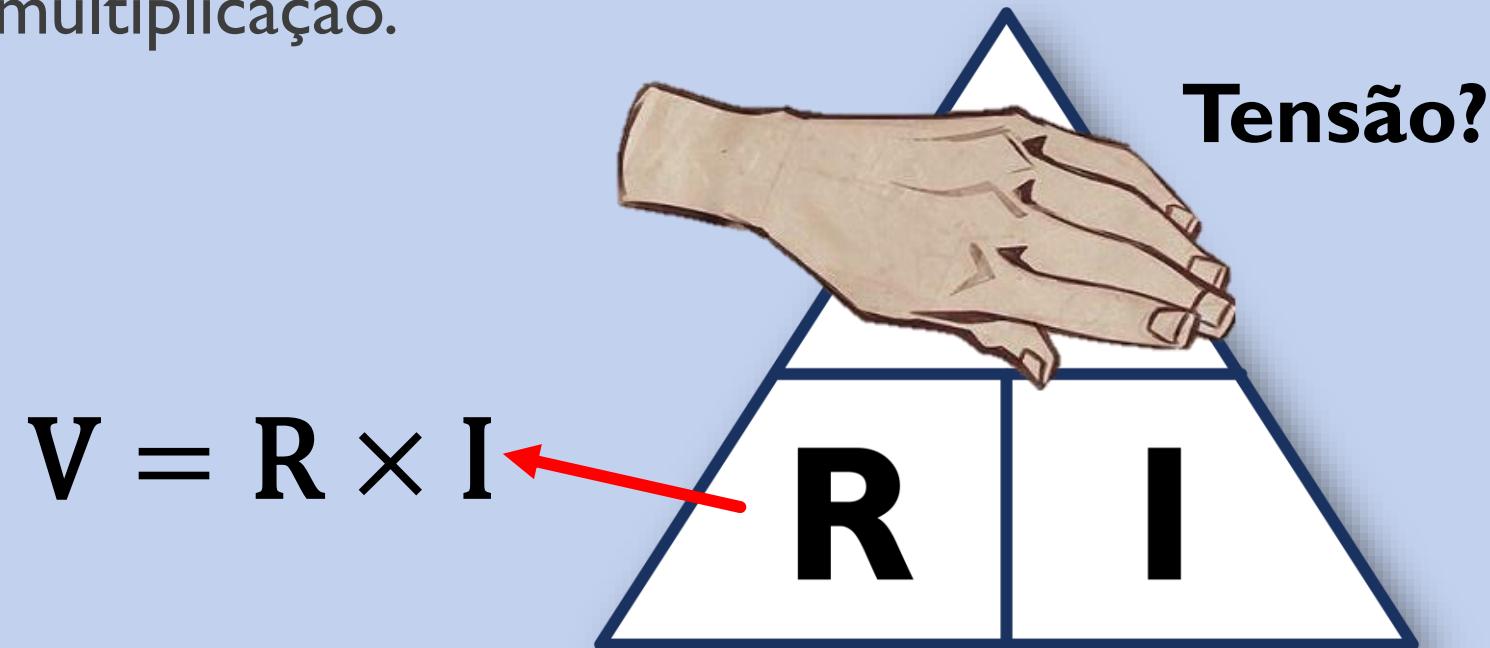
**Diretamente proporcional**

**Inversamente proporcional**



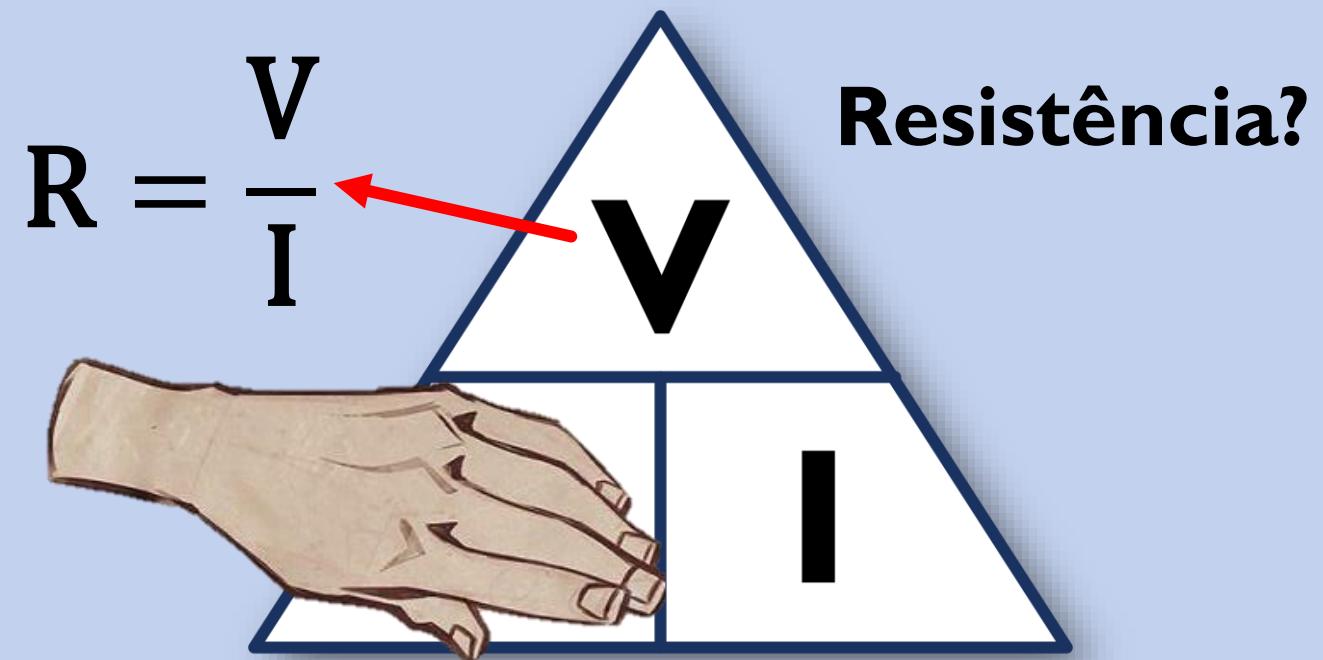
## LEI DE OHM

- Para calcular uma das três grandezas, podemos utilizar o triângulo da Lei de Ohm.
- Se desejamos, por exemplo, determinar a **tensão elétrica**, tampamos a tensão e o que resta é a resistência ao lado da corrente elétrica, indicando uma multiplicação.



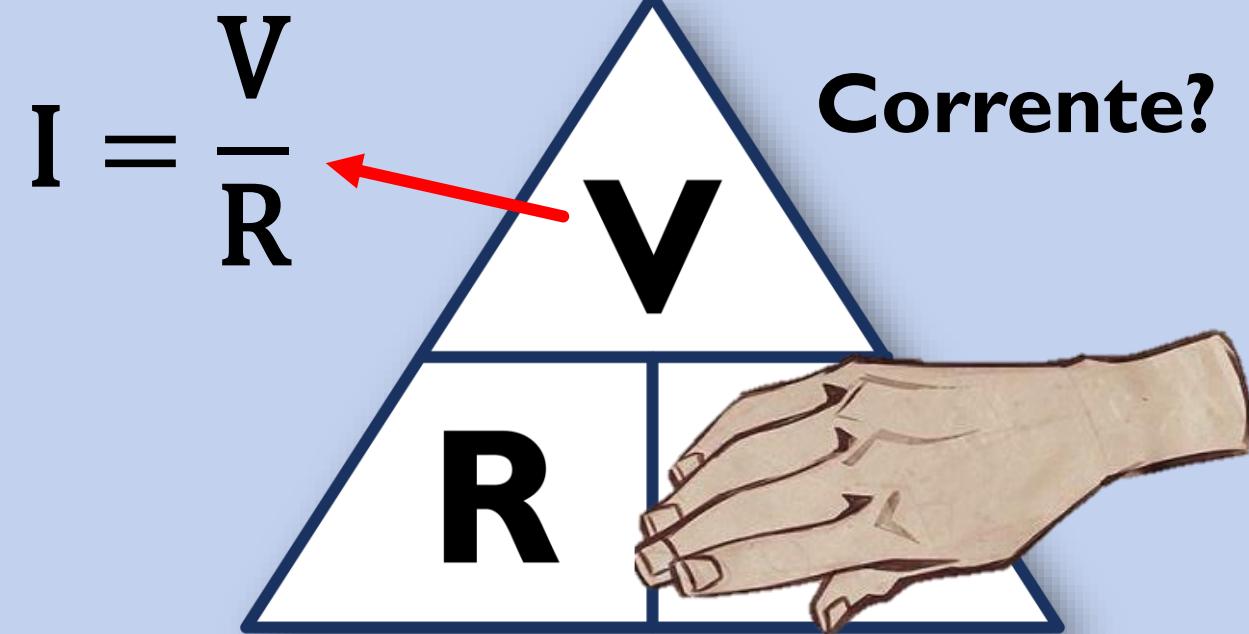
## LEI DE OHM

- Se desejamos determinar a **resistência elétrica**, tampamos a resistência e o que resta é a tensão sobre a corrente elétrica, indicando uma divisão.

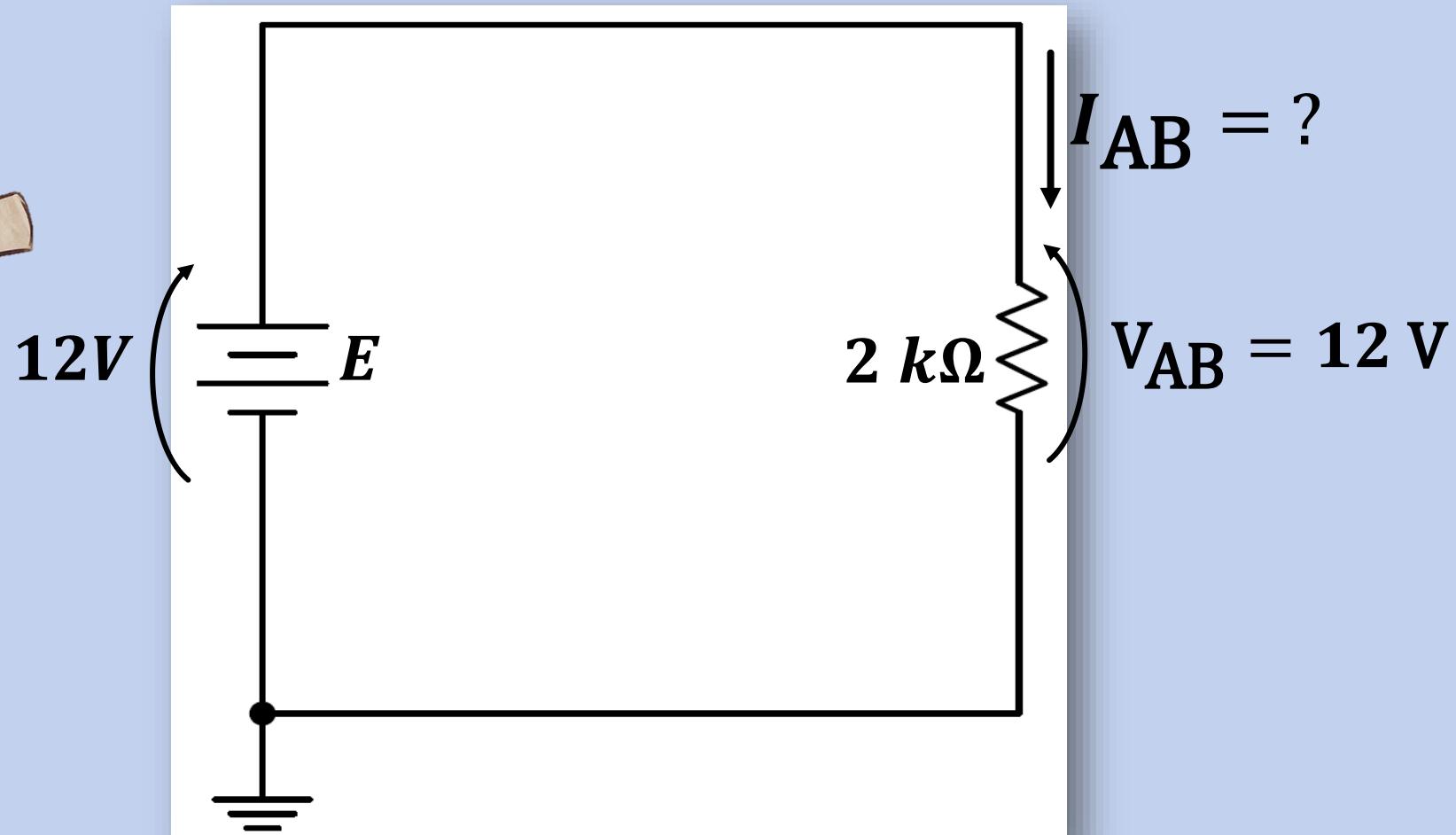
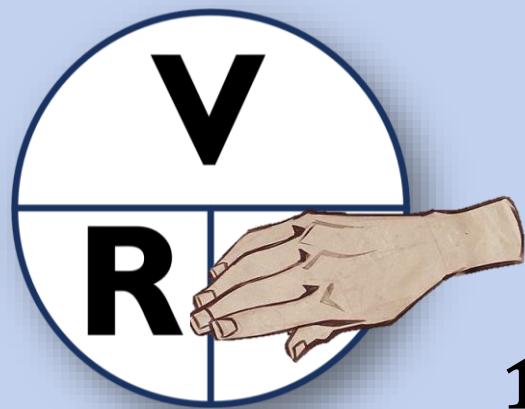


## LEI DE OHM

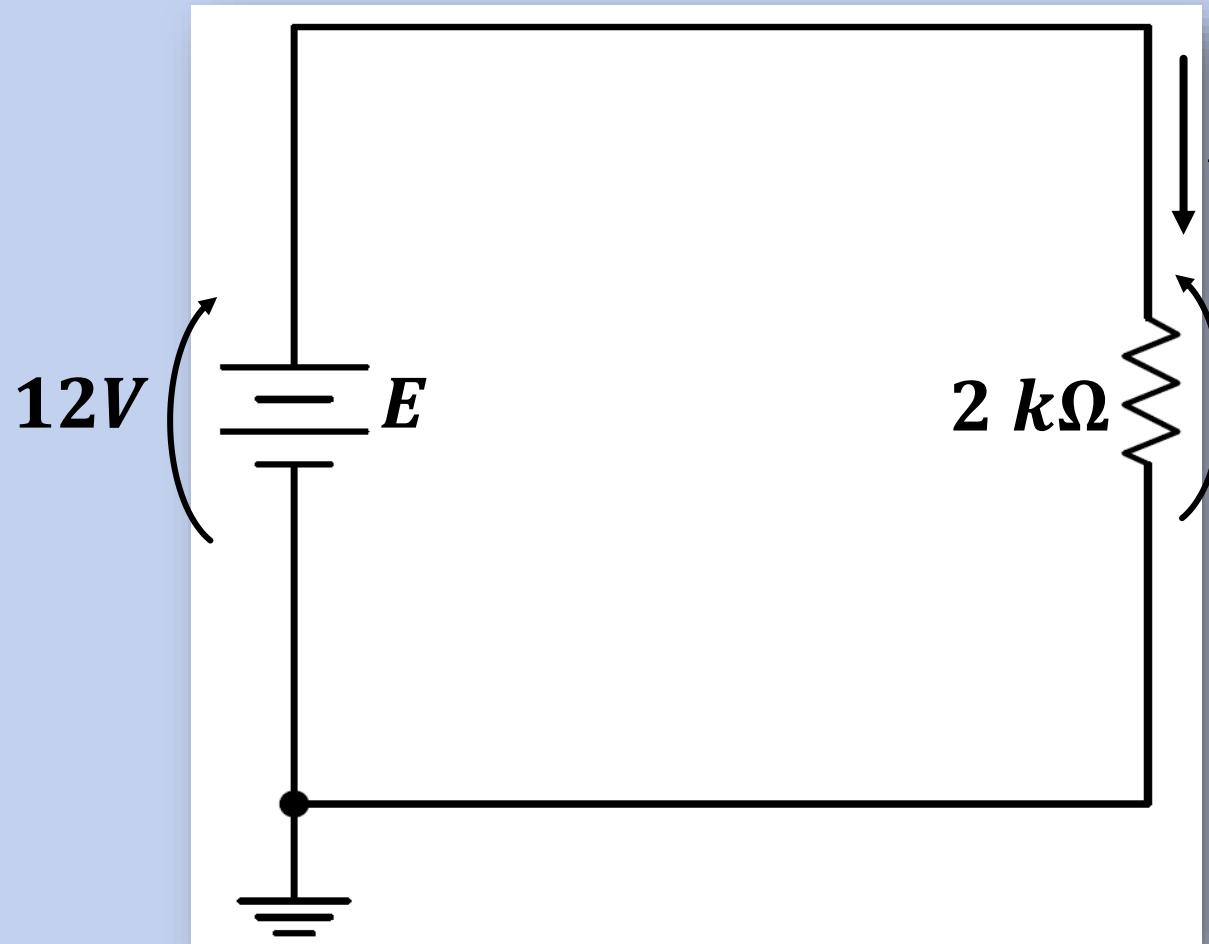
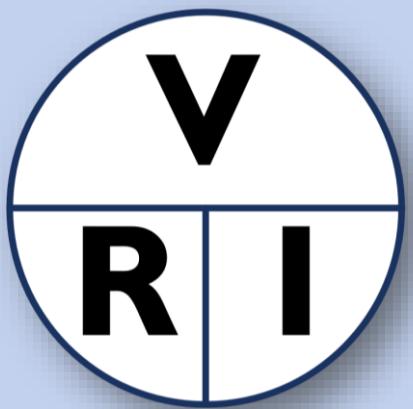
- Se desejamos determinar a **corrente elétrica**, tampamos a corrente e o que resta é a tensão sobre a resistência elétrica, indicando uma divisão.



# LEI DE OHM



## LEI DE OHM



$$I_{AB} = \frac{12\text{ V}}{2\text{ k}\Omega} = 6\text{ mA}$$

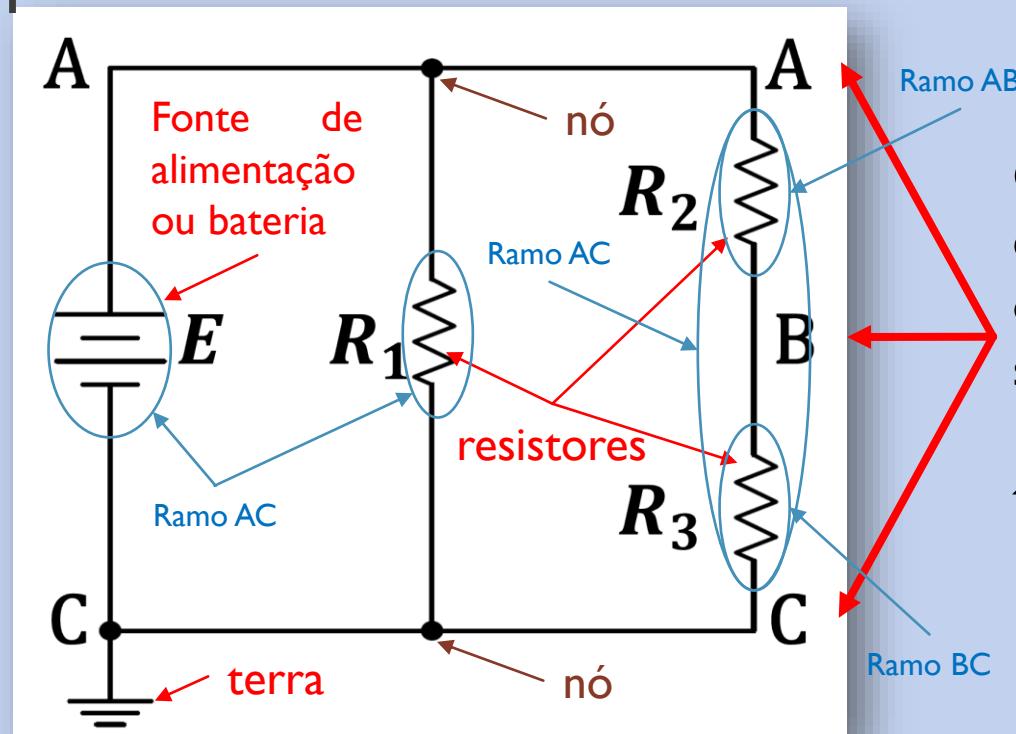
$$V_{AB} = 12\text{ V}$$

# CIRCUITOS ELETRÔNICOS

- O diagrama utilizado no exemplo anterior representa um **círculo eletrônico**. Um circuito eletrônico é formado por componentes eletrônicos como bateria, resistores, capacitores, entre outros, formando um **caminho fechado**, por isso o nome “círculo”.

OBS: os elementos entre dois nós são chamados de **ramos**.

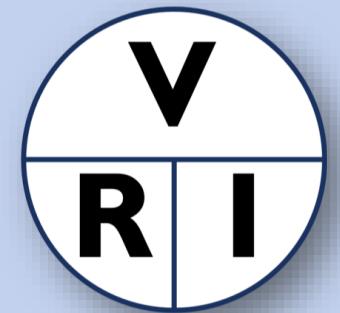
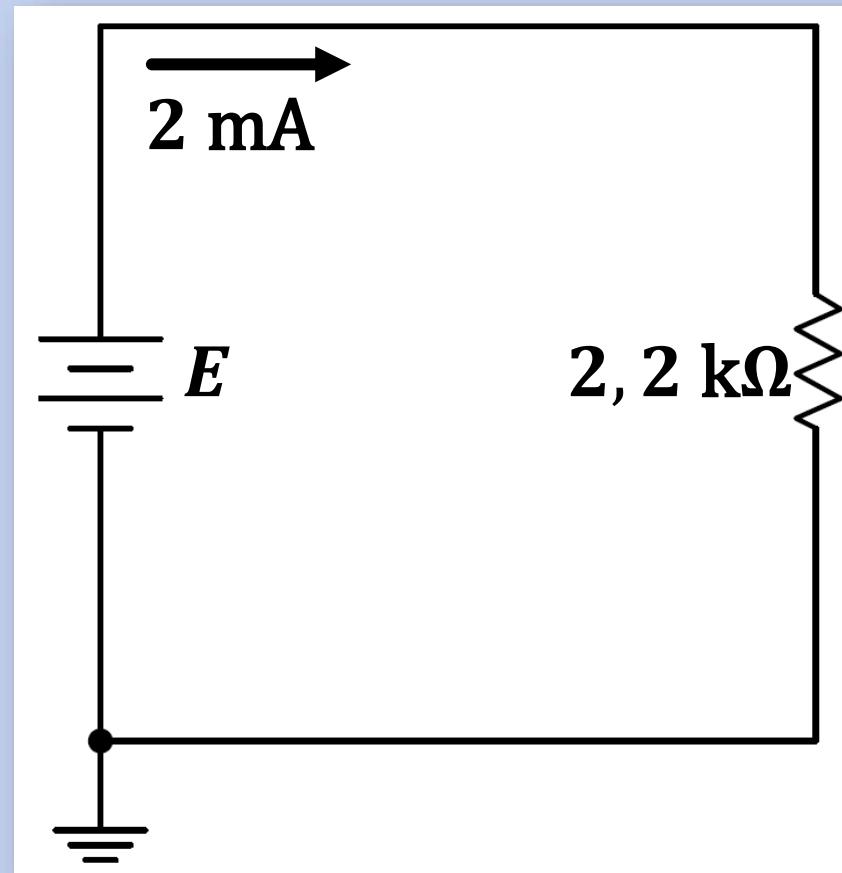
- $E$  forma um ramo entre os nós A e C.
- $R_1$  forma um ramo entre os nós A e C.
- $R_2$  e  $R_3$  formam um ramo entre os nós A e C.
- $R_2$  forma um ramo entre os nós A e B.
- $R_3$  forma um ramo entre os nós B e C.
- $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  também poderiam ser considerados um único ramo entre os nós A e C.



OBS: os pontos de conexão entre dois ou mais elementos são chamados de **nó**. Esse circuito contém três nós, A, B e C.

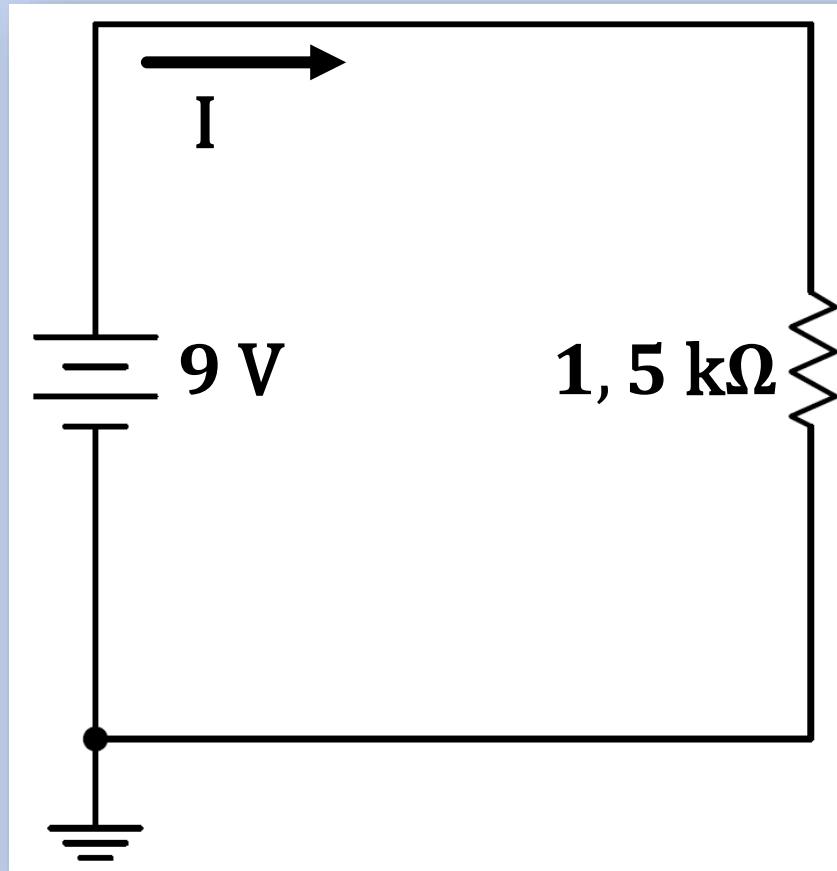
# CIRCUITOS ELETRÔNICOS

- **Exercício:** Calcule a tensão da bateria necessária para que passe uma corrente de 2 mA pelo resistor do circuito abaixo.



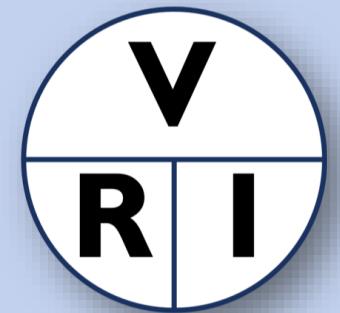
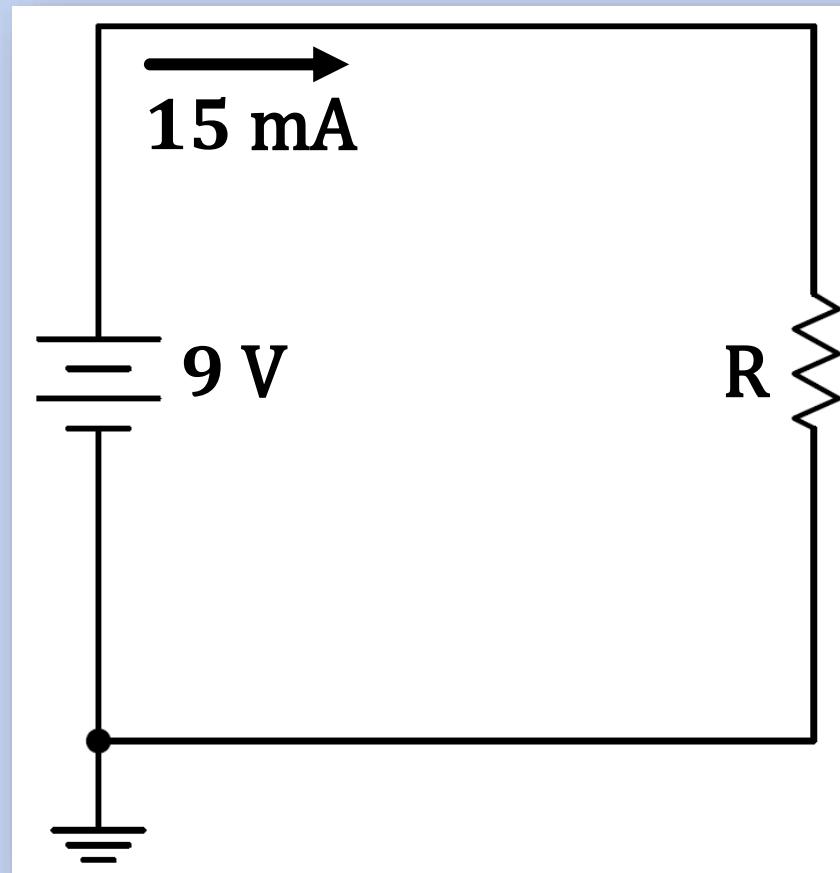
# CIRCUITOS ELETRÔNICOS

- Exercício: Calcule a corrente do circuito abaixo.



