# Circuitos Elétricos

João Paulo Costa de Araújo - IFRN

27 de maio de 2024

joao.costa@ifrn.edu.br

# O que vamos estudar?

- Revisão: Representação numérica em potência de dez
- Definições iniciais importantes
- Leis de *Kirchhoff*
- Associação de resistores
- Divisor de tensão
- Divisor de corrente
- Ponte de *Wheatstone*
- Geradores de tensão
- Wattímetro e suas conexões

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

## Representação numérica em potência de dez

**Provocação:** Considerando que **1C** (*Um coulomb*) é a carga elétrica correspondente a 6250000000000000000 partículas (seis quintilhões e duzentos e cinquenta quatrilhões de partículas de partículas), qual a quantidade de partículas correspondentes a carga elétrica de 0,000849 C ?

Manipular essas quantidades de grandezas da forma como foram apresentadas se torna complicado. Para resolver esse problema, representamos as grandezas através de potências de dez.

$6,25.10^{18}$ partículas

$8,49.10^{-4}$ Coulomb

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Representação numérica em potência de dez

**Múltiplos**

$10 = 10^1$
$100 = 10^2$
$1000 = 10^3$
$10000 = 10^4$
$100000 = 10^5$
$1000000 = 10^6$

**Submúltiplos**

$1 = 10^0$
$0,1 = \frac{1}{10} = 10^{-1}$
$0,01 = \frac{1}{100} = 10^{-2}$
$0,001 = \frac{1}{1000} = 10^{-3}$
$0,0001 = \frac{1}{10000} = 10^{-4}$
$0,00001 = \frac{1}{100000} = 10^{-5}$
$0,000001 = \frac{1}{1000000} = 10^{-6}$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Representação numérica em potência de dez

**Multiplicação**

$$10^A.10^B = 10^{A+B} \tag{1}$$

**Divisão**

$$\frac{10^A}{10^B} = 10^A.10^{-B} = 10^{A-B} \tag{2}$$

# Representação numérica em potência de dez

**Exemplos**

- $10 \text{ x } 1000 = 10^1 x 10^3 = 10^{1+3} = 10^4$
- $0{,}001 \text{ x } 10000 = 10^{-