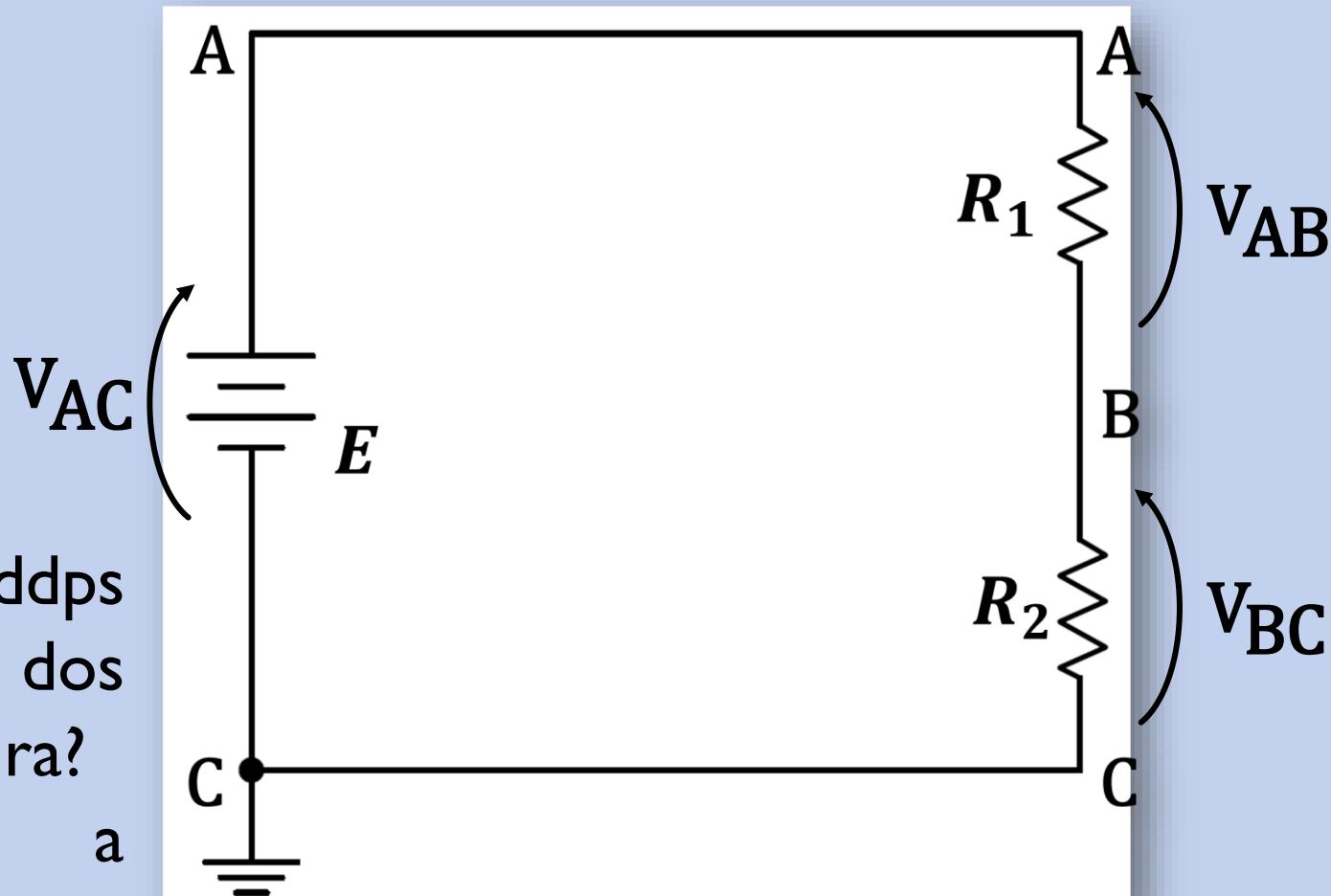
# CIRCUITOS ELETRÔNICOS

- **Exercício:** Calcule o valor do resistor necessário para que a corrente do circuito abaixo seja 15 mA.



# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

# POTENCIAL ELÉTRICO

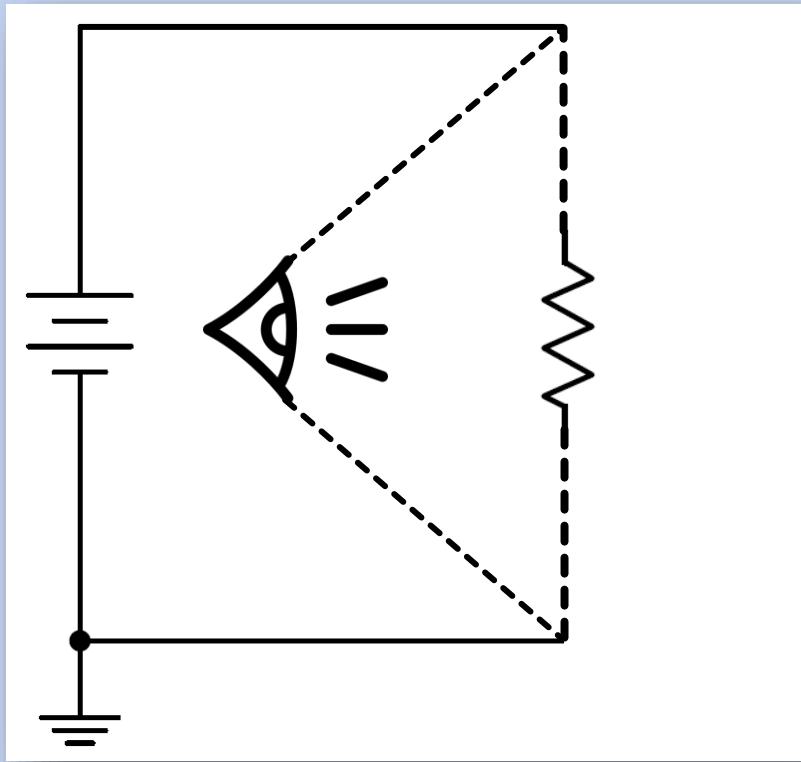


Qual seriam as ddps sobre cada um dos resistores da figura?

Qual seria a corrente total do circuito?

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

- Uma fonte de tensão não enxerga cada carga individualmente, mas sim uma única carga representando todo o circuito.



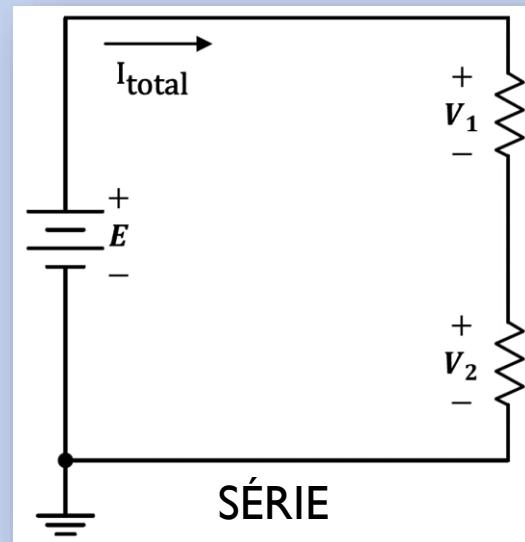
Da mesma forma como uma balança não pode diferenciar o peso individual de cada pessoa, a fonte de tensão não consegue diferenciar as resistências individualmente e fornece a corrente elétrica necessária para alimentar a carga total do circuito, chamada de **resistência total** ou **resistência equivalente**.



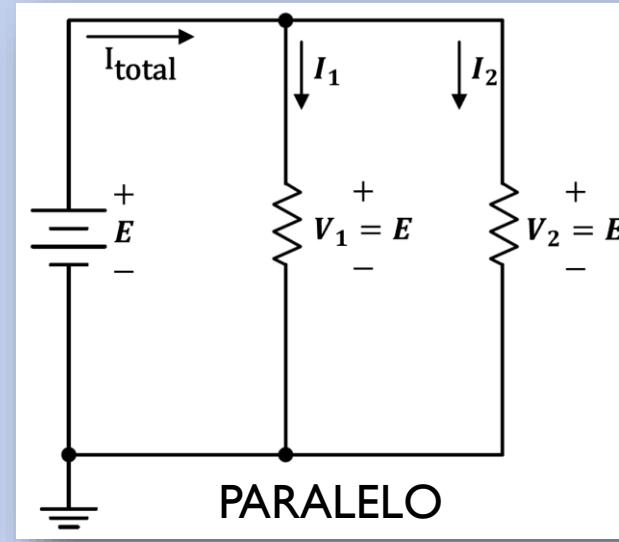
210 kg

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

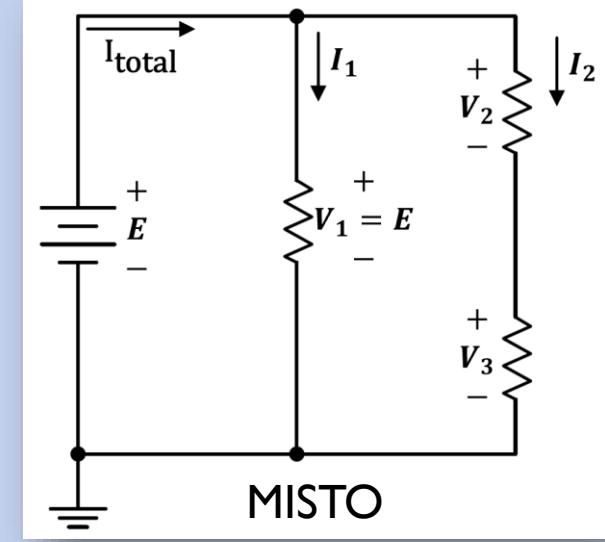
- Resistores podem ser associados de três formas:
  - **Série:** são percorridos pela mesma corrente e dividem a tensão elétrica.
  - **Paralelo:** cada um é percorrido por uma parte da corrente total e compartilham a mesma tensão.
  - **Misto:** uma mistura das associações em série e paralelo.



SÉRIE



PARALELO



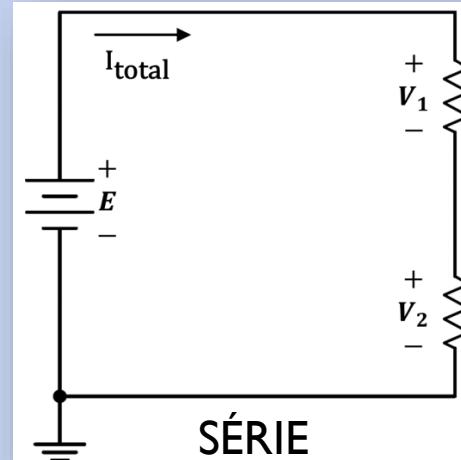
MISTO

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

- Na resistência equivalente série, os resistores são percorridos pela mesma corrente e dividem a tensão sobre eles.
- A fonte de alimentação “enxerga” apenas um resistor cujo valor é a soma dos valores individuais dos resistores.

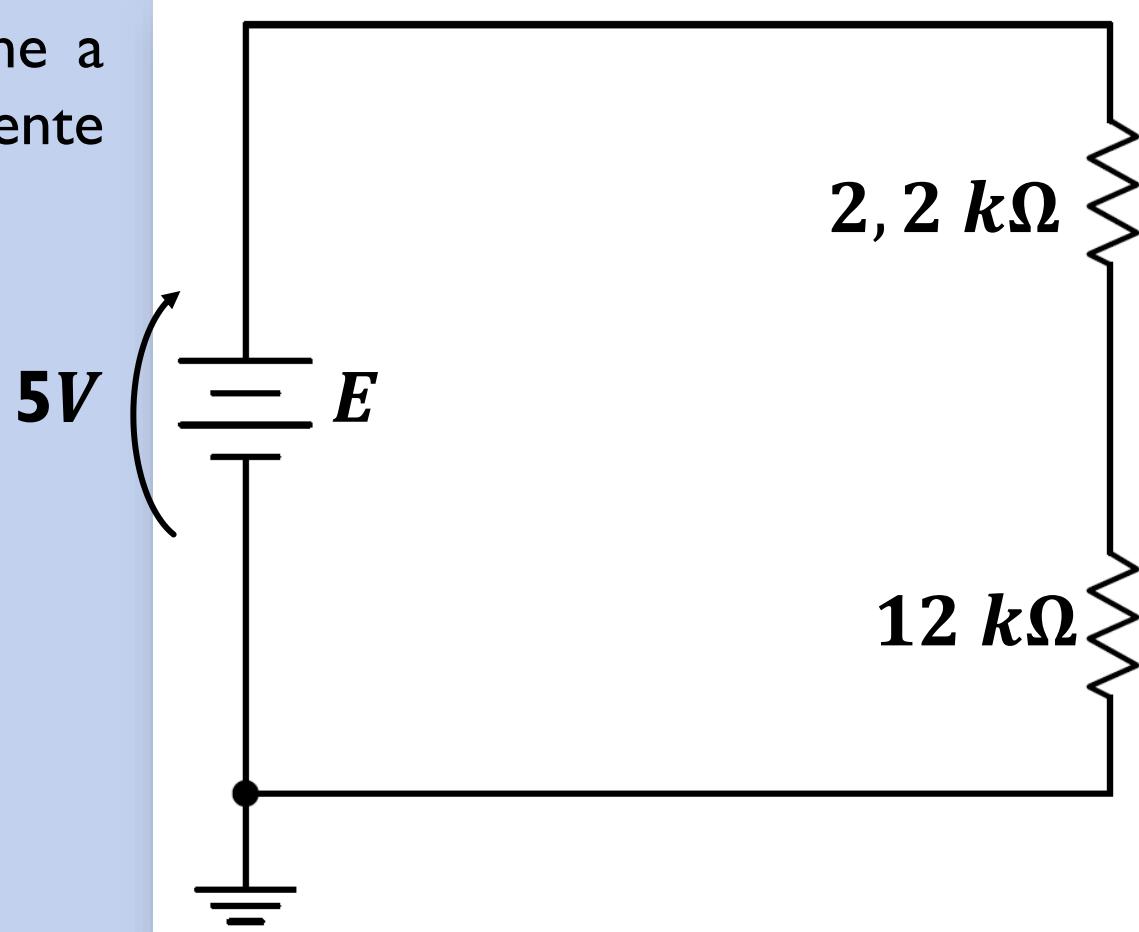
$$R_{EQ(\text{série})} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

Onde  $N$  é a quantidade de resistores na associação série.

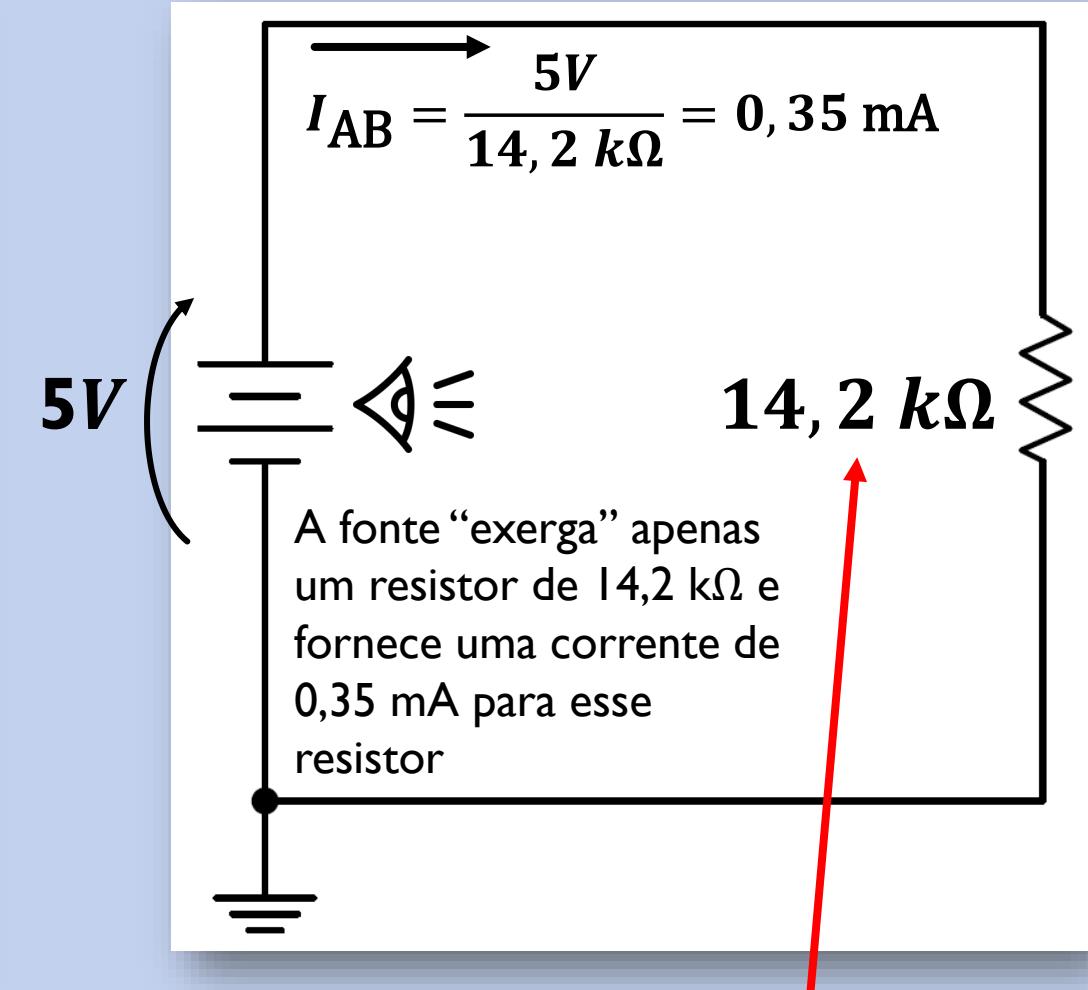
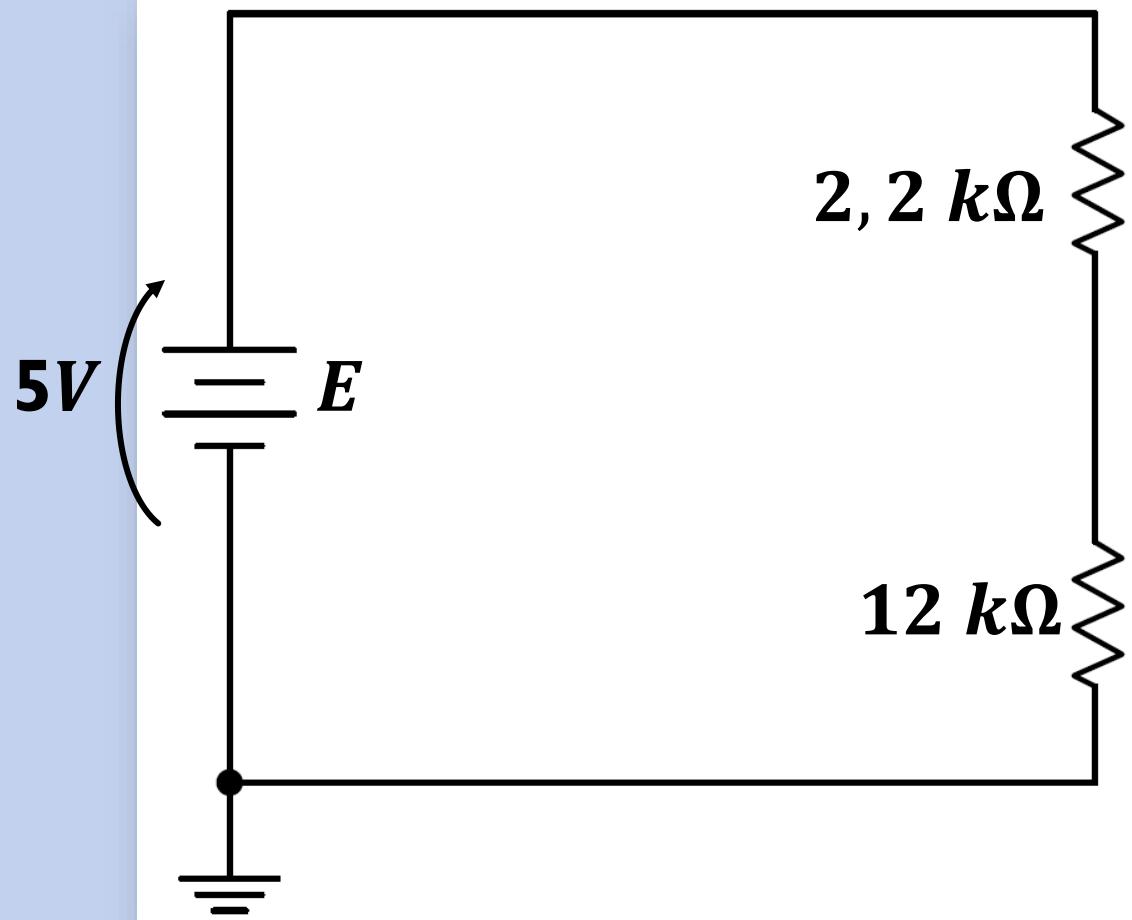


# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

**Exemplo:** determine a resistência equivalente do circuito.



# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE



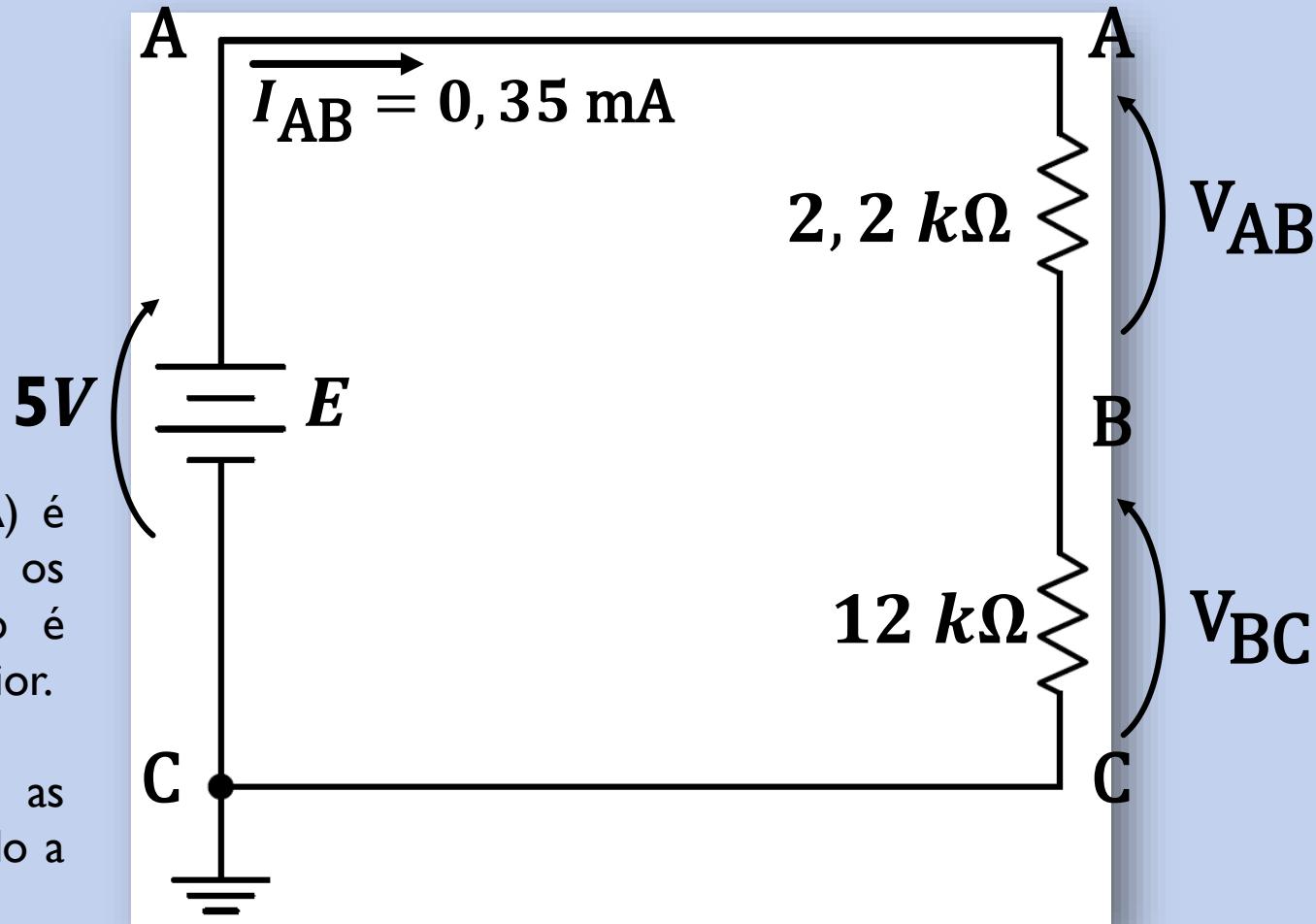
Resistência equivalente série:  $R_T = R_1 + R_2 = 2,2\text{ k}\Omega + 12\text{ k}\Omega = 14,2\text{ k}\Omega$

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

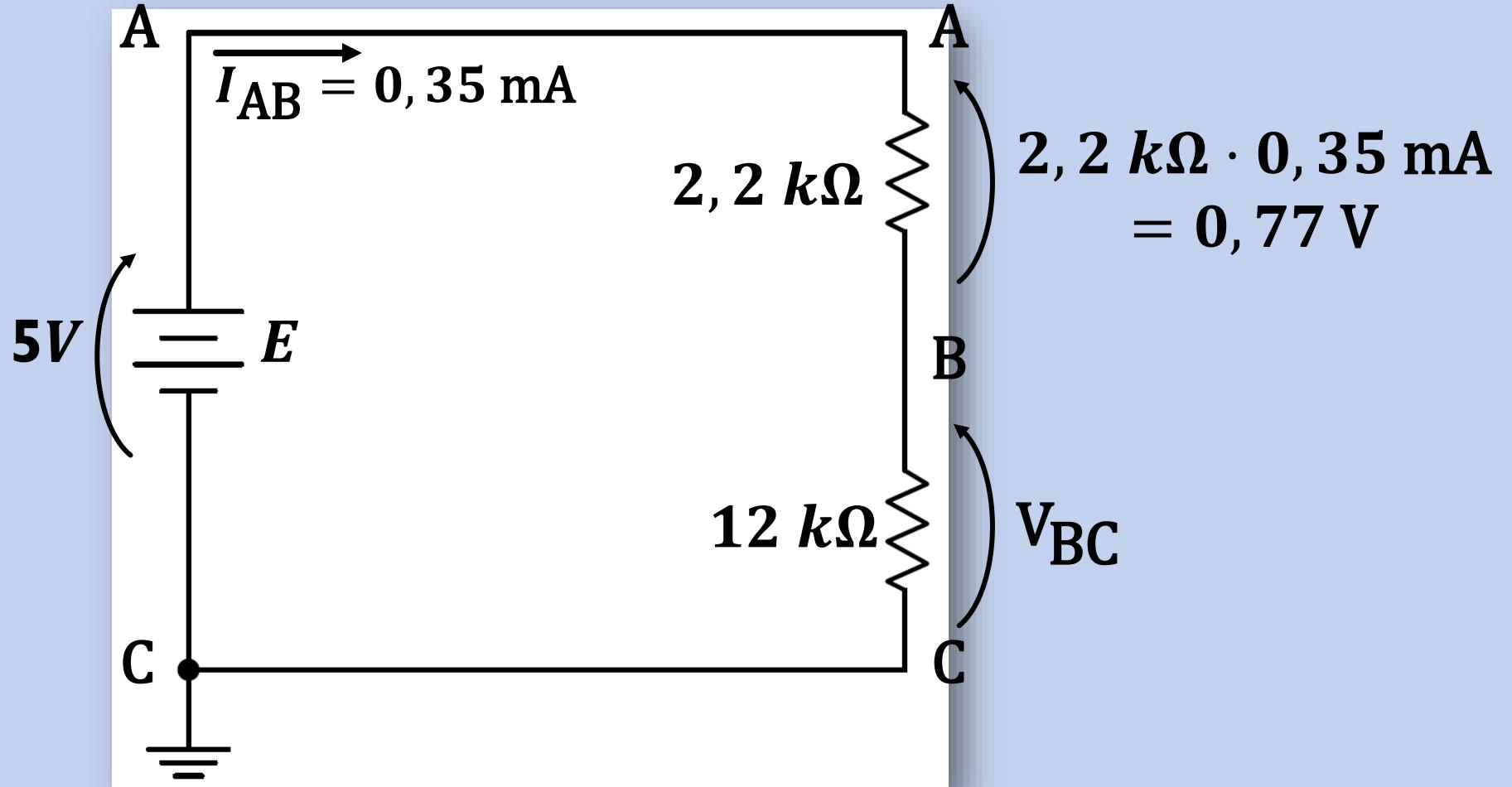
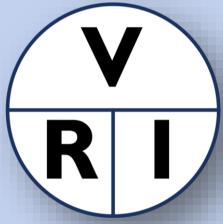


A corrente total ( $0,35\text{ mA}$ ) é fornecida para ambos os resistores, pois o circuito é equivalente ao circuito anterior.

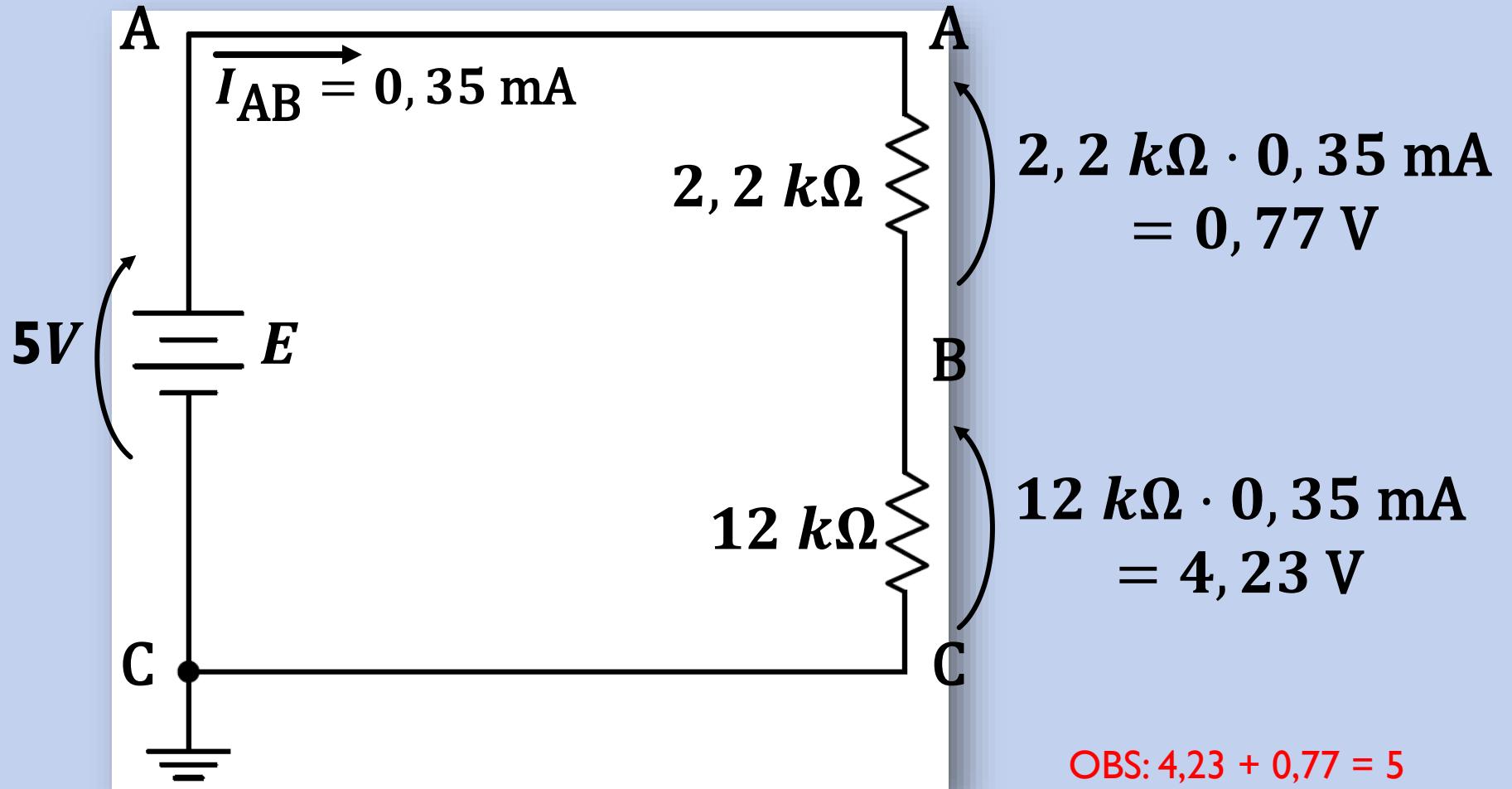
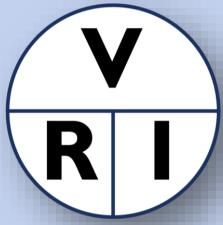
Agora podemos descobrir as ddp em cada resistor usando a Lei de Ohm.



# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE



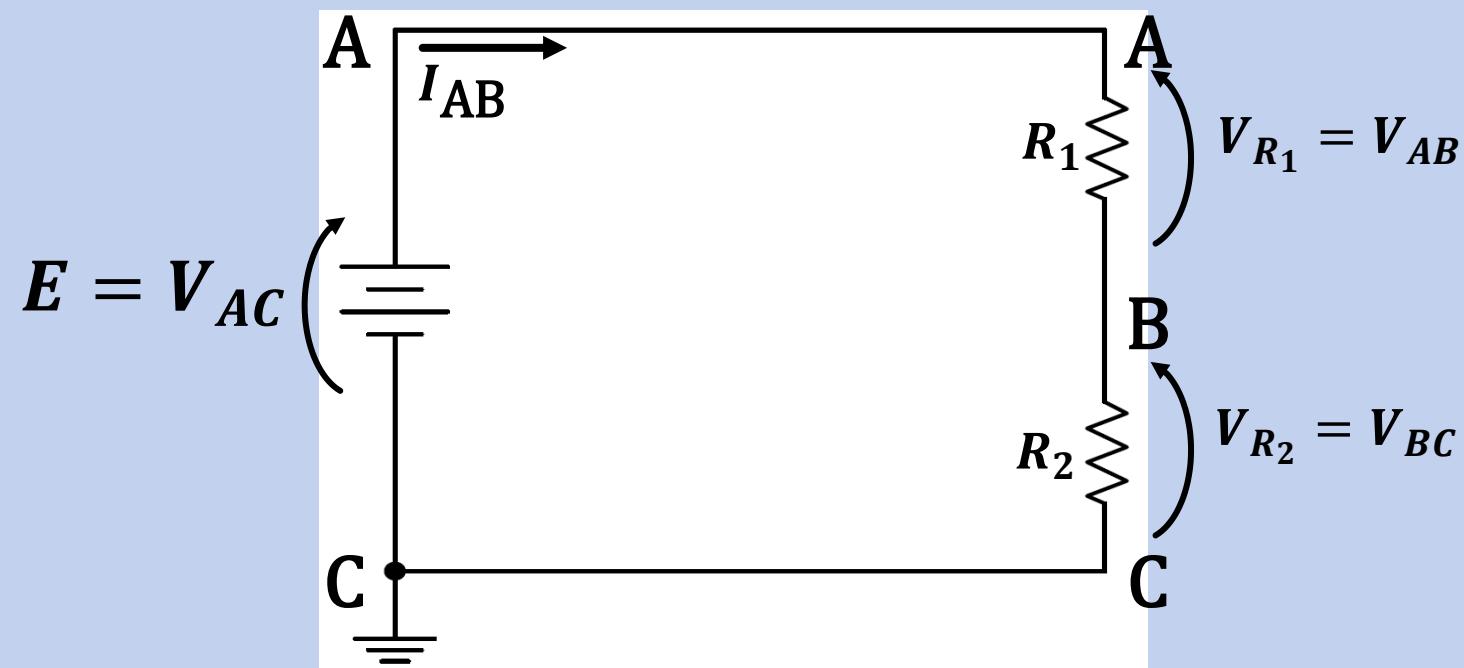
# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE



# DIVISOR DE TENSÃO

## DIVISOR DE TENSÃO

- Observando o circuito anterior, percebemos que a tensão total foi distribuída entre os resistores de carga em função de sua resistência. Quanto maior a resistência, mais tensão recebe da fonte. Por essa razão, esse circuito é conhecido como circuito **divisor de tensão** e é muito utilizado para reduzir o nível de tensão em circuitos eletrônicos.



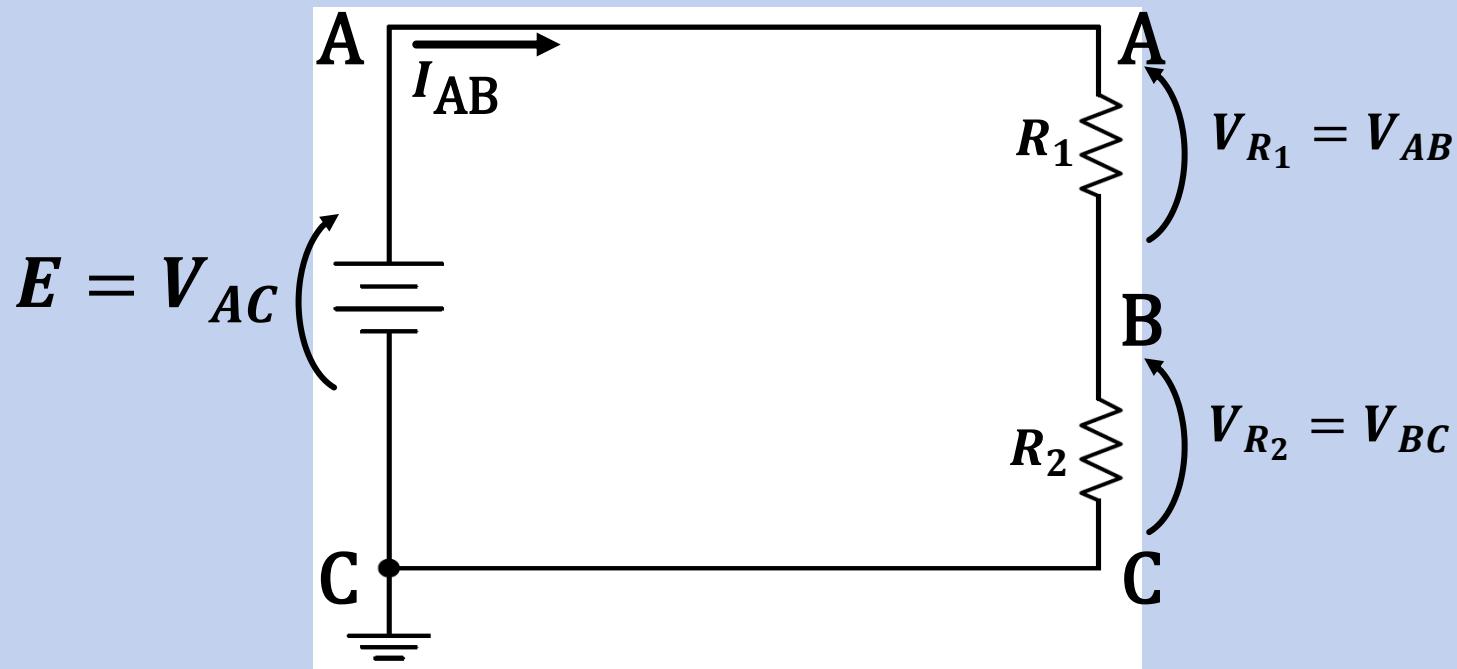
# DIVISOR DE TENSÃO

- Vamos calcular a tensão em  $R_2$ .

$$V_{R_2} = V_{BC} = R_2 \cdot I_{AB}$$

- Mas  $I_{AB}$  já foi calculada como

$$I_{AB} = \frac{E}{R_{EQ}} = \frac{E}{R_1 + R_2}$$



Então, substituindo a equação de  $I_{AB}$  na equação de  $V_{R_2}$ , obtemos:

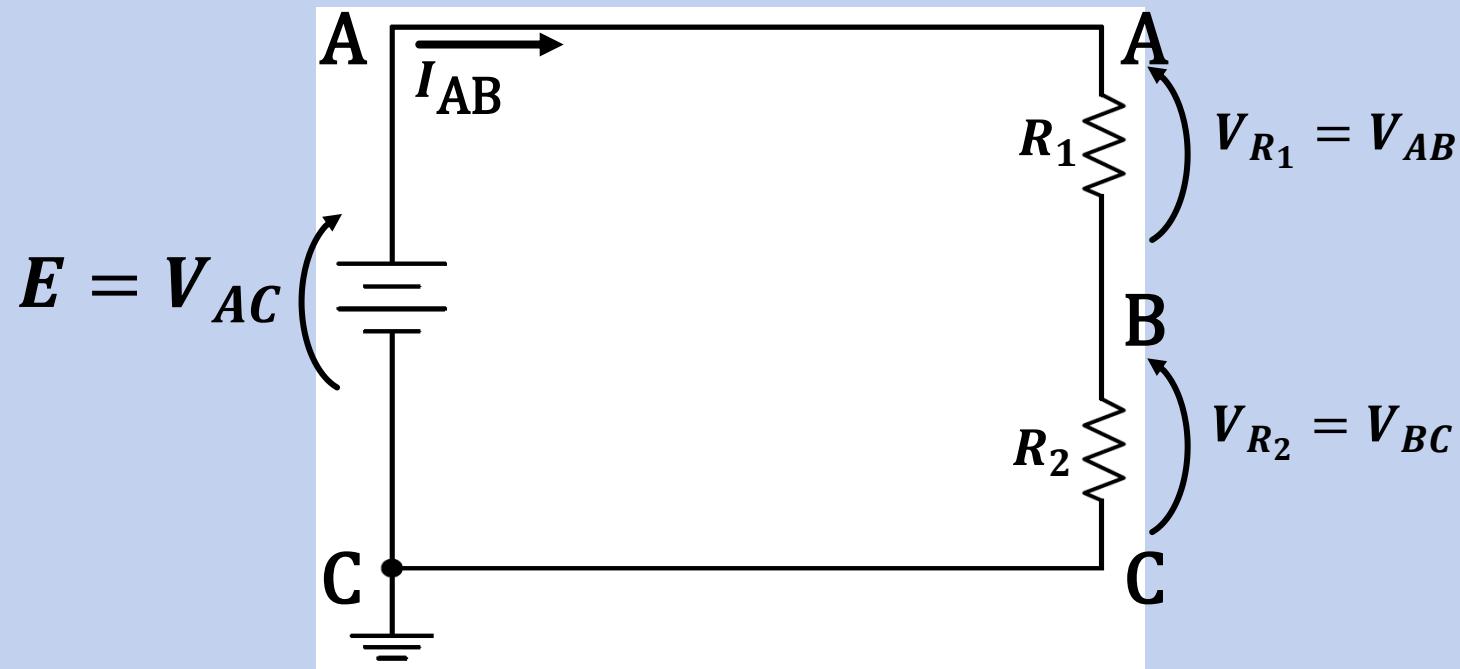
$$V_{R_2} = R_2 \cdot \frac{E}{R_1 + R_2}$$

Escrevendo de outra forma:

$$\textcolor{red}{V_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E}$$

## DIVISOR DE TENSÃO

- Essa fórmula descreve o **cálculo do divisor de tensão**. Conhecendo os valores dos resistores  $R_1$  e  $R_2$  e a tensão de alimentação  $E$ , podemos calcular diretamente a tensão sobre o resistor  $R_2$  sem precisar calcular a corrente.



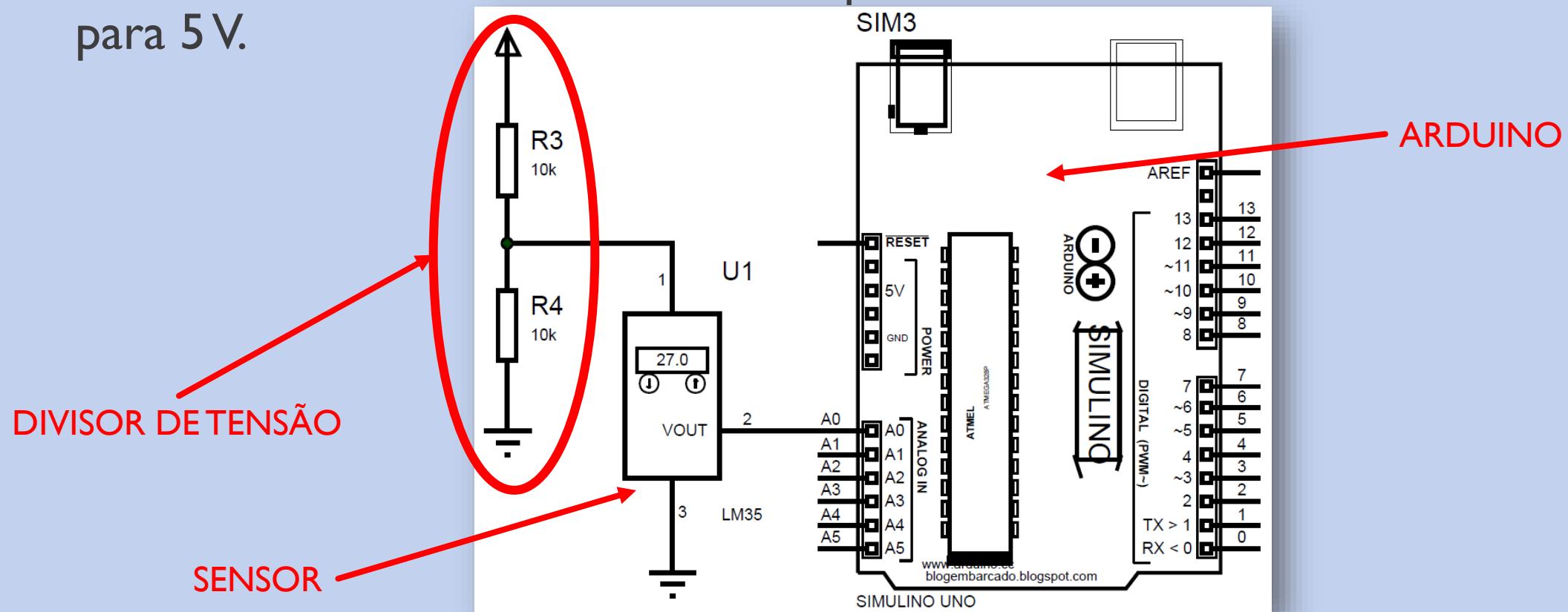
$$V_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$$

O mesmo serve para o resistor  $R_1$ , apenas trocando o  $R_2$  do numerador por  $R_1$ :

$$V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot E$$

# DIVISOR DE TENSÃO

- Por exemplo, considere que desejamos utilizar um sensor de temperatura LM35 como mostrado no diagrama esquemático abaixo. Temos disponível uma bateria de 12 V, mas o sensor disponível suporta apenas 5 V. Podemos então utilizar o circuito divisor de tensão para reduzir a tensão da bateria de 12 V para 5 V.



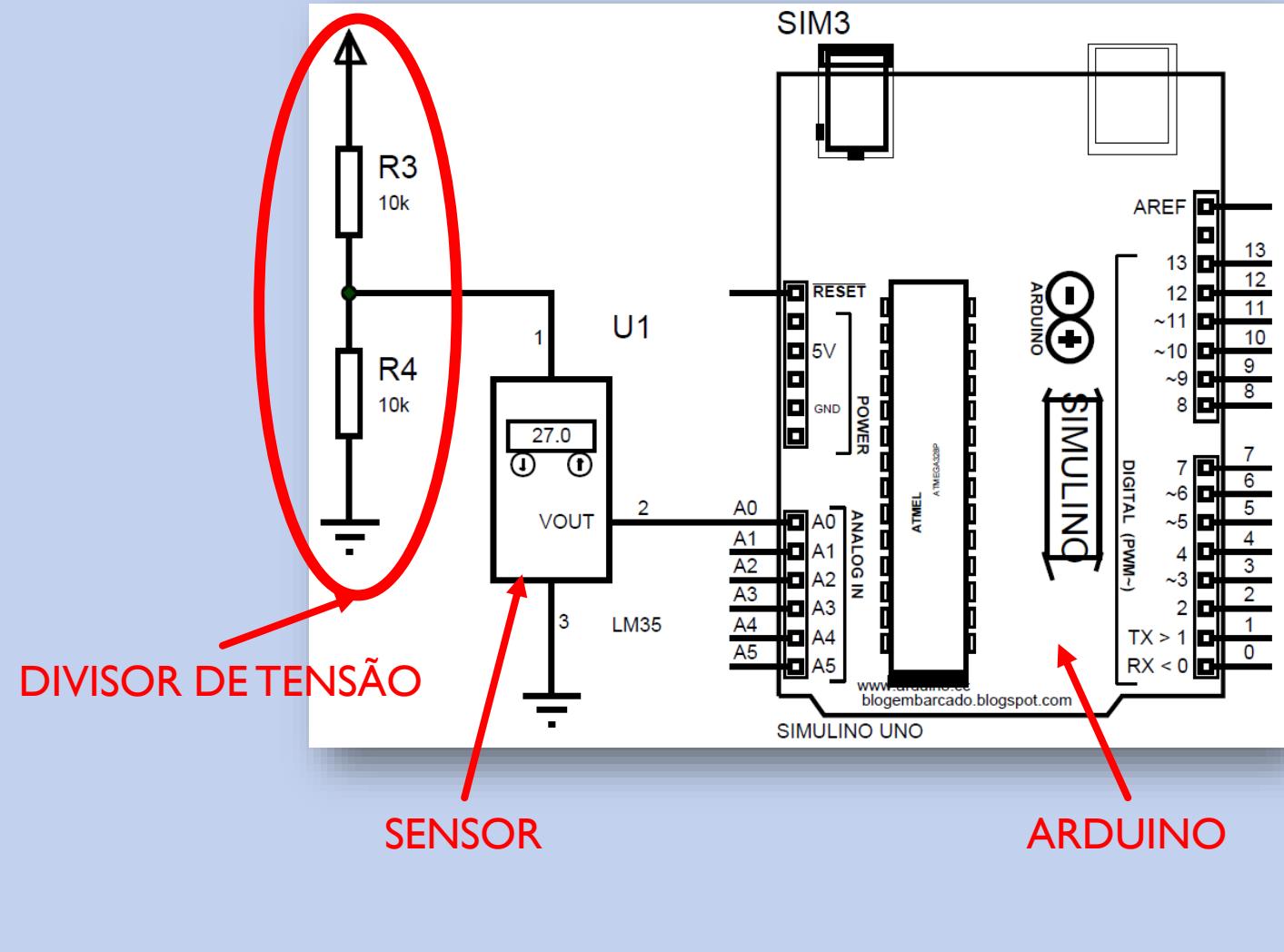
# DIVISOR DE TENSÃO

- Nesse caso,  $E = 12 \text{ V}$  e  $V_{R4} = 5 \text{ V}$ . Precisamos descobrir os valores de  $R_3$  e  $R_4$ .

$$V_{R4} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot E$$

- Organizando essa expressão, podemos encontrar:

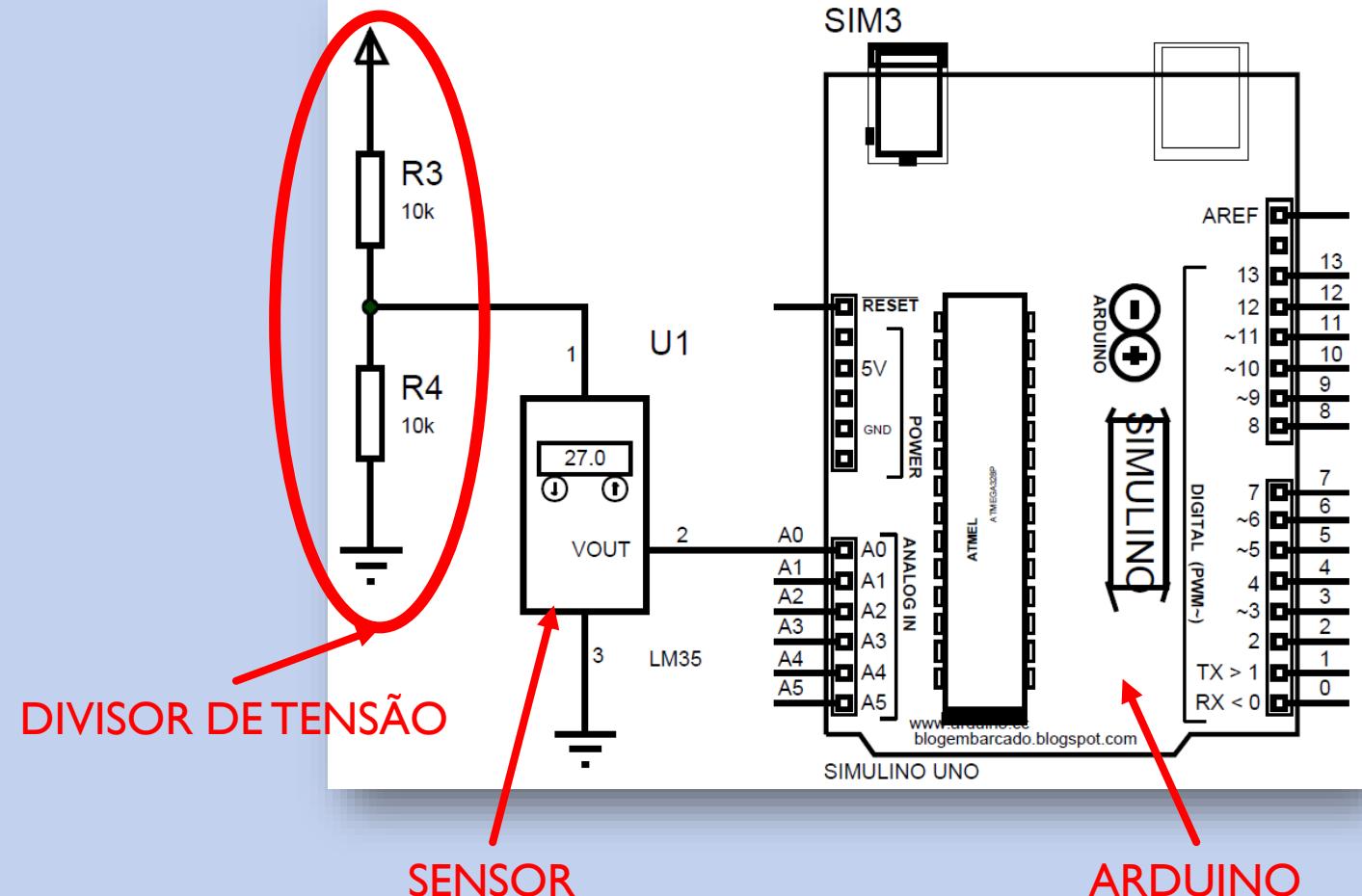
$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{E - V_{R4}}{V_{R4}} = \frac{12 - 5}{5} = 1,4$$



# DIVISOR DE TENSÃO

- Isso significa que os resistores devem ter uma proporção de 1 para 1,4, ou seja, o resistor  $R_3$  deve ser 1,4 vezes maior do que  $R_4$ . Podemos então escolher quaisquer valores comerciais de resistência que respeitem essa relação.

$$R_3 = 1,4R_4$$



## DIVISOR DE TENSÃO

- Analizando uma tabela de valores comerciais de resistores, observamos que é possível utilizar dois resistores de 1,6 kΩ e 2,2 kΩ, para os resistores  $R_4$  e  $R_3$ , respectivamente.

$$1,6 \text{ k}\Omega \cdot 1,4 = 2,24 \text{ k}\Omega$$

- São escolhidos resistores da ordem de kΩ pois limitam a correntes baixas, protegendo os componentes do circuito.

Resistores Comerciais			
1.0 Ω	1.1 Ω	1.2 Ω	1.3 Ω
1.5 Ω	1.6 Ω	1.8 Ω	2.0 Ω
2.2 Ω	2.4 Ω	2.7 Ω	3.0 Ω
3.3 Ω	3.6 Ω	3.9 Ω	4.3 Ω
4.7 Ω	5.1 Ω	5.6 Ω	6.2 Ω
6.8 Ω	7.5 Ω	8.2 Ω	9.1 Ω

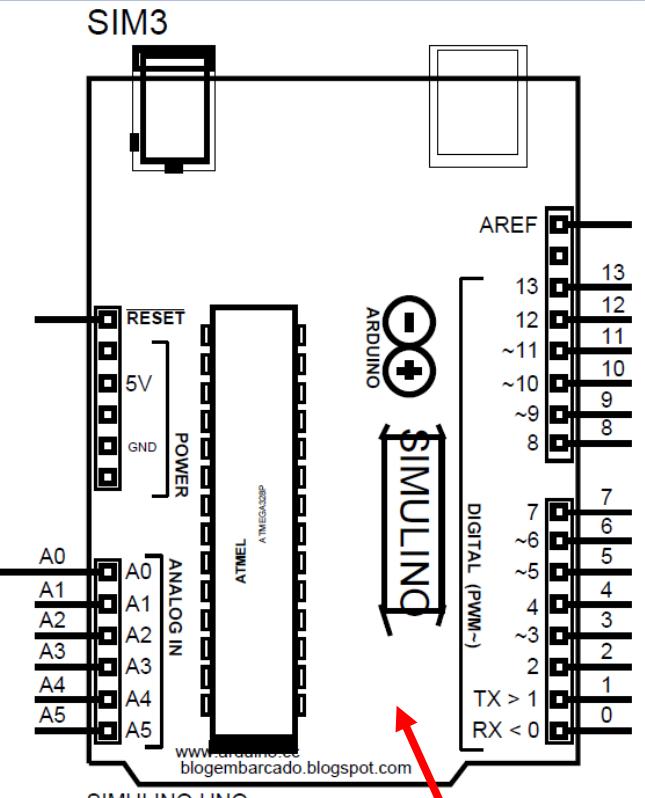
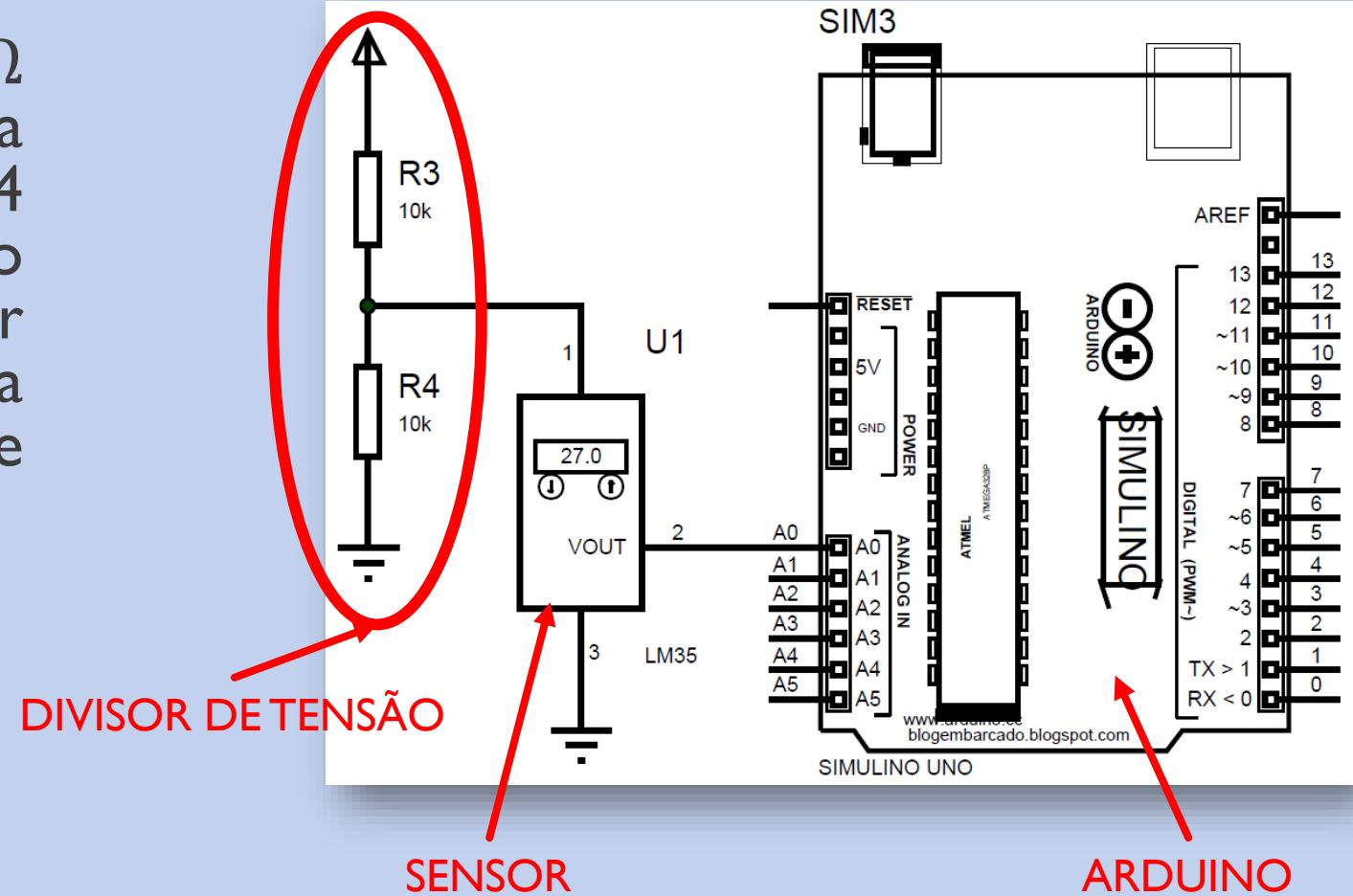
Para encontrar os demais valores basta multiplicar por  $10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ .

# DIVISOR DE TENSÃO

- Então, utilizando  $R_3 = 2,2\text{ k}\Omega$  e  $R_4 = 1,6\text{ k}\Omega$ , como a relação não é exatamente 1,4 ( $2,2/1,6 = 1,375$ ), a tensão de alimentação para o sensor será diferente. De fato, a tensão de saída do divisor de tensão será:

$$V_{R4} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot E$$
$$= \frac{1,6\text{ k}\Omega}{2,2\text{ k}\Omega + 1,6\text{ k}\Omega} \cdot 12\text{ V}$$

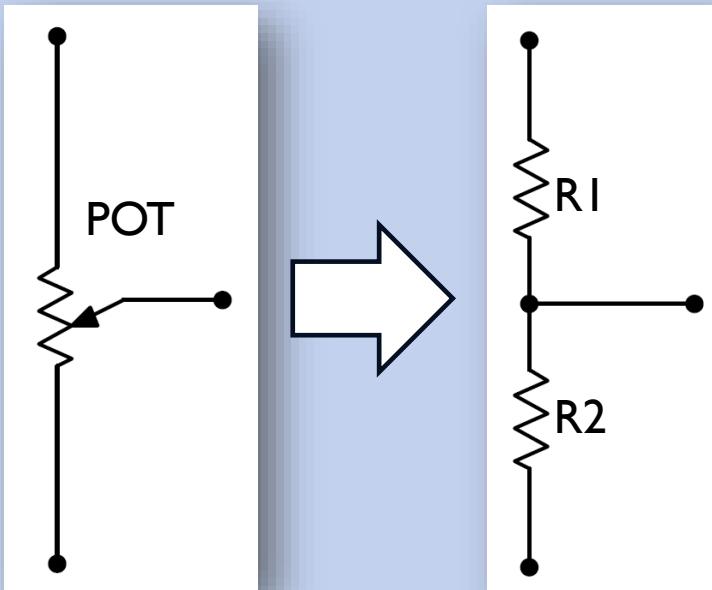
$$V_{R4} = 5,05\text{ V}$$



ARDUINO

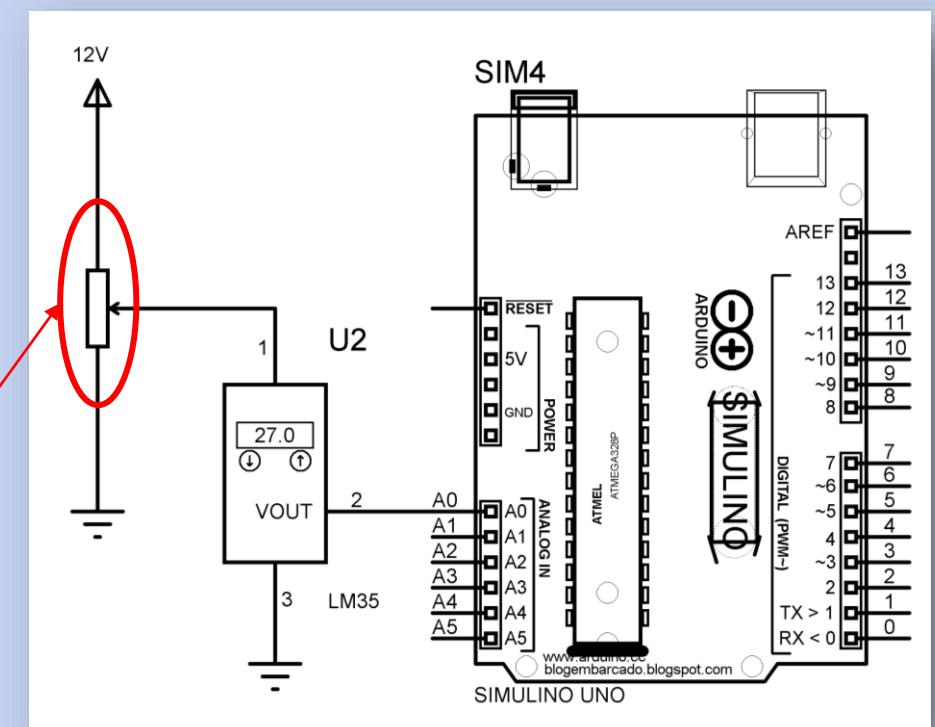
# DIVISOR DE TENSÃO

- O potenciômetro visto anteriormente funciona como dois resistores variáveis em série, dessa forma, pode ser utilizado como um divisor de tensão em um único componente. Basta mover o cursor até obter a tensão desejada no terminal central.
- Isso permite ajustar a tensão de saída dinamicamente, possibilitando controlar cargas como a intensidade de luminosidade de um LED ou a velocidade de um motor cc, por exemplo.



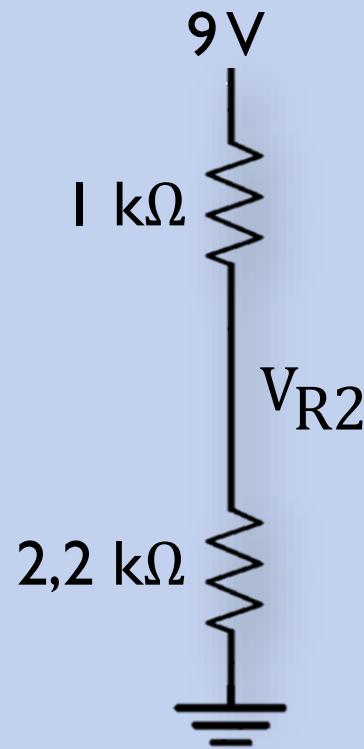
- Se  $R_1$  aumenta,  $R_2$  diminui
- Se  $R_2$  aumenta,  $R_1$  diminui
- $R_1+R_2=POT$

Uso do potenciômetro como divisor de tensão



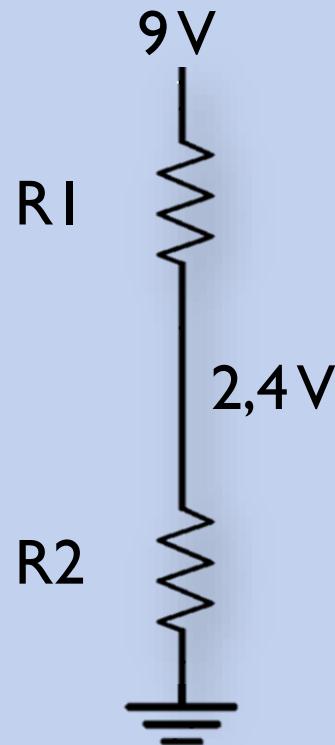
## DIVISOR DE TENSÃO

- **Exercício:** Considere um circuito divisor de tensão alimentado por 9 V formado por dois resistores  $R_1$  e  $R_2$  de  $1\text{ k}\Omega$  e  $2,2\text{ k}\Omega$ , respectivamente. Calcule a tensão sobre o resistor  $R_2$  utilizando o método do divisor de tensão.



## DIVISOR DE TENSÃO

- Exercício:** Considere um circuito divisor de tensão alimentado por 9 V formado por dois resistores R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub>, respectivamente. Calcule o valor dos resistores para que a tensão no resistor R<sub>2</sub> seja aproximadamente igual a 2,4V. Utilize a tabela de valores comerciais de resistores e escolha resistores da ordem de kΩ.



Resistores Comerciais			
1.0 Ω	1.1 Ω	1.2 Ω	1.3 Ω
1.5 Ω	1.6 Ω	1.8 Ω	2.0 Ω
2.2 Ω	2.4 Ω	2.7 Ω	3.0 Ω
3.3 Ω	3.6 Ω	3.9 Ω	4.3 Ω
4.7 Ω	5.1 Ω	5.6 Ω	6.2 Ω
6.8 Ω	7.5 Ω	8.2 Ω	9.1 Ω

Para encontrar os demais valores basta multiplicar por  $10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ .

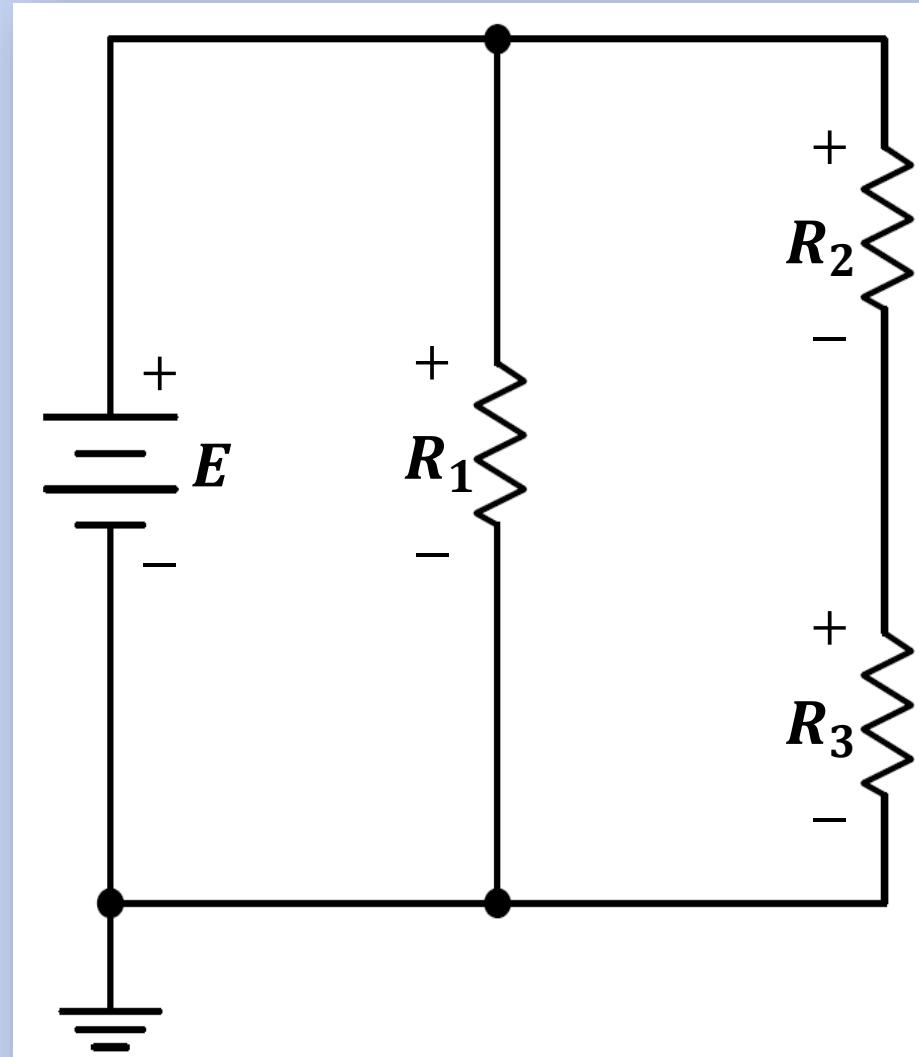
# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- O divisor de tensão se baseia na Lei das tensões de Kirchhoff. Essa lei determina a relação entre as tensões em um circuito fechado.
- Observe o circuito ao lado: bateria fornece uma tensão ao circuito e essa tensão é distribuída entre os componentes do circuito. Quando um componente causa o aumento de tensão, como uma bateria, ela é chamada de **elevador de tensão**. Os componentes que consomem tensão são chamados de **quedas de tensão**. A Lei de Kirchhoff determina que a soma das elevações subtraída da soma das quedas de tensão em um caminho fechado dentro de um circuito é sempre igual a zero.

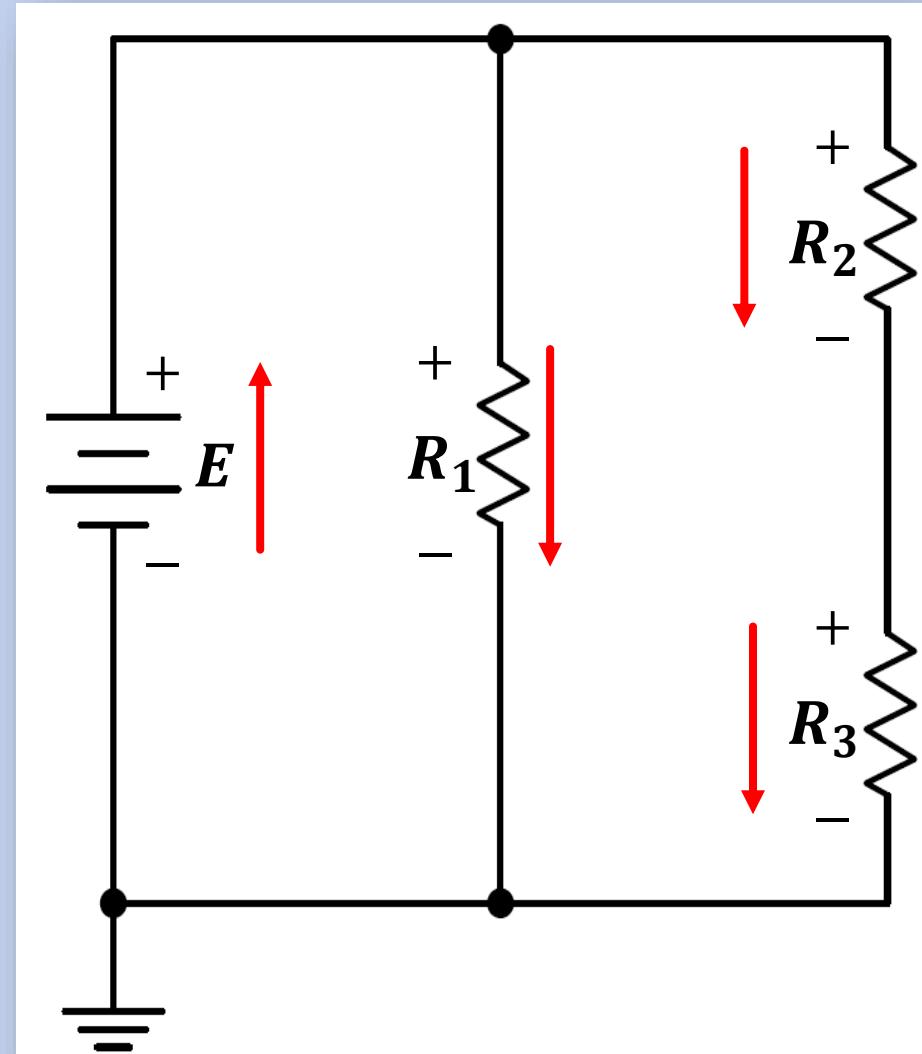
$$\text{soma das } V_{\text{elevações}} - \text{soma das } V_{\text{quedas}} = 0$$

- As **elevações** tem **sinal positivo** e as **quedas** tem **sinal negativo**.



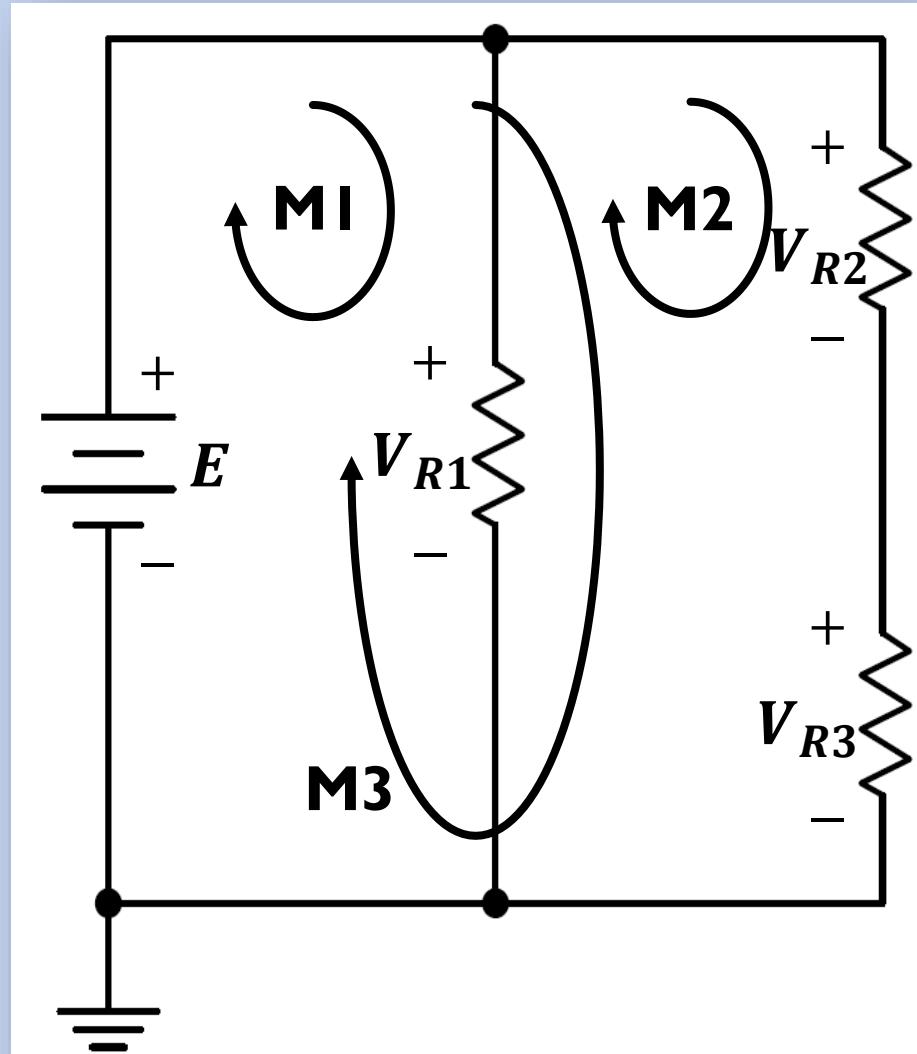
# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- Nas análises por LTK, as **elevações** tem **sinal positivo** e as **quedas** tem **sinal negativo**.
- Perceba o sentido da corrente em cada componente quando imaginamos que ela circula no **sentido horário**.
- Se a **corrente** passar em um componente no sentido *do negativo para o positivo*, esse componente será considerado como **elevação de tensão** na análise.
- Se a **corrente** passar em um componente no sentido *do positivo para o negativo*, esse componente será considerado como **queda de tensão** na análise.
- Isso é chamado de **polarização**.



## LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

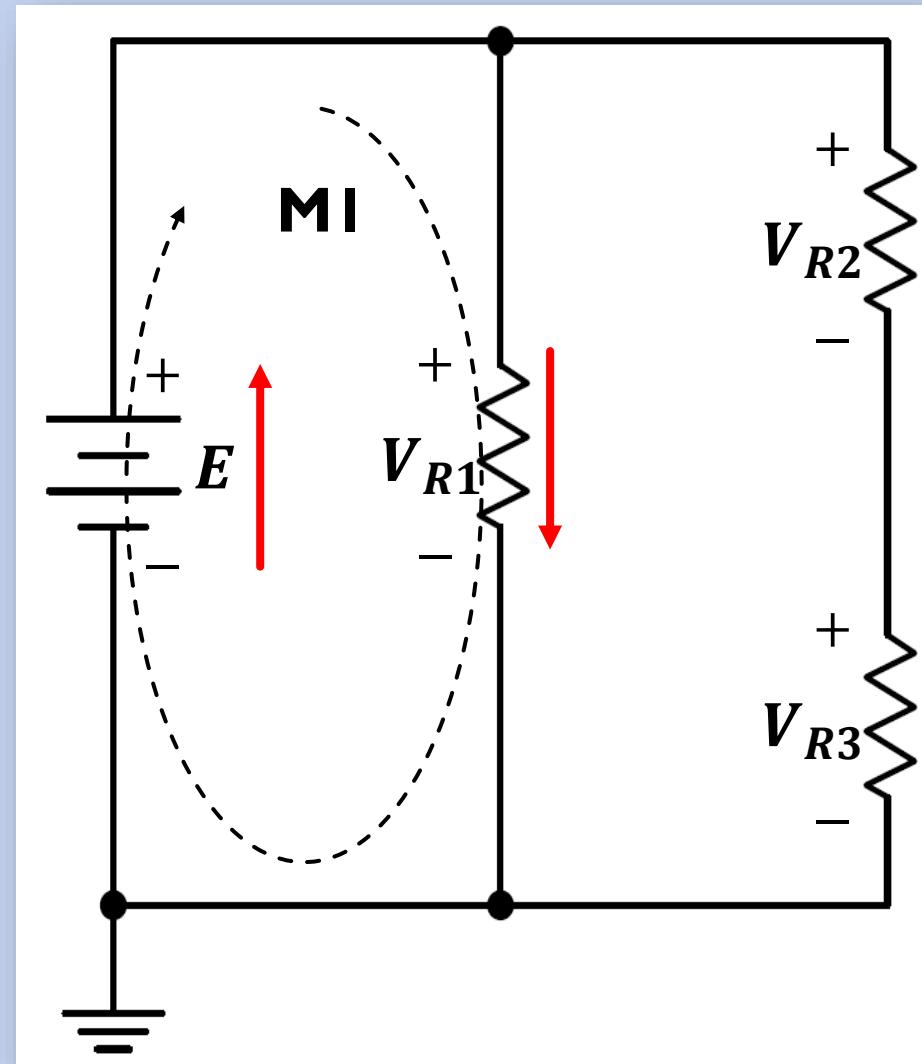
- No caso do circuito ao lado, observe que a única elevação de tensão é a bateria. Os demais componentes (resistores) são quedas de tensão.
- Partindo de um nó qualquer, qualquer trajetória (caminho) partindo desse nó e voltando a ele é chamada de **malha fechada**.
- Vamos chamar as malhas de **malha 1 (M1)**, **malha 2 (M2)** e **malha 3 (M3)** a malha externa passando pela fonte E e os resistores R2 e R3.



# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- Adotamos o sentido horário para esta análise. Alterar o sentido da análise altera apenas o sinal do resultado final. Se o sentido escolhido for incorreto, o resultado terá sinal negativo.
- Na malha I (MI), existe apenas uma elevação de tensão (E) e uma queda de tensão (RI), portanto:

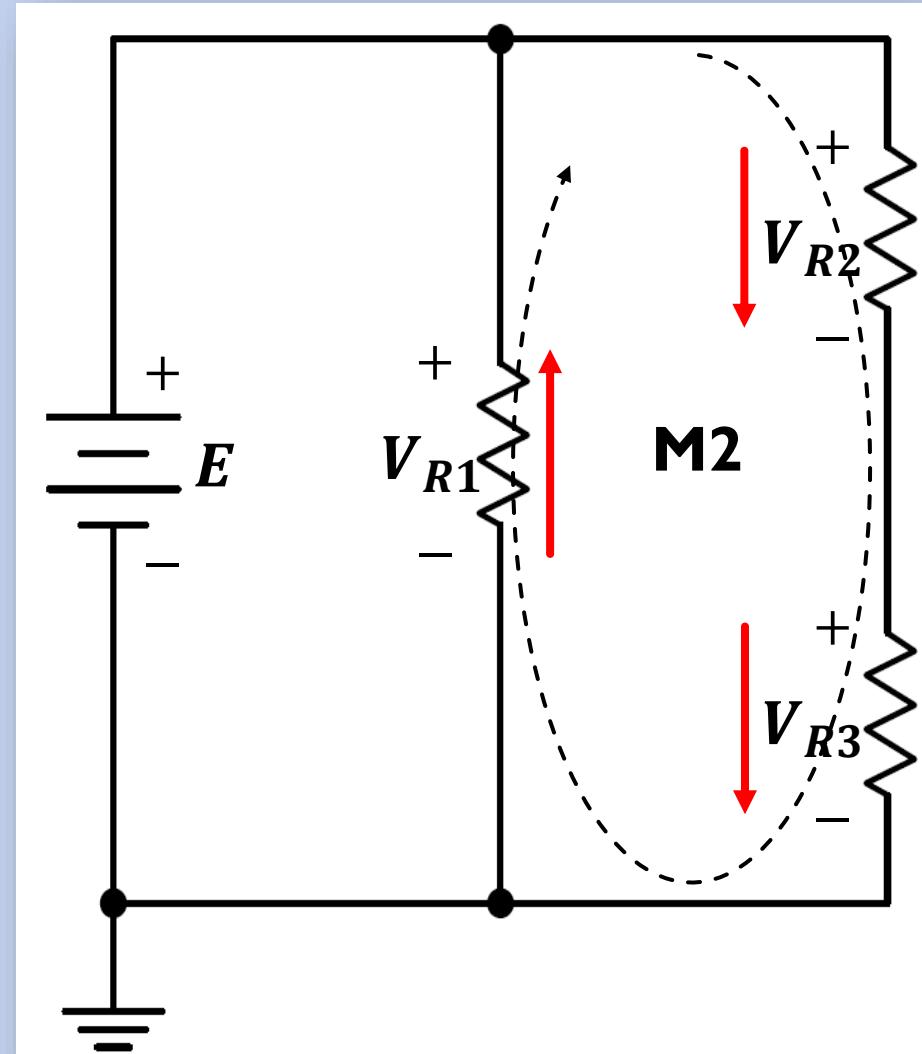
$$+E - V_{R1} = 0 \Rightarrow E = V_{R1}$$



## LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- Na malha 2 (M2), existem apenas quedas de tensão, mas observe que a polarização (sinais de + e -) do resistor R1 é oposta em relação aos resistores R2 e R3 no sentido horário (perceba que a polarização do resistor é a mesma da fonte de alimentação). Dessa forma, o resistor R1 deve ser considerado (apenas para efeito de análise) como uma elevação de tensão nesse caso, logo:

$$V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0 \Rightarrow V_{R1} = V_{R2} + V_{R3}$$

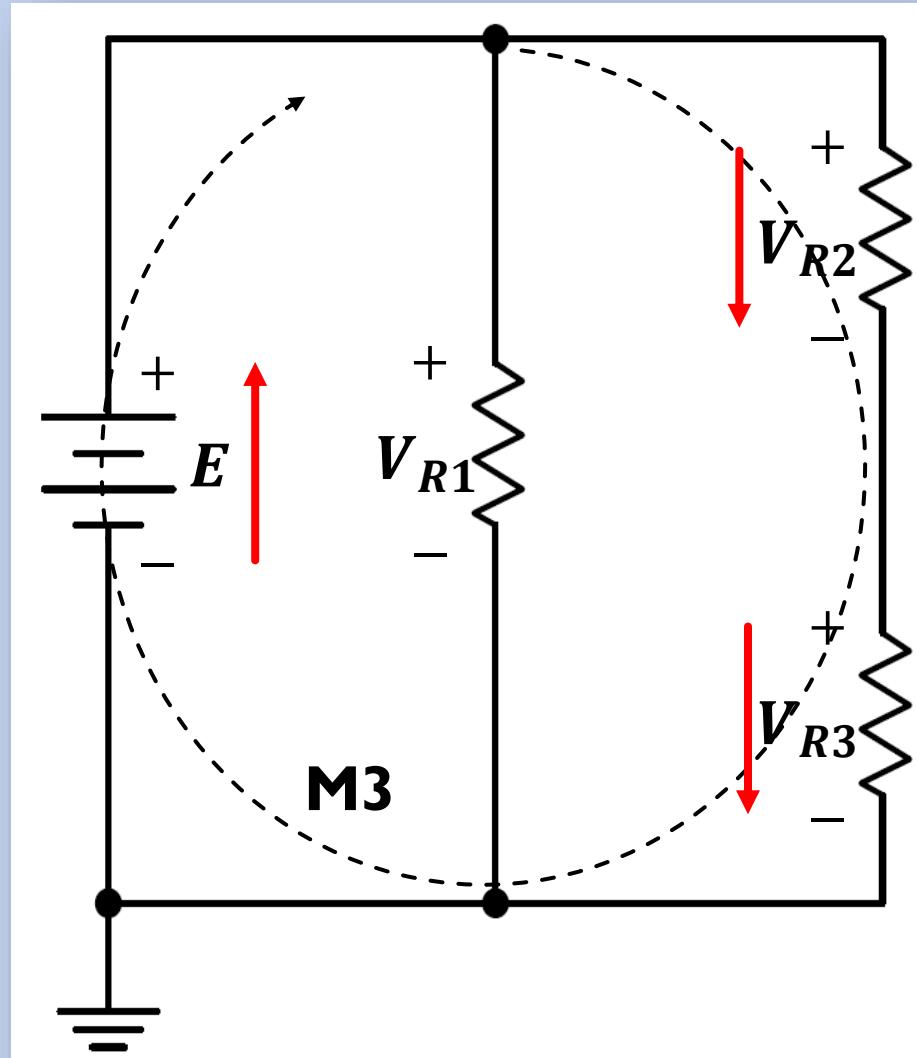


# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- Na malha 3 (M3) existe uma elevação de tensão (E) e duas quedas de tensão (R2 e R3). Então:

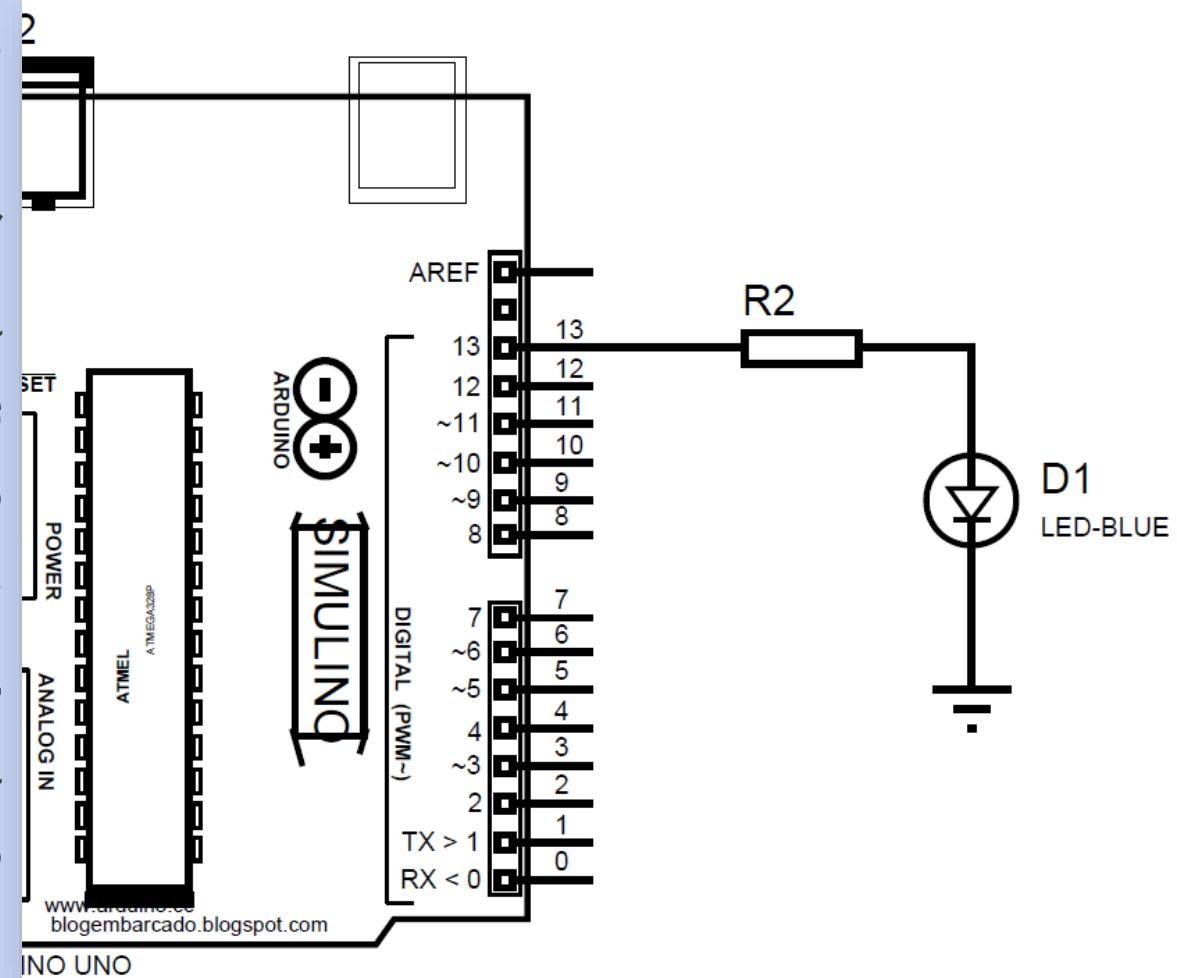
$$E - V_{R2} - V_{R3} = 0 \Rightarrow E = V_{R2} + V_{R3}$$

- Utilizando essa análise, é possível determinar as tensões do circuito sem precisar calcular resistência equivalente ou correntes. Acompanhe o exemplo a seguir.



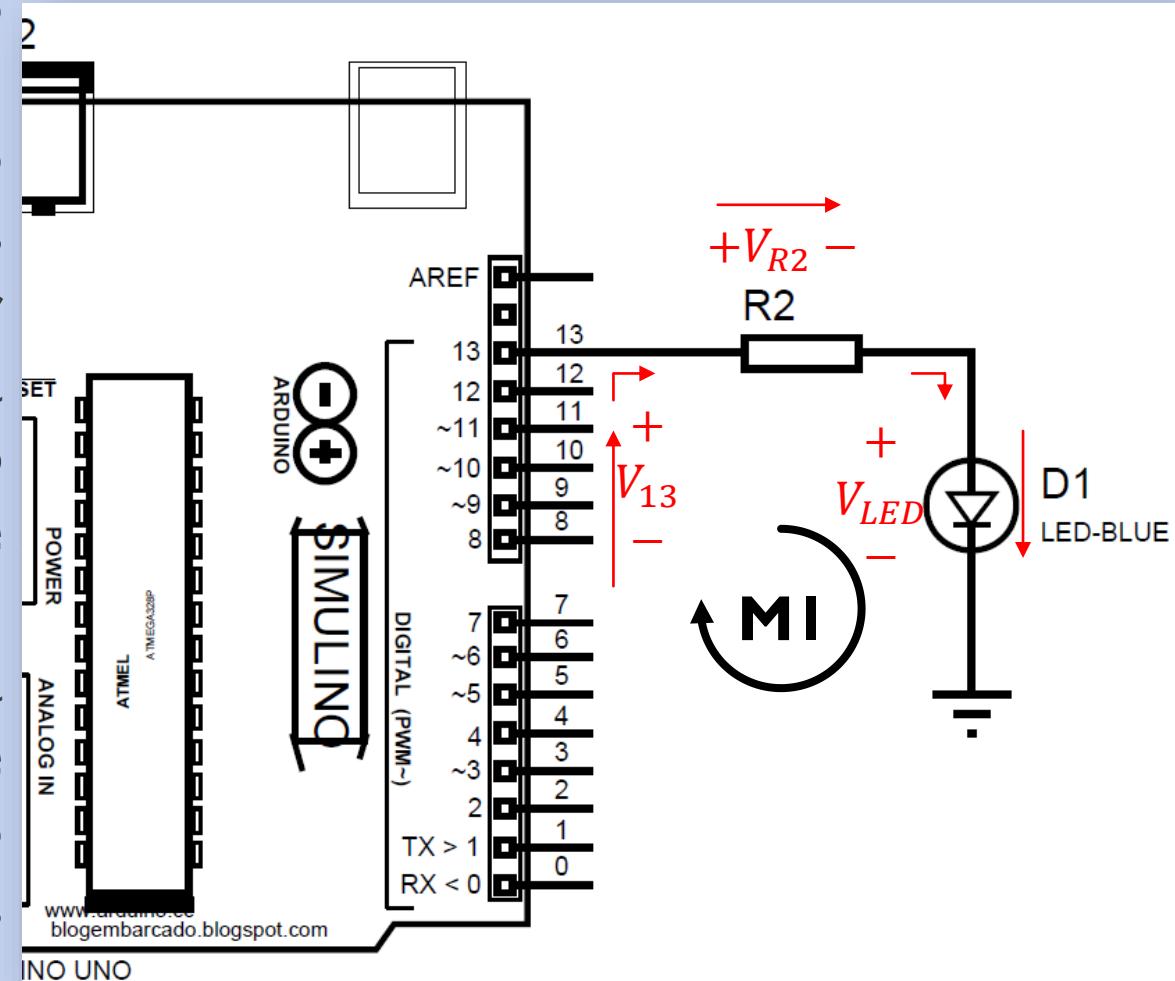
# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- **Exemplo:** Considere o circuito mostrado na figura a seguir. Um Arduino é utilizado para acionar um LED. O LED consome uma tensão de 2 V e uma corrente de 10 mA. A tensão de saída do pino digital do Arduino é de 5 V. Calcule a tensão sobre o resistor R2 utilizando a lei de Kirchhoff para tensões e determine o valor do resistor R2 utilizando a lei de Ohm.



# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- Solução: A tensão no pino 13 do Arduino, o resistor R<sub>2</sub> e o LED formam uma malha em relação ao terra (GND), portanto, podemos determinar a tensão sobre o resistor R<sub>2</sub> utilizando a lei de Kirchhoff para tensões. A tensão de saída do Arduino fornece tensão ao circuito, portanto, é uma elevação de tensão (sinal positivo), o resistor consome uma parte da tensão e o LED consome outra parte da tensão conforme o enunciado (2 V), portanto, são quedas de tensão.



# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- Solução: Assim, podemos aplicar a lei de Kirchhoff para tensões na malha do circuito como:

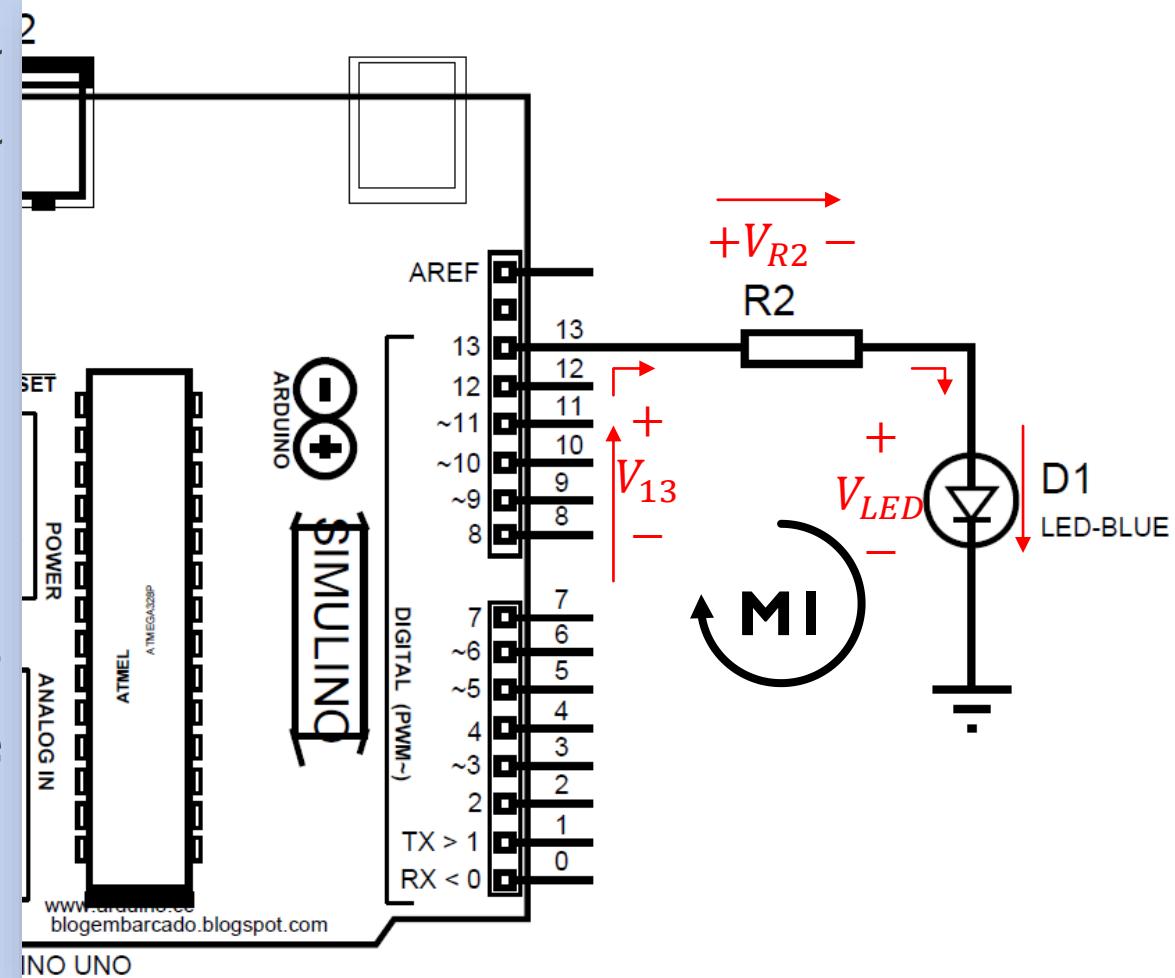
$$V_{13} - V_{R2} - V_{LED} = 0$$

$$\Rightarrow V_{13} = V_{R2} + V_{LED}$$

$$\Rightarrow V_{R2} = V_{13} - V_{LED}$$

- Substituindo os valores de tensão do pino 13 do Arduino ( $V_{13}$ ) e de consumo do LED ( $V_{LED}$ ), obtemos:

$$V_{R2} = 5 \text{ V} - 2 \text{ V} = 3 \text{ V}$$



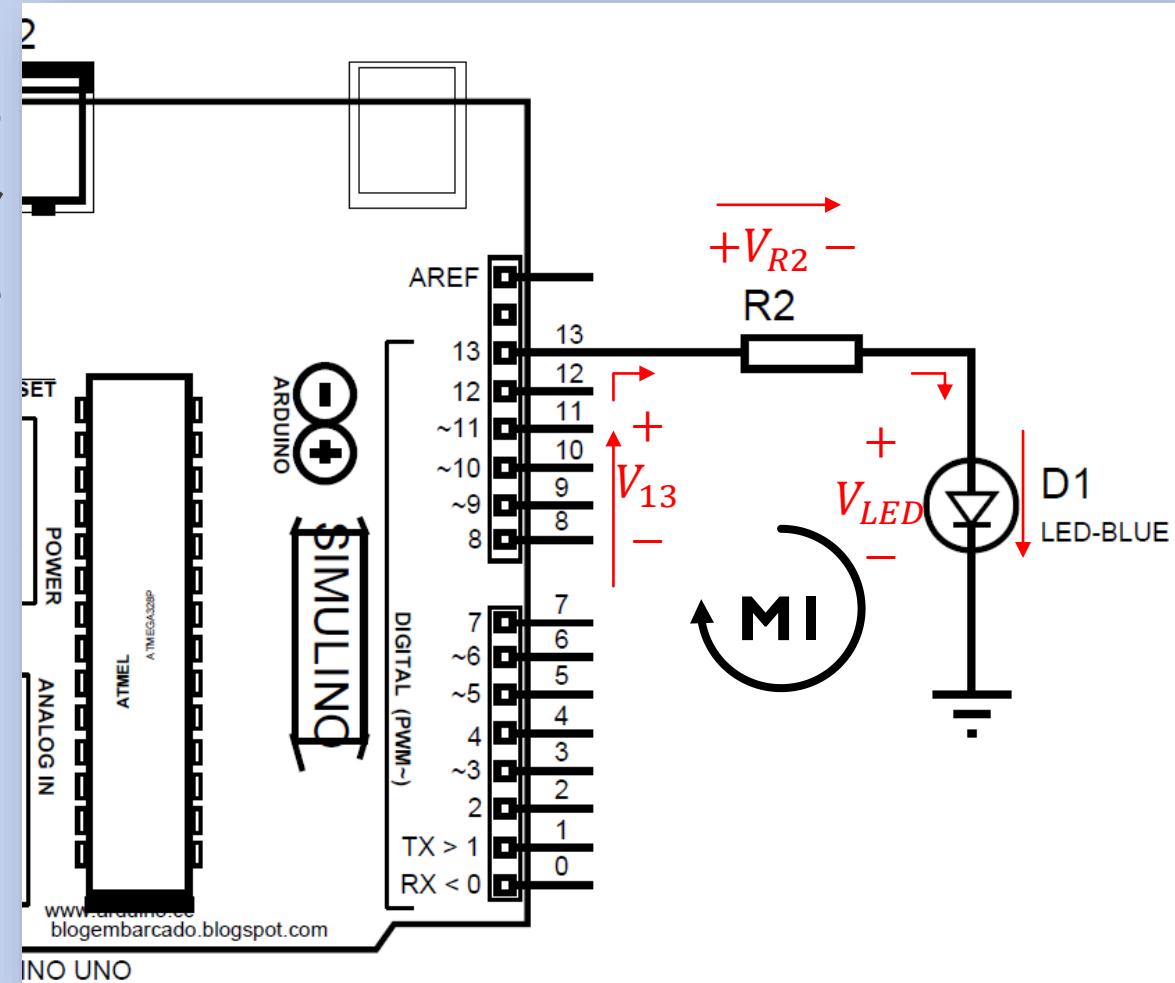
# LEI DAS TENSÕES DE KIRCHHOFF (LTK)

- Solução: Conhecendo a tensão sobre o resistor, podemos calcular a resistência R2 utilizando a Lei de Ohm:

$$R2 = \frac{V_{R2}}{I} = \frac{3 \text{ V}}{10 \text{ mA}}$$

$$R2 = 0,3 \text{ k}\Omega = 300 \Omega$$

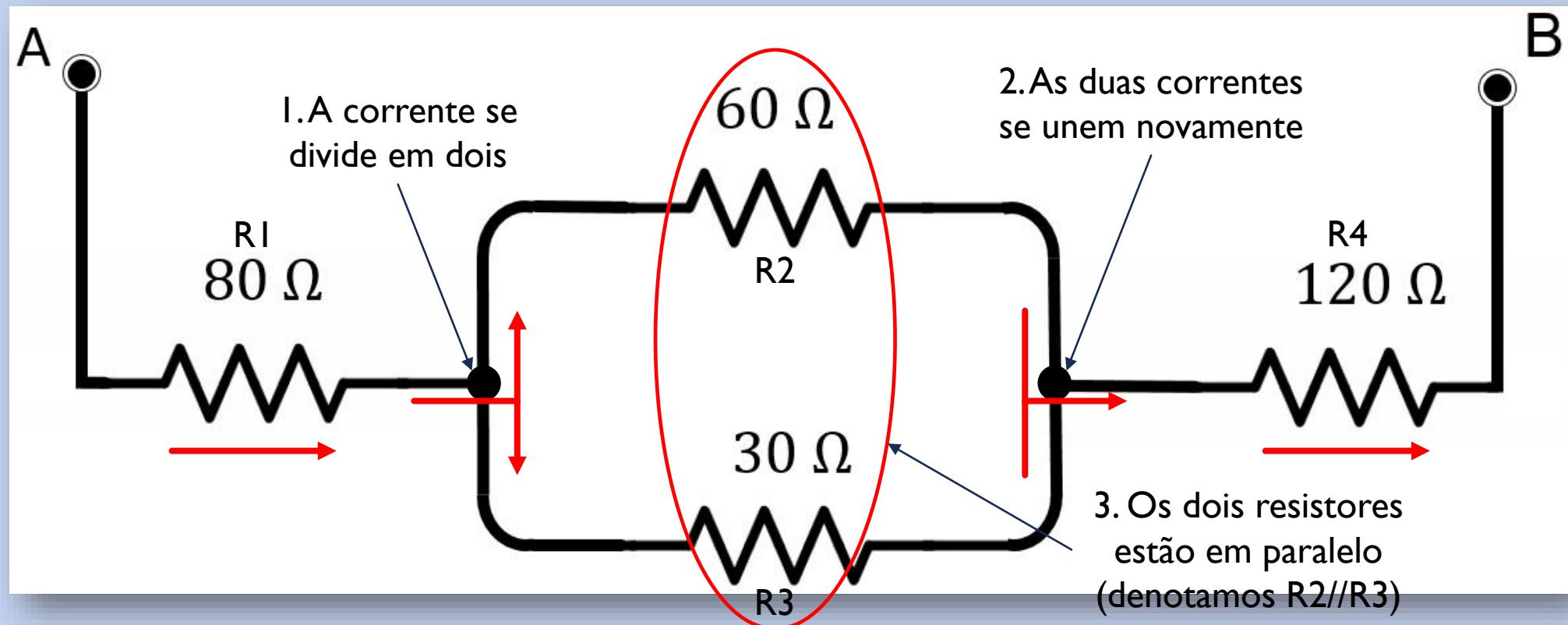
- Portanto, deve ser utilizado um resistor de, pelo menos, 300 Ω.



# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE PARALELO E MISTA

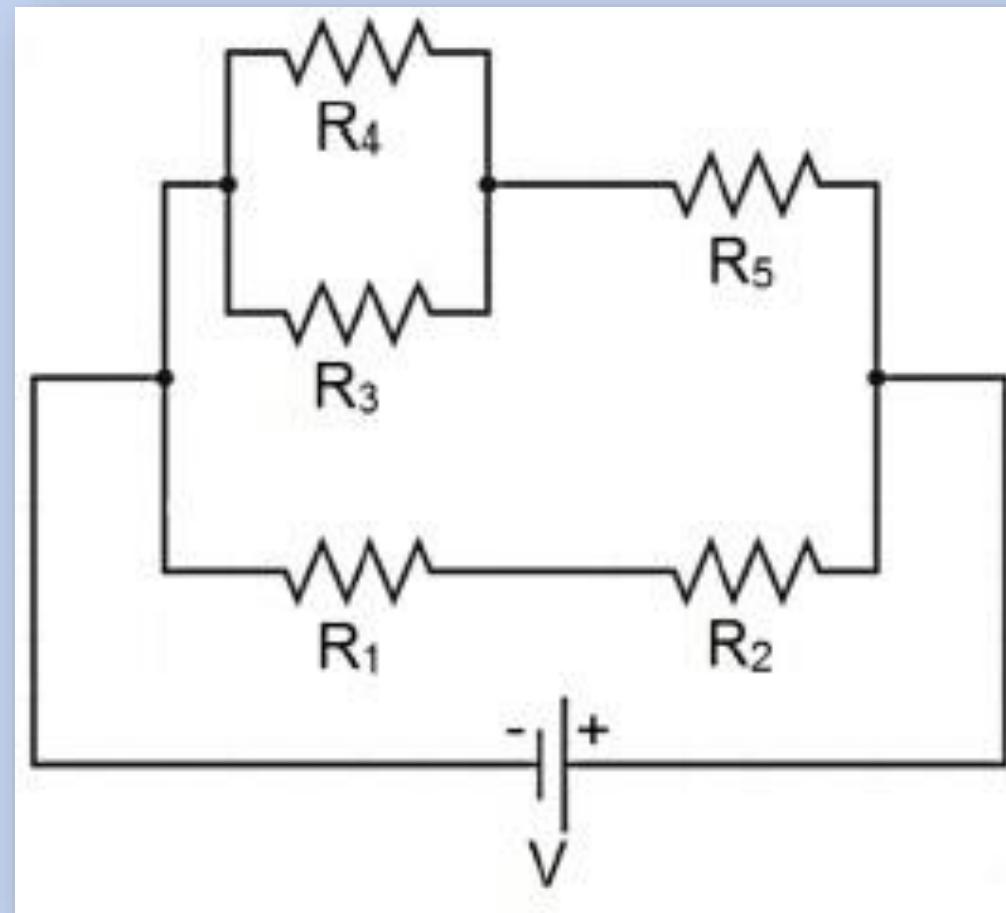
# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE PARALELO

- Uma associação em paralelo é caracterizada pela divisão da corrente. Se a corrente se dividir em duas ou mais correntes e se juntar novamente, os elementos entre esses dois nós estão em **paralelo**.



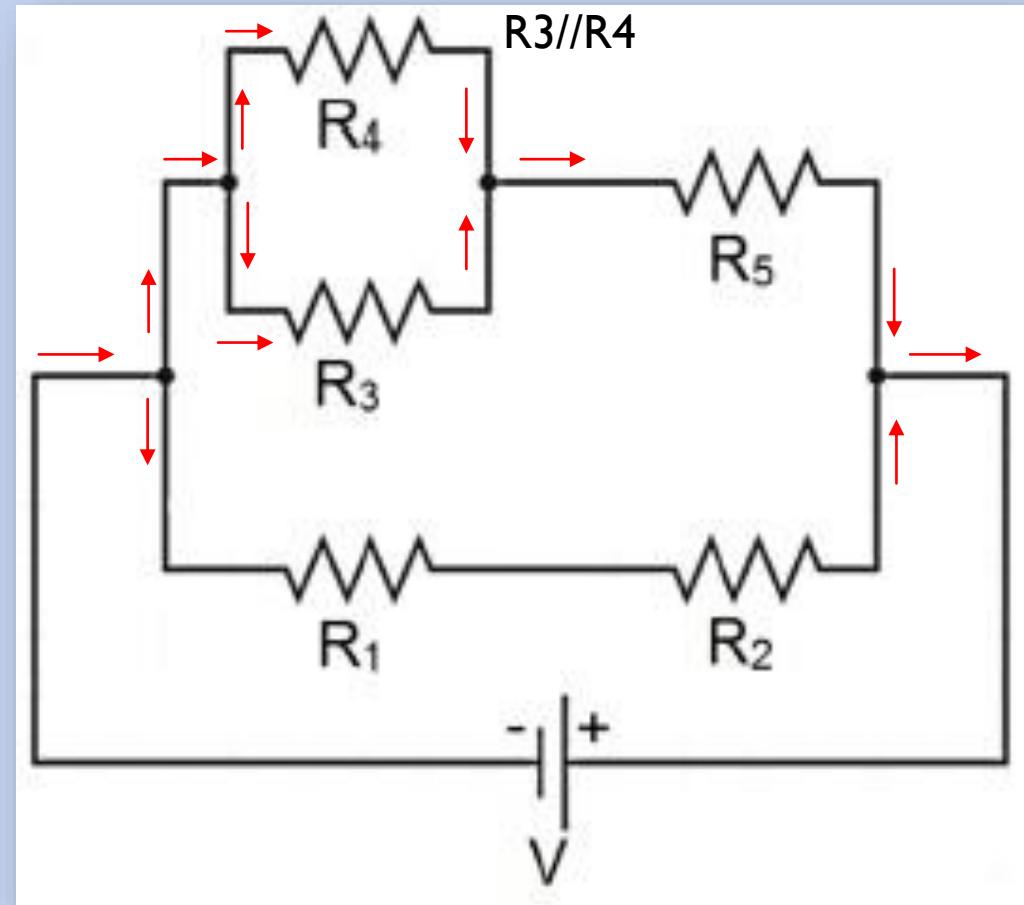
## RESISTÊNCIA EQUIVALENTE PARALELO

- **Exemplo:** Determine quais resistores estão em paralelo no circuito abaixo.



# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE PARALELO

- **Solução:** Para descobrir quais resistores estão em paralelo, basta observar os nós onde a corrente se divide e se une novamente.
- Ao analisar os sentidos das correntes no circuito, concluímos que os resistores R3 e R4 estão em paralelo e que a associação dos resistores R3, R4 e R5 está em paralelo com a associação dos resistores R1 e R2.



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

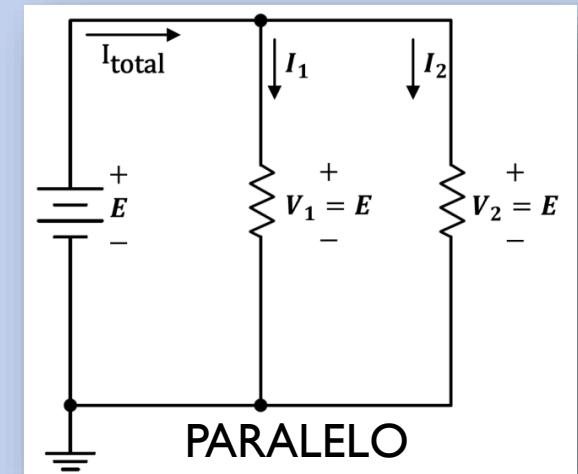
# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE PARALELO

- Na resistência equivalente paralelo, os resistores estão sob a mesma tensão e dividem a corrente.
- A fonte de alimentação “enxerga” apenas um resistor cujo valor é o inverso da soma dos inversos dos valores individuais dos resistores.

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

$$R_{EQ}(\text{paralelo}) = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}}$$

Onde  $N$  é a quantidade de resistores na associação série.

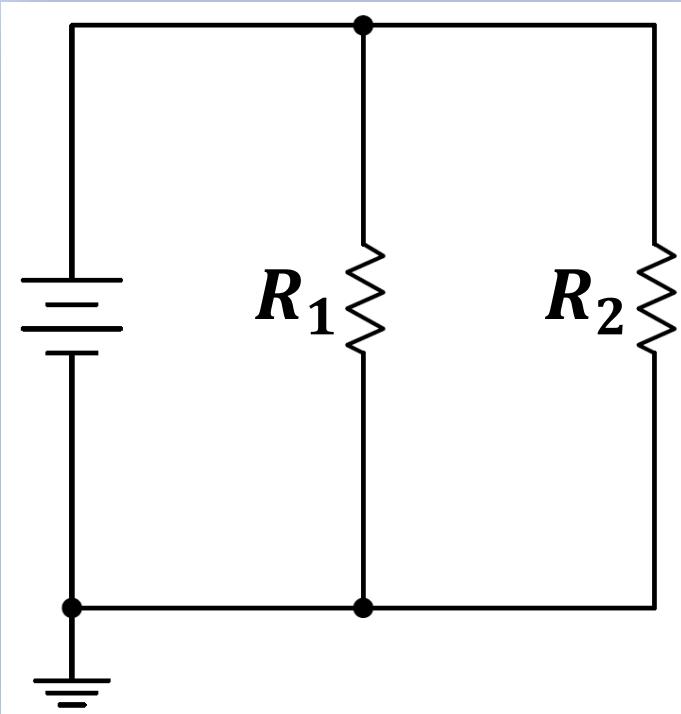


- Essa é a forma direta de calcular a resistência equivalente em paralelo. Uma forma mais simples é calcular a **resistência equivalente paralelo de dois a dois resistores**.

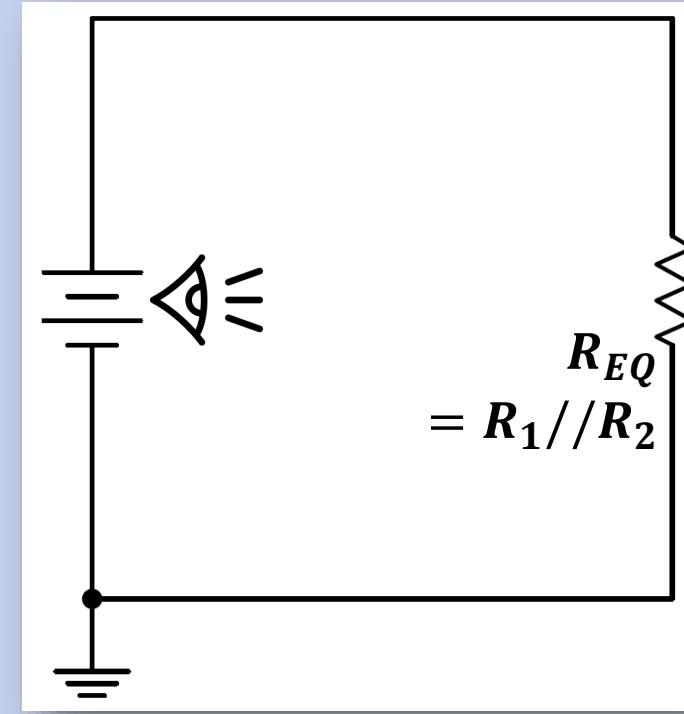
$$R_{EQ} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- Essa é a forma mais simples de calcular resistor equivalente em paralelo: *dividir o produto dos resistores pela sua soma*.

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE PARALELO



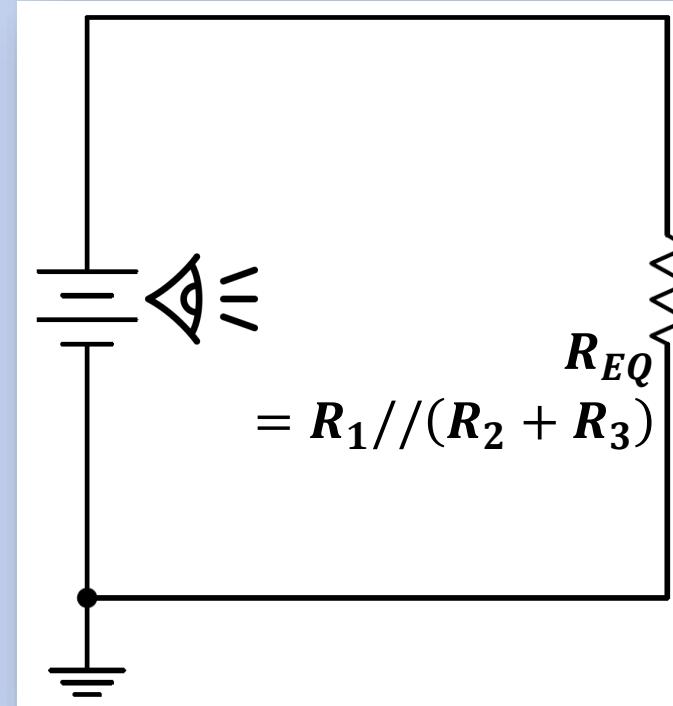
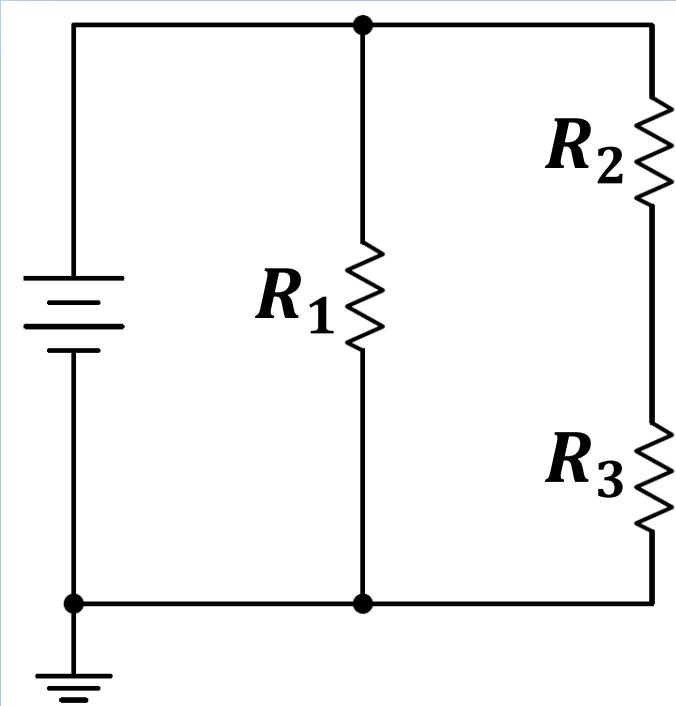
$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_N}$$



Para dois resistores:

$$R_{EQ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

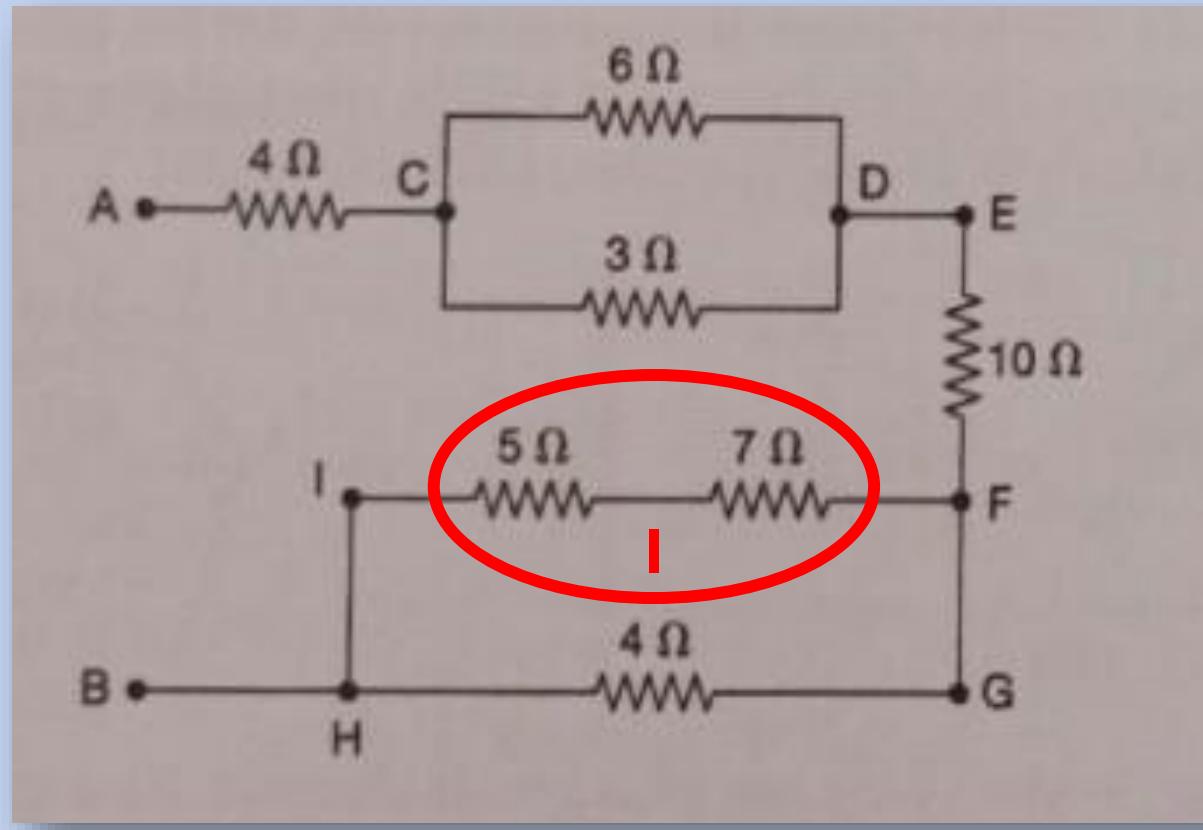
# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE MISTA



No caso de associação mista, calculamos os resistores equivalentes em cascata em cada ramo do circuito.

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE MISTA

**Exemplo:** Calcular a resistência equivalente entre os pontos A e B

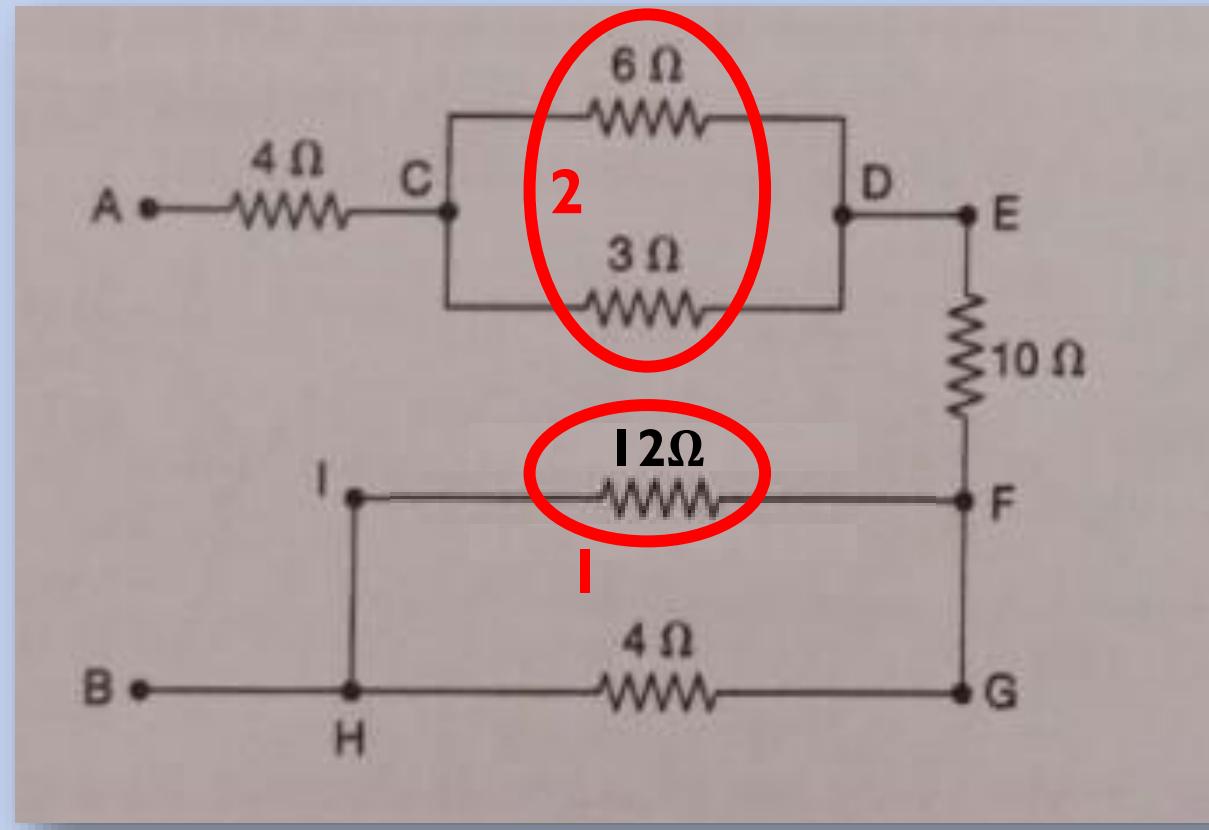


Associação em série  
 $5\Omega + 7\Omega = 12\Omega$

No caso de associação mista, calculamos os resistores equivalentes em cascata em cada ramo do circuito.

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE MISTA

**Exemplo:** Calcular a resistência equivalente entre os pontos A e B

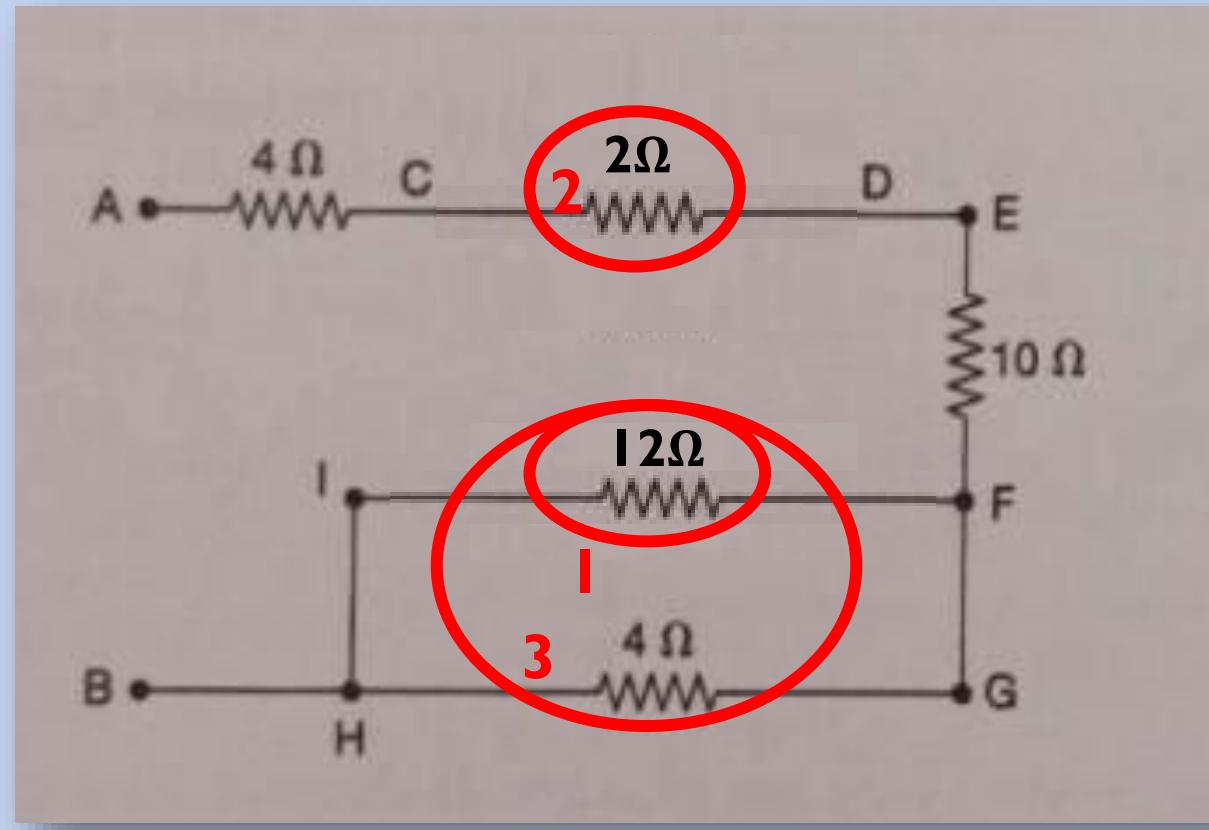


Associação em paralelo  
$$\frac{6\Omega \cdot 3\Omega}{6\Omega + 3\Omega} = 2\Omega$$

No caso de associação mista, calculamos os resistores equivalentes em cascata em cada ramo do circuito.

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE MISTA

**Exemplo:** Calcular a resistência equivalente entre os pontos A e B

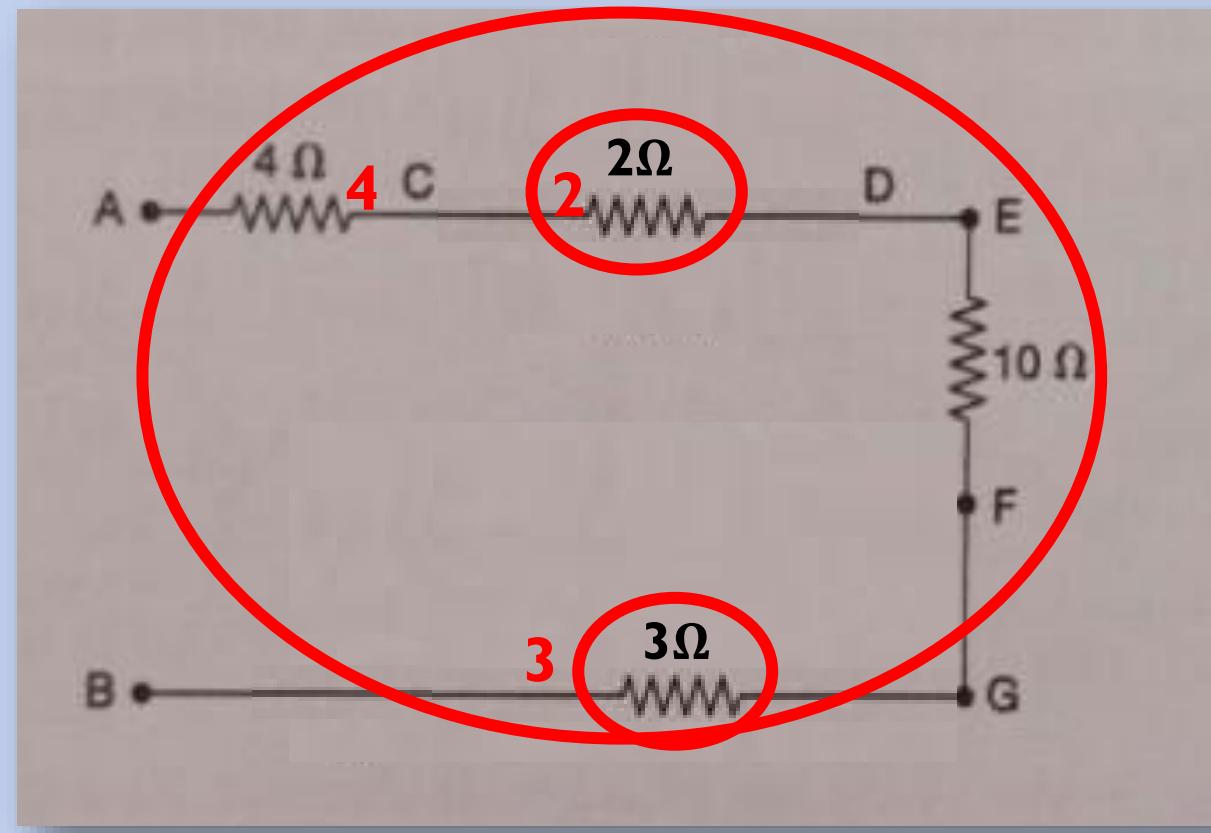


Associação em paralelo  
$$\frac{12\Omega \cdot 4\Omega}{12\Omega + 4\Omega} = 3\Omega$$

No caso de associação mista, calculamos os resistores equivalentes em cascata em cada ramo do circuito.

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE MISTA

**Exemplo:** Calcular a resistência equivalente entre os pontos A e B

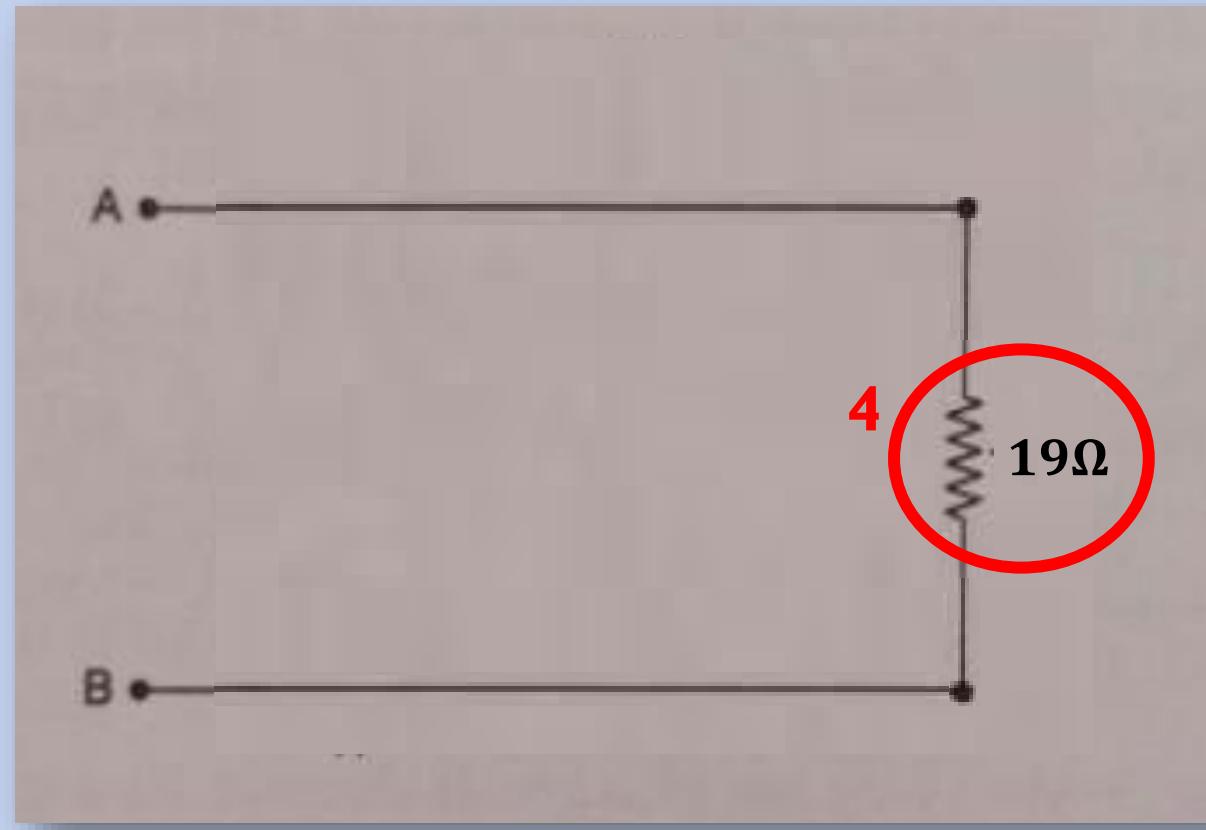


Associação em série  
 $4\Omega + 2\Omega + 10\Omega + 3\Omega = 19\Omega$

No caso de associação mista, calculamos os resistores equivalentes em cascata em cada ramo do circuito.

# RESISTÊNCIA EQUIVALENTE MISTA

**Exemplo:** Calcular a resistência equivalente entre os pontos A e B

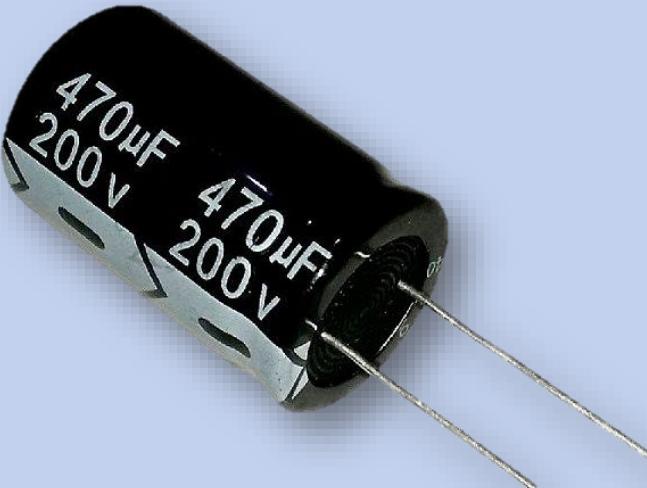


No caso de associação mista, calculamos os resistores equivalentes em cascata em cada ramo do circuito.

# CAPACITOR

# CAPACITOR

- É um dispositivo que armazena energia na forma de campo elétrico.



Campo elétrico

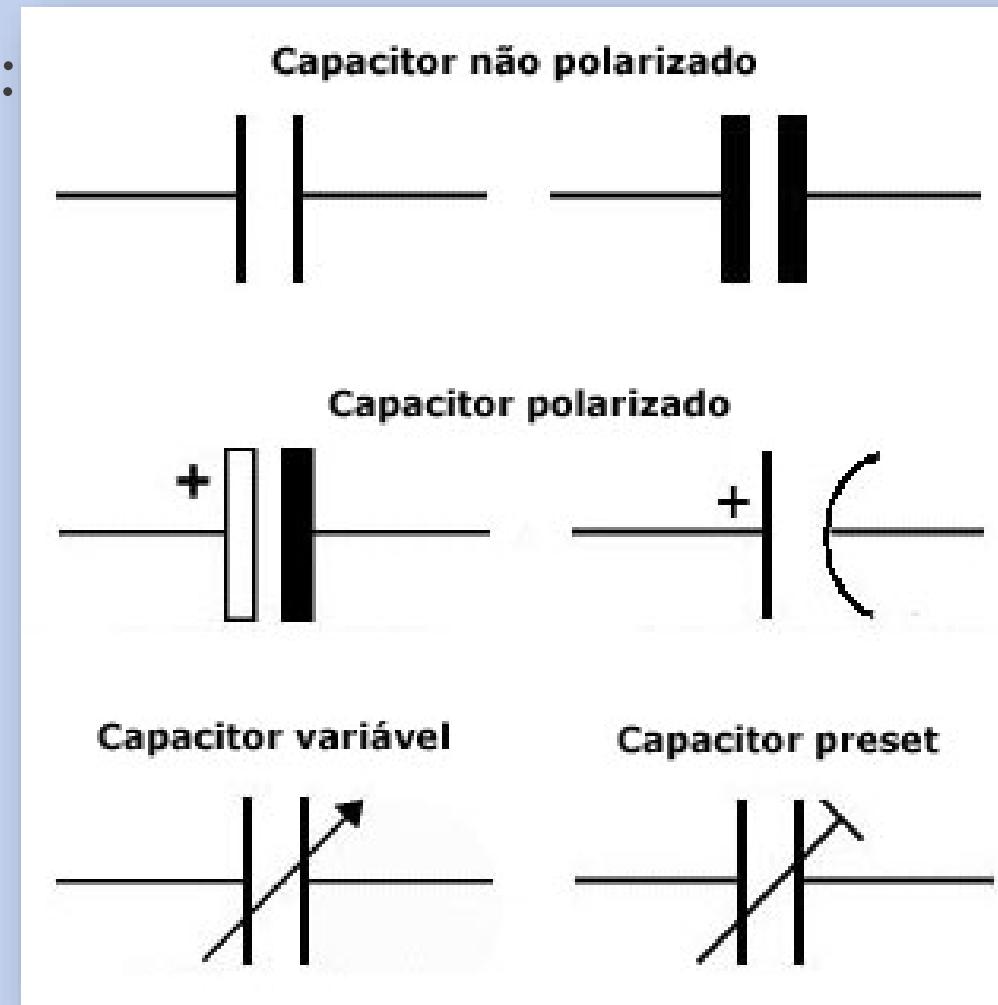
Armazena menos energia  
Libera energia mais rápido

Produto químico

Armazena mais energia  
Libera energia mais lento

# CAPACITOR

- UNIDADE: Farad (F)
- SIMBOLOGIA - C:

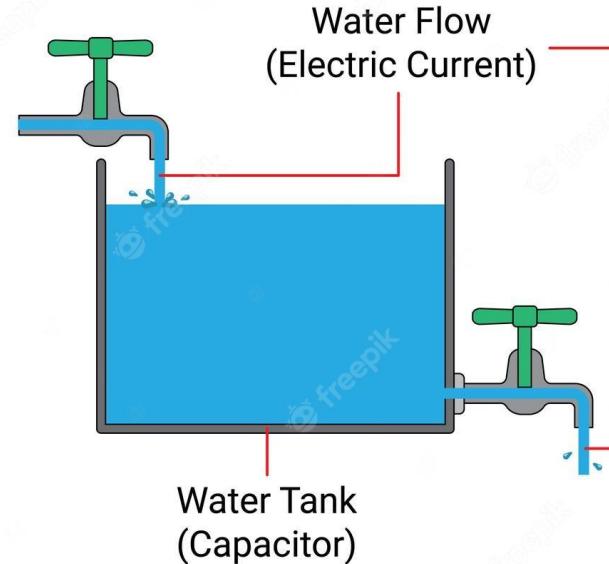


# CAPACITOR

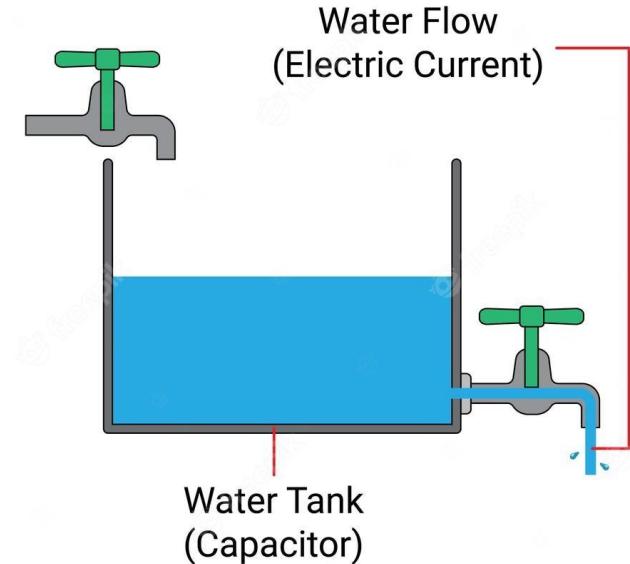
- O capacitor funciona como um tanque de armazenamento de água. O tanque leva um tempo para encher e um tempo para esvaziar.
- Se ambas as torneiras na imagem forem mantidas abertas, o tanque irá se encher e esvaziar ao mesmo tempo. Porém, caso a torneira superior apresente alguma oscilação que faça com que o fluxo de água não seja contínuo (como se estivesse abrindo e fechando), o fluxo de água da torneira inferior permanecerá constante, de forma que as oscilações observadas na torneira superior não são percebidas na torneira inferior.
- Nesse caso, dizemos que o tanque está funcionando como um “filtro” ou que está “filtrando” as oscilações do fluxo de água de entrada.

## Water Tank Analogy for a Capacitor

### Step 1



### Step 2



# Explicando Capacitores



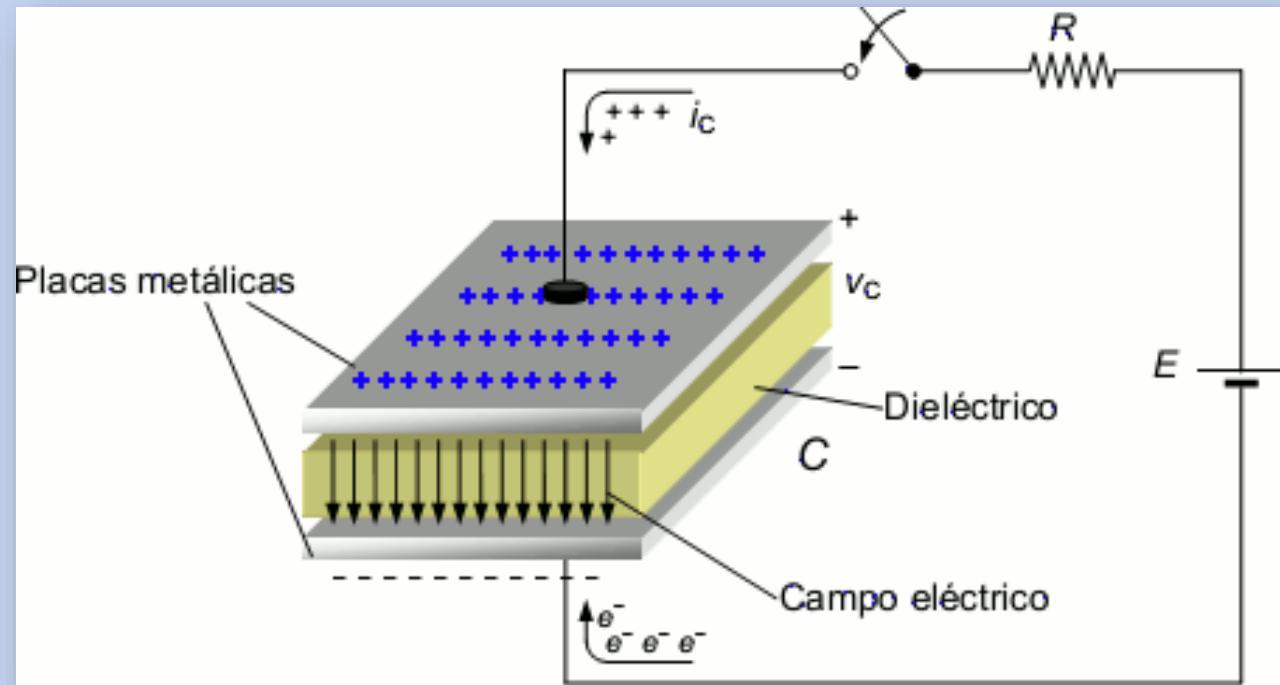
Clique aqui para assistir ao vídeo:  
Explicando Capacitores - YouTube

# CAPACITÂNCIA

- É a capacidade de armazenar cargas elétricas.
- A unidade da capacitância no SI é o Farad (F).

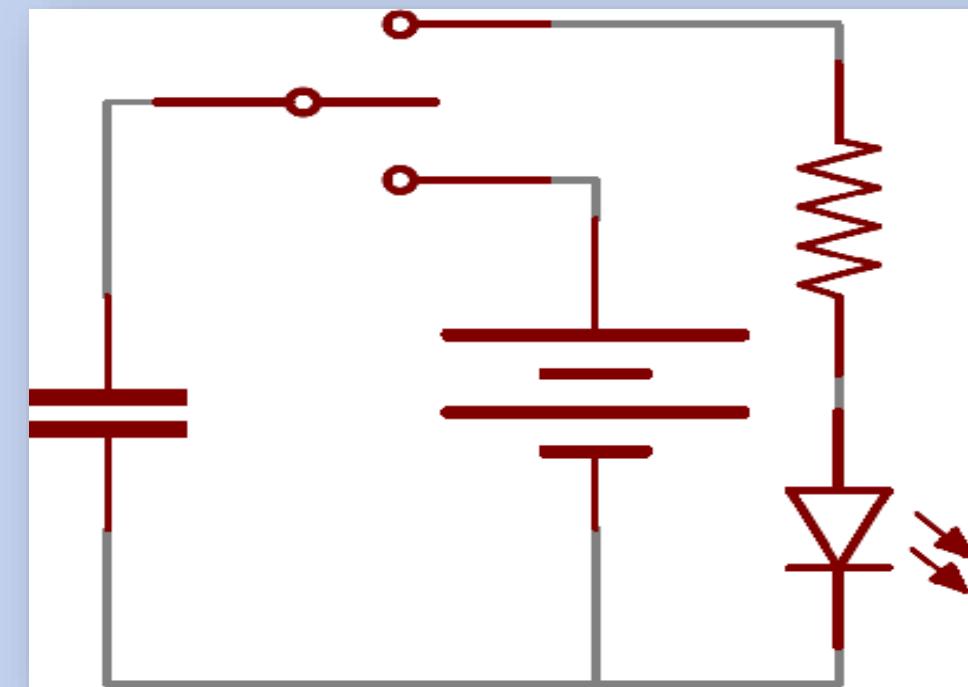
$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}} \Rightarrow 1F = \frac{1C}{1V}$$

O capacitor é formado por duas placas metálicas condutoras separadas por um material isolante chamado de dielétrico.



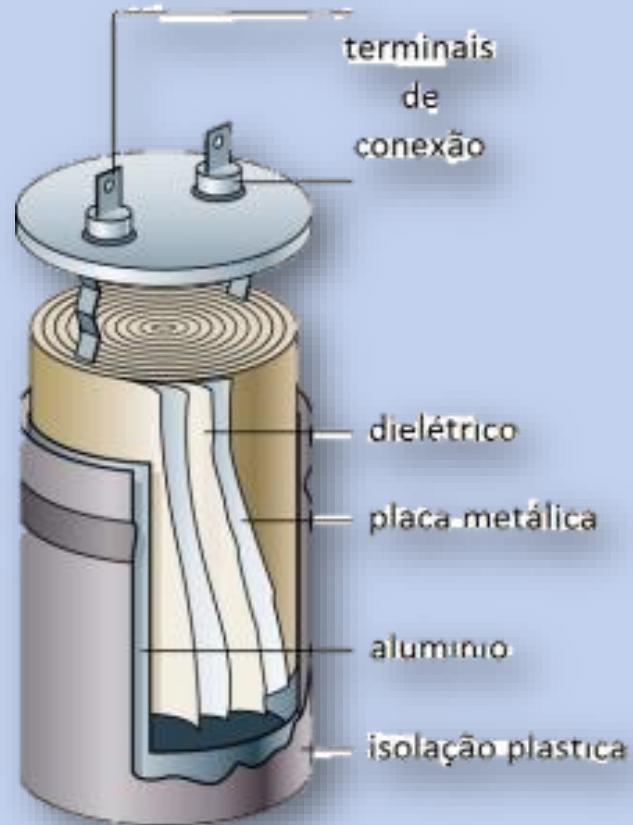
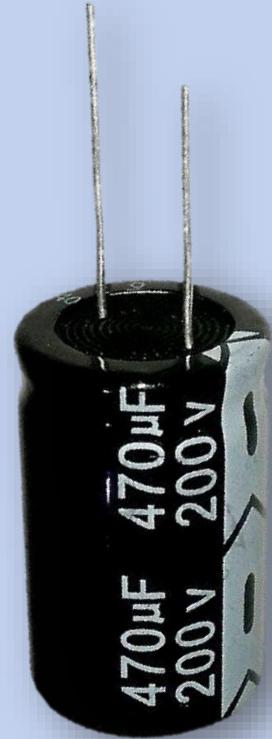
# CAPACITÂNCIA

- Ao conectar uma bateria em um capacitor, as placas metálicas acumulam cargas positivas e negativas, respectivamente. Uma placa fica carregada positivamente e a outra fica carregada negativamente.
- Quando a bateria é removida, as placas permanecem carregadas, atraindo uma à outra. Porém, como existe um material dielétrico (isolante) entre as placas, elas não conseguem trocar cargas e o capacitor permanece “carregado”, formando uma ddp entre seus terminais.
- Quando o capacitor é conectado à um resistor (e não à uma bateria), as cargas nas placas encontram um caminho alternativo para se deslocarem e o capacitor descarrega através do resistor.
- Quanto maior for a área das placas, mais cargas podem ser armazenadas pelo capacitor, mais tempo ele levará para se carregar e descarregar (pois leva mais tempo para uma quantidade maior de cargas se deslocar) e maior será a **capacitância**.
- A capacidade de armazenar cargas elétricas do capacitor é chamada de **capacitância**.

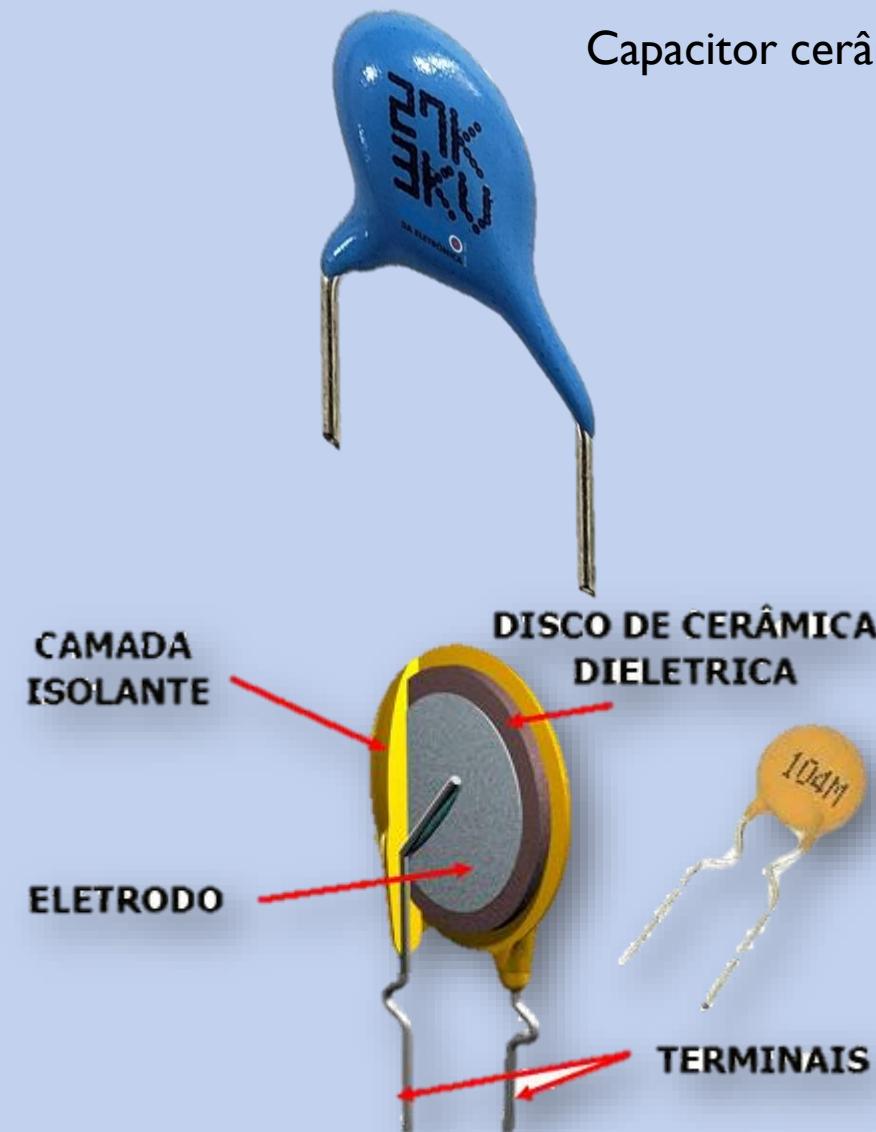


# CAPACITOR

Capacitor eletrolítico

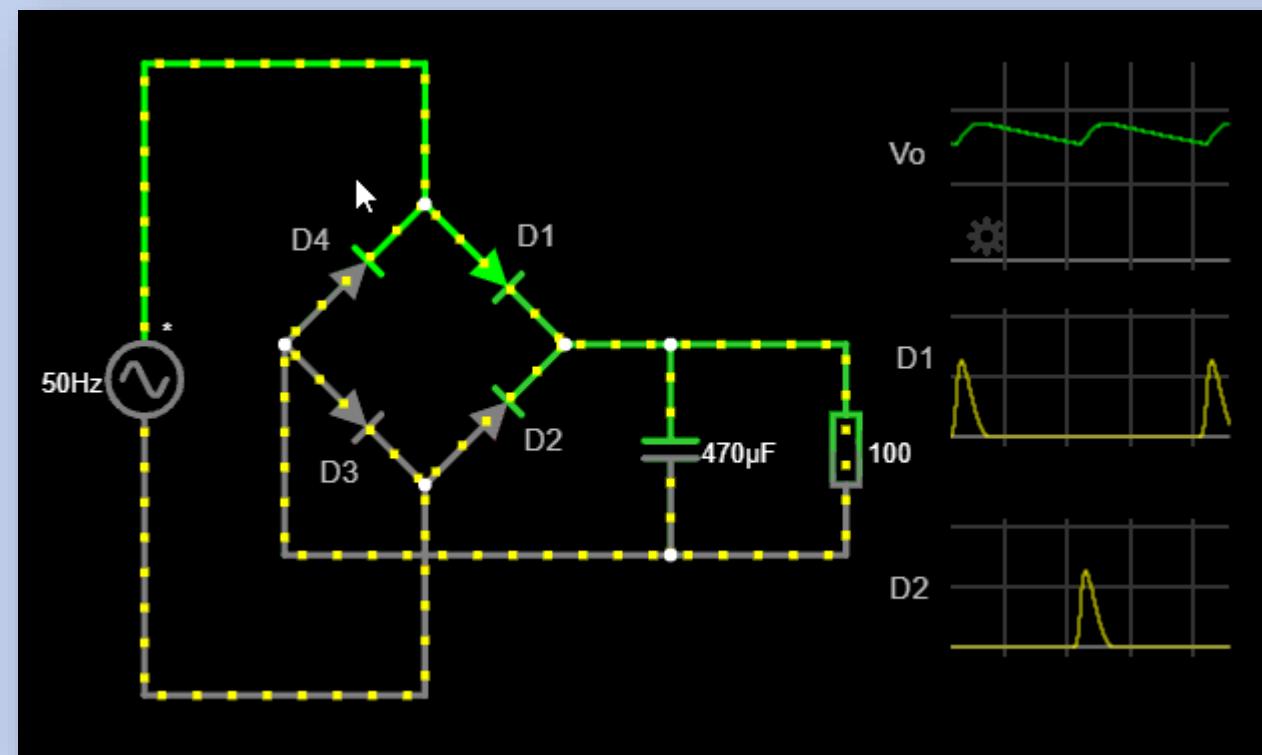


Capacitor cerâmico



# CAPACITOR

- Capacitores normalmente são utilizados para suavizar oscilações de tensão ou para criar atrasos devido sua característica de demorar para se carregar e descarregar.





DIODO

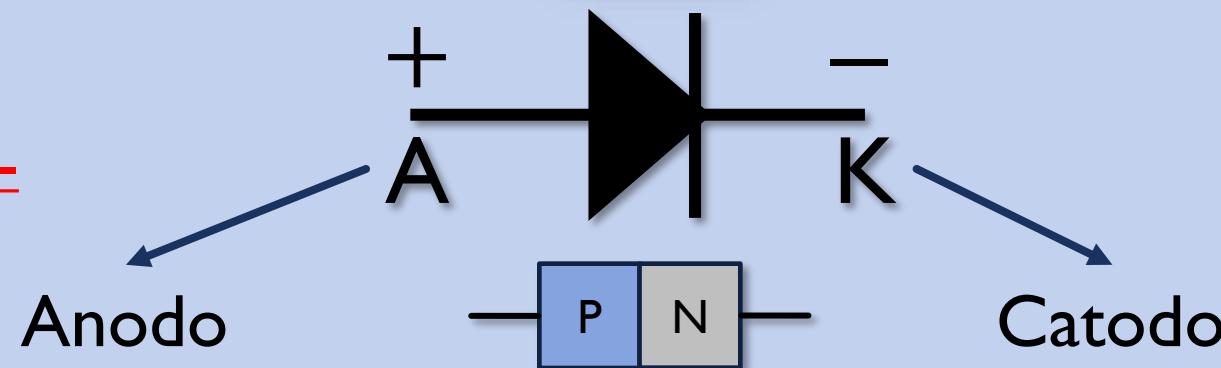


# DIODO

- Díodo semicondutor é um componente eletrônico cuja função é permitir a passagem de corrente elétrica apenas em um sentido.
- Ele é construído a partir da junção de dois materiais semicondutores com excesso de lacunas ou excesso de elétrons, chamados de materiais **tipo P** e **tipo N**.
- Ele possui dois terminais: **anodo** (terminal **positivo**) e **catodo** (terminal **negativo**).

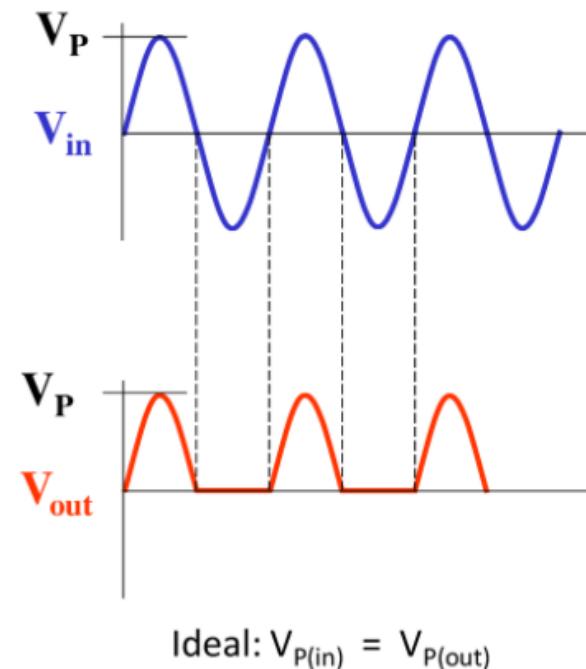
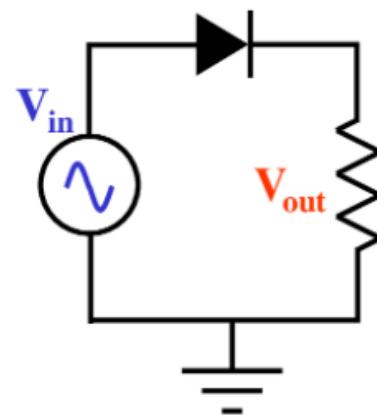


[Clique aqui para  
assistir ao vídeo:  
Diodos explicados -  
YouTube](#)



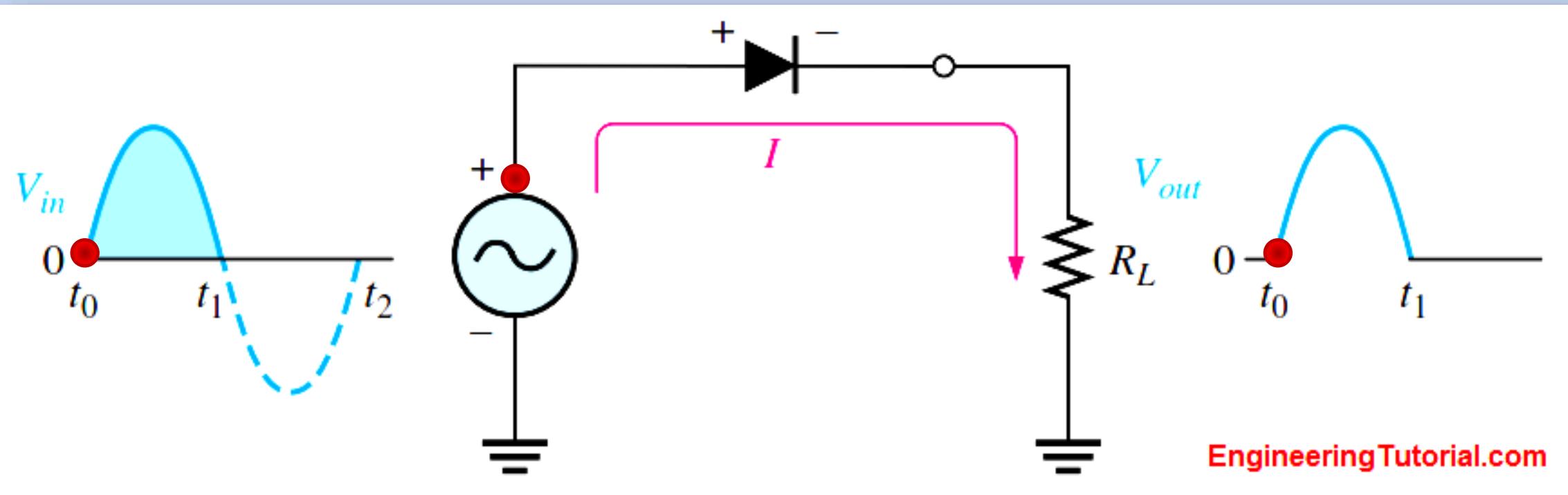
# DIODO

- O diodo permite que tensões que variam entre valores positivos e negativos sejam convertidas em tensões apenas positivas. Esse circuito é conhecido como **retificador**.
- Idealmente, o diodo perfeito não apresenta queda de tensão quando está conduzindo.
- O diodo real apresenta uma queda de tensão normalmente de 0,7 V quando está conduzindo e uma pequena corrente de fuga quando está bloqueado.

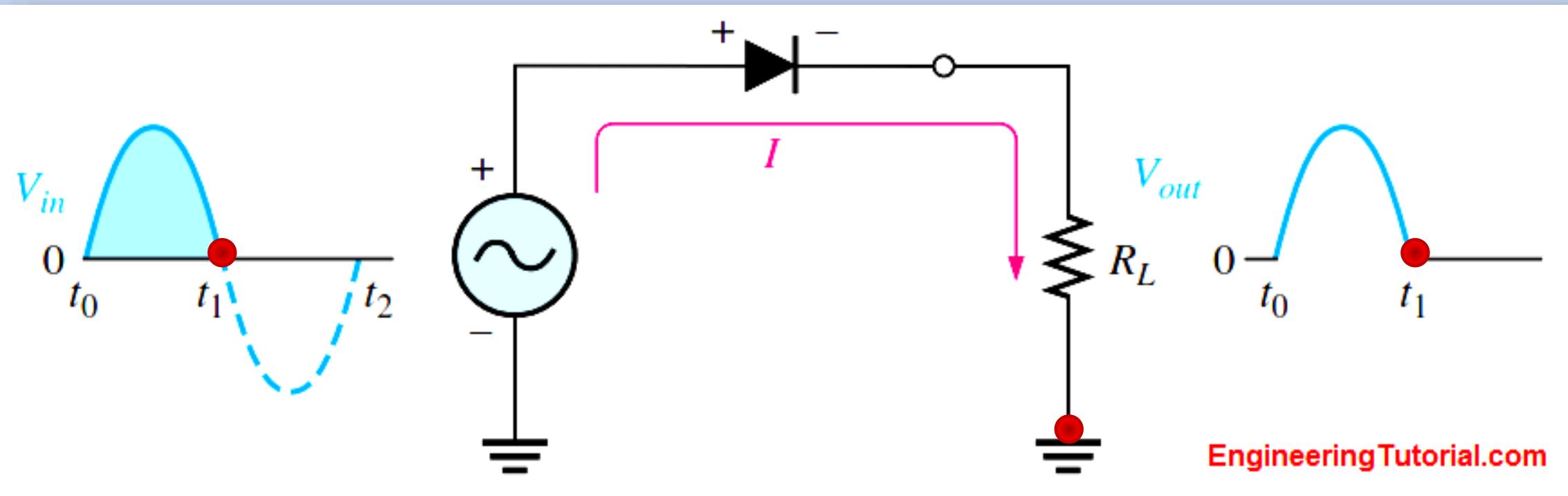


- Sempre que a tensão no anodo for 0,7 V (ou mais) maior do que a tensão no catodo, o diodo conduzirá. Esse estado é chamado de polarização direta. Diz-se que o diodo está **diretamente polarizado ou conduzindo**.
- Quando a ddp sobre o diodo for menor do que 0,7 V, ele não conduzirá corrente. Esse estado é chamado de polarização reversa. Diz-se que o diodo está **reversamente polarizado ou bloqueado**.
- $V_{AK} = V_A - V_K \geq 0,7$  V: diodo conduz.
- $V_{AK} = V_A - V_K < 0,7$  V: diodo bloqueia.

## DIODO CONDUZ



## DIODO NÃO CONDUZ (BLOQUEIA)

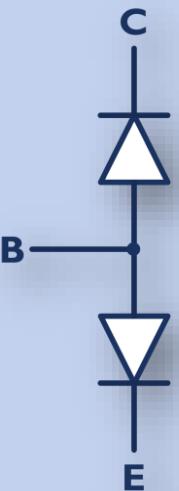


# TRANSISTORES

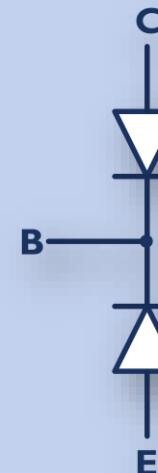
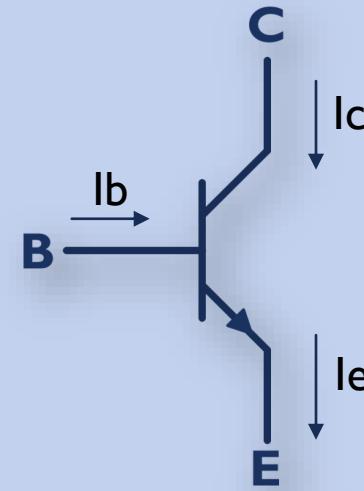
# TRANSISTORES

- Transistores são dispositivos baseados nos diodos, podendo ser representados como um par de diodos conectados inversamente um ao outro.
- Os transistores podem ser utilizados como amplificadores de tensão para aumentar o nível de um sinal elétrico, como um amplificador de áudio. Porém eles são mais utilizados como chave eletrônica, permitindo ligar ou desligar um circuito eletrônico de forma automática.

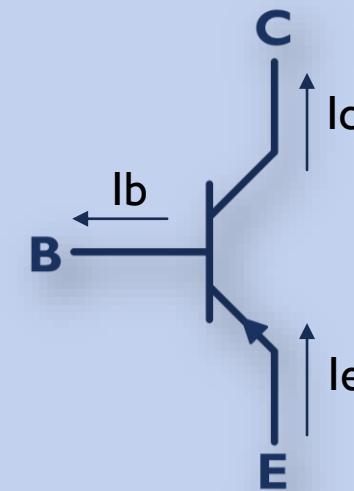
[Clique aqui para  
assistir ao vídeo:  
Transistor  
explicado  
- YouTube](#)



Transistor NPN

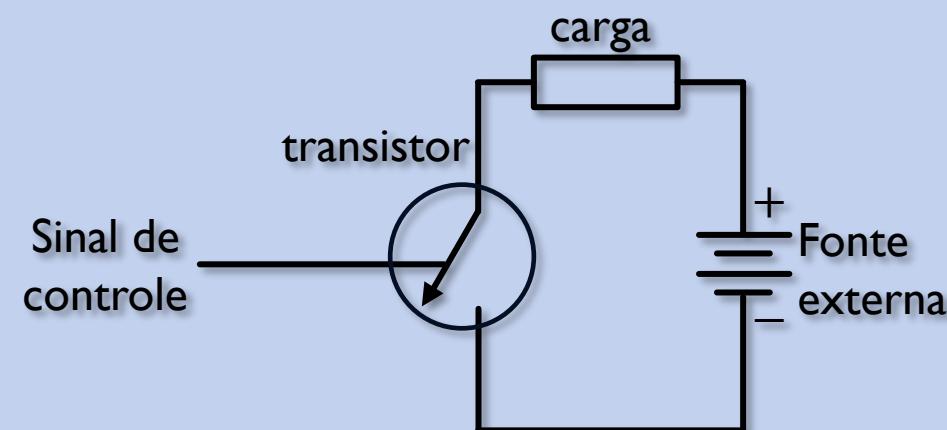


Transistor PNP



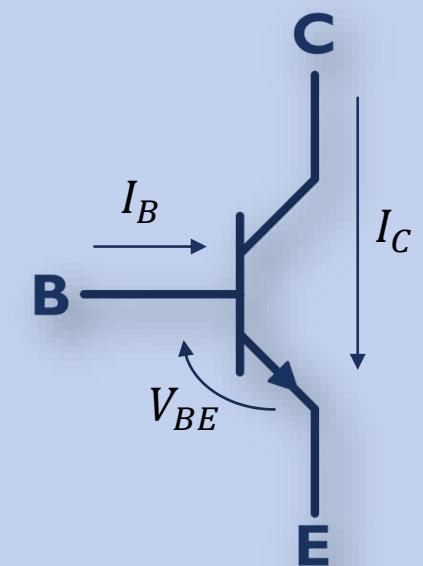
# TRANSISTORES

- A principal aplicação dos transistores em Eletrônica Aplicada é como **chave eletrônica** operando na chamada **região de saturação**. Ele é utilizado para acionar cargas de maior potência com um sinal de comando de baixa tensão ou para realizar lógicas em função da aplicação.
- Funciona como uma chave controlada.



# TRANSISTORES

- Os transistores possuem três terminais: Coletor (C), Base (B) e Emissor (E). A carga é conectada entre os terminais de Coletor (C) e Emissor (E). O sinal de comando ou o sinal a ser amplificado é aplicado no terminal de Base (B).
- Ao aplicar uma **corrente na base** (sinal de controle) do transistor, representada por  $I_B$ , se for suficientemente grande, surgirá uma corrente circulando entre o terminal de coletor e o terminal de emissor,  $I_C$  (consideramos  $I_C = I_E$ ). A corrente de coletor é muito maior do que a corrente de base, variando de 10 a 500 vezes maior, dependendo do transistor. Essa proporção é chamada de **ganho**, representada por  $\beta$ .

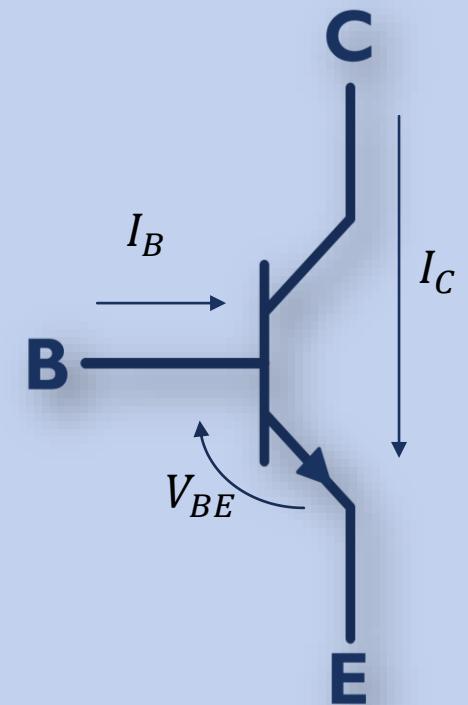


# TRANSISTORES

- A relação entre a corrente de base e a corrente de coletor é dada por:

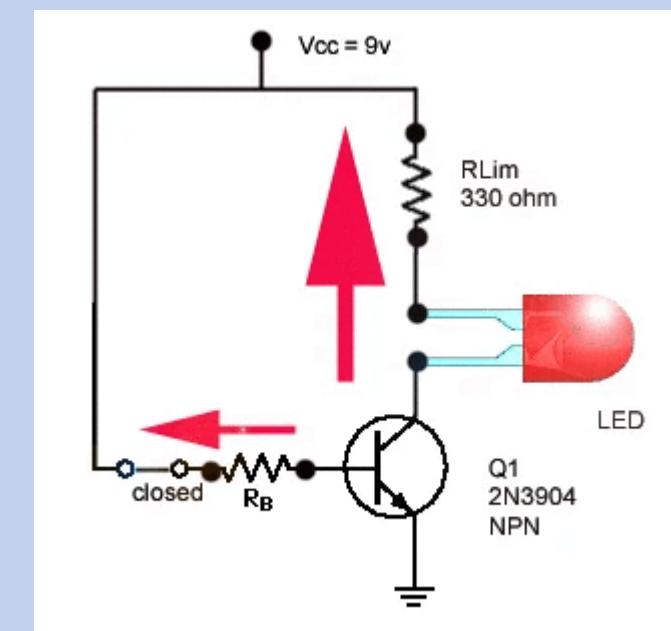
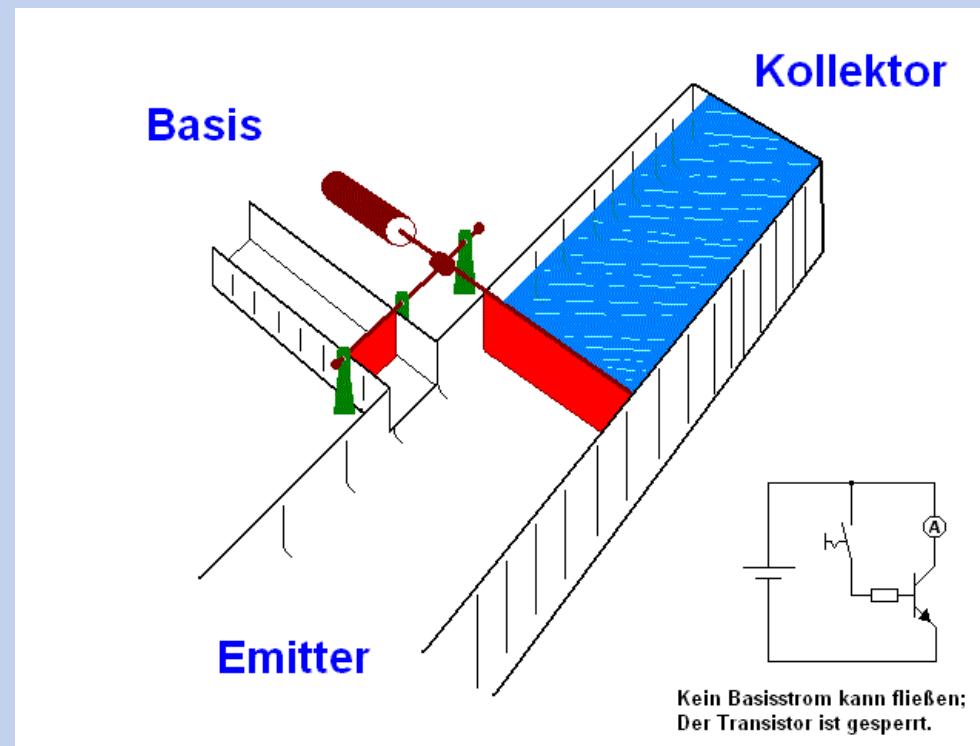
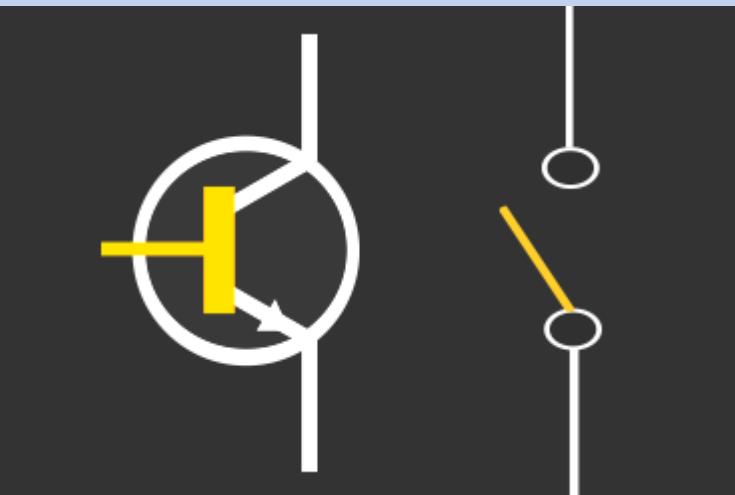
$$I_C = \beta \times I_B$$

- A tensão  $V_{BE}$  normalmente é fixa, dependendo do fabricante, igual à  $V_{BE} = 0,7\text{ V}$ .
- O projeto de circuitos com transistor se baseia principalmente nesses parâmetros para ser realizado.
- Quando existe uma corrente suficientemente grande no terminal de base, surge uma corrente  $I_C$ . Os terminais de coletor e emissor entram em curto ( $V_{CE} = 0\text{ V}$ ), acionando a carga, da mesma forma que uma chave. Diz-se que o transistor está **saturado**.
- Quando não há corrente na base, não existirá corrente circulando entre coletor e emissor. Diz-se que o transistor está em **corte** ( $V_{CE} = V_{cc}$ ).



# TRANSISTORES

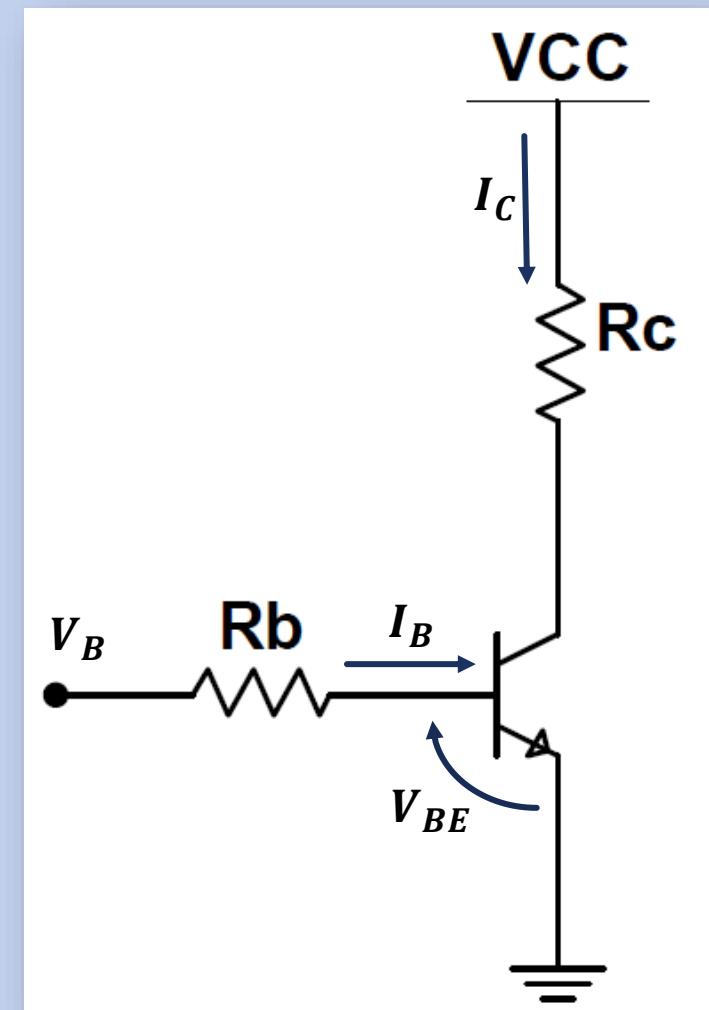
- O terminal de base do transistor funciona como um pequeno sinal de controle. Quando esse sinal é aplicado, os terminais de coletor e emissor funcionam como os terminais de uma chave entram em curto-circuito, funcionando da mesma forma que uma chave fechada.
- Quando não há sinal de controle na base do transistor, os terminais de coletor e emissor ficam em aberto, sem corrente circulando entre eles, funcionando da mesma forma que uma chave aberta.



# TRANSISTORES

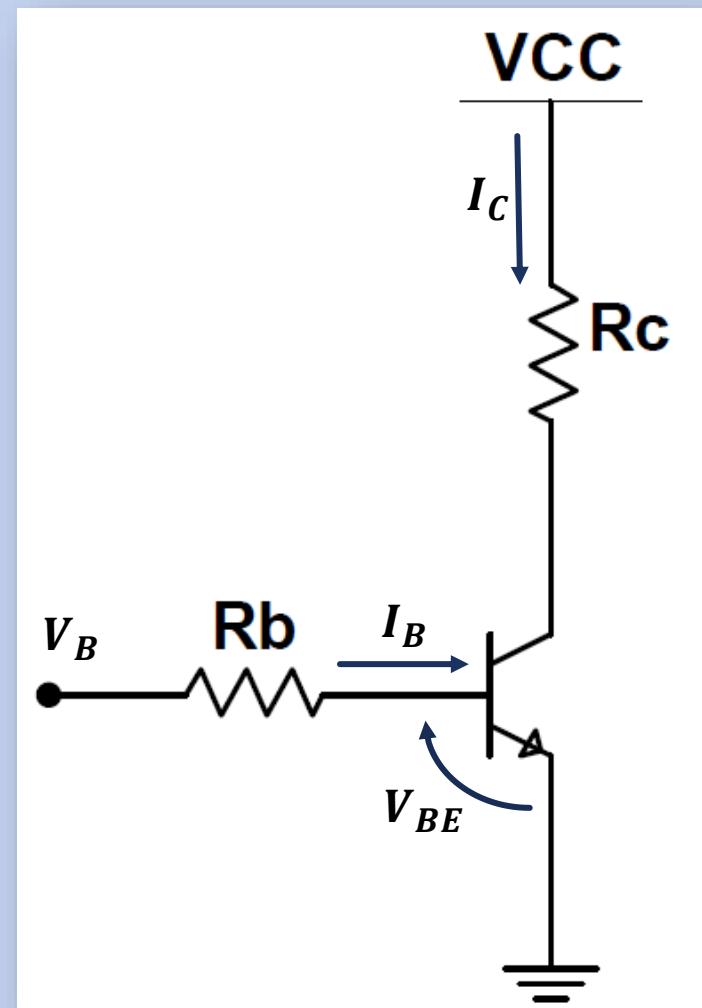
- Um circuito comum utilizando transistor é mostrado na figura ao lado. A seguir, veremos os passos de projeto utilizando o transistor para acionamento de cargas.
- **1º PASSO:** Determinar a corrente  $I_C$  em função da carga que se deseja alimentar.
- **2º PASSO:** Calcular o resistor  $R_C$  com o transistor saturado, utilizando a Lei de Ohm ( $V_{RC} = V_{CC}$ ;  $R_C = V_{RC}/I_C$ ).
- **3º PASSO:** Calcular a corrente  $I_B$  usando a relação  $I_B = I_C/\beta$ .

[Clique para assistir o vídeo: Transistor como chave - YouTube](#)



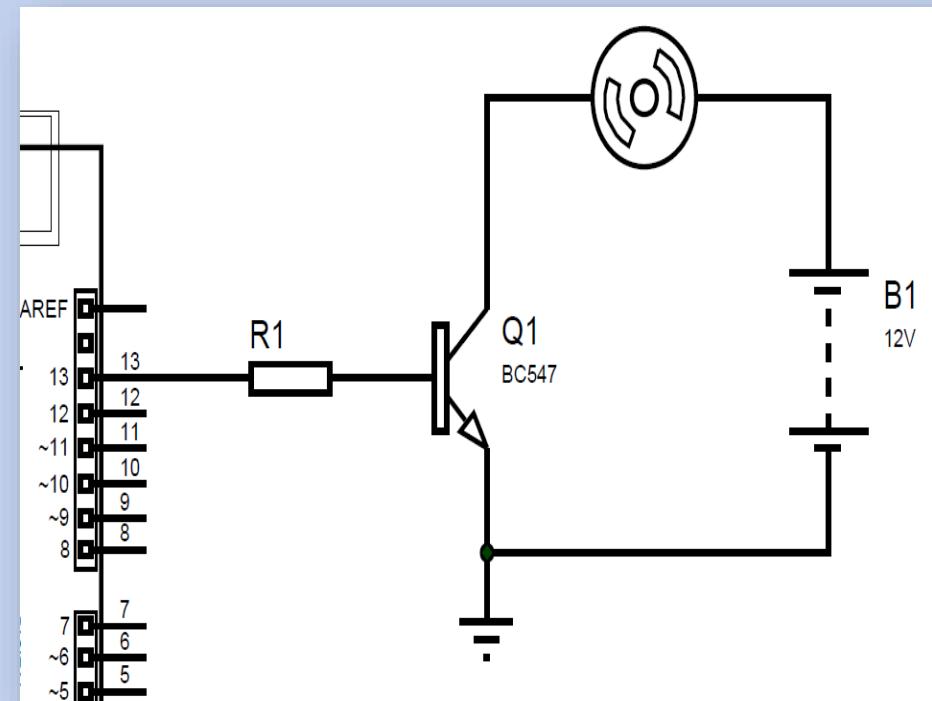
# TRANSISTORES

- **4º PASSO:** Calcular a tensão sobre o resistor de base  $V_{RB} = V_B - V_{BE}$ .
- **5º PASSO:** Calcular o resistor de base,  $R_b = V_{RB}/I_B$ .
- **OBS.:** normalmente, quando se deseja utilizar o transistor como chave, podemos considerar  $\beta = 10$ , o que vai garantir uma alta corrente de base, saturando o transistor, independente do modelo.



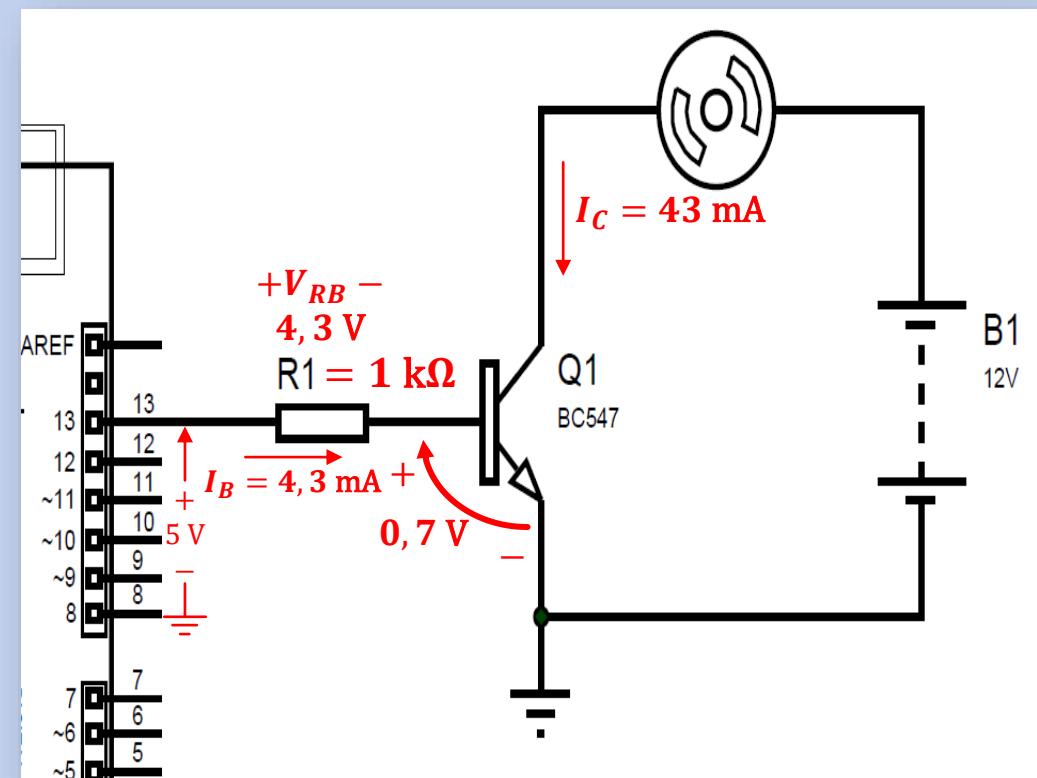
# TRANSISTORES

- **Exemplo:** suponha a seguinte aplicação onde deseja-se acionar um motor dc de 12 V utilizando o Arduino. O Arduino não possui capacidade de acionar o motor diretamente, pois consegue fornecer apenas 5 V de tensão. Então, pode-se utilizar um transistor BC547 para acionamento desse motor. Calcule o valor do resistor  $R_1$  para uma corrente de coletor  $I_C = 43 \text{ mA}$ . A tensão de saída do Arduino é  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ , a tensão de alimentação do motor é uma bateria de 12 V e considere o transistor com ganho  $\beta = 10$ .



# TRANSISTORES

- 1º PASSO:  $I_C = 43 \text{ mA}$ .
- 2º PASSO:  $R_C$  não utilizado, corrente limitada pela carga.
- 3º PASSO:  $I_B = I_C/10 = 4,3 \text{ mA}$ .
- 4º PASSO:  $V_{RB} = 5 - 0,7 = 4,3 \text{ V}$ .
- 5º PASSO:  $R_B = V_{RB}/I_B$   
 $= 4,3 \text{ V}/4,3 \text{ mA} = 1 \text{ k}\Omega$ .
- Portanto, um resistor de  $1 \text{ k}\Omega$  deve ser suficiente para acionar esta carga.



# RESUMO

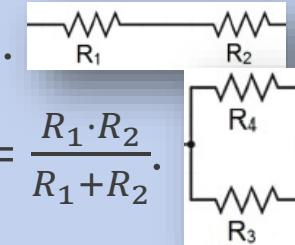
- Diferença de potencial (ddp):  $V_{AB} = V_A - V_B$ .

- Resistores: limitar corrente elétrica e criar quedas de tensão. 

- Lei de Ohm:  $V = R \times I$ .

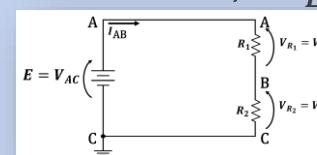


- Resistência equivalente série:  $R_{EQ(\text{série})} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$ .



- Resistência equivalente paralelo (2 resistores):  $R_{EQ(\text{paralelo})} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ .

- Divisor de tensão:  $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$ .



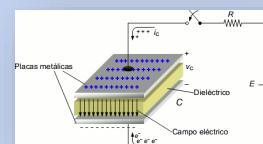
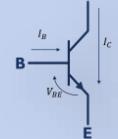
- Lei de Kirchhoff: a soma das elevações menos a soma das quedas de tensão é igual a zero -  $\sum \text{elevações} - \sum \text{quedas} = 0$ .

- Capacitor: armazena energia na forma de campo elétrico. Serve para suavizar oscilações de tensão e criar atrasos.

- Díodo: conduz apenas em um sentido indicado pela seta.



- Transistor: chave eletrônica, conduz entre coletor e emissor quando um pequeno sinal de corrente é inserido no terminal de base.



# REVISÃO

- **Exercício:** Monte os circuitos dos exemplos apresentados nessa aula no Tinkercad e observe o funcionamento de cada um. Utilize o multímetro no Tinkercad para realizar medições e comparar os resultados simulados com os cálculos.

**FIM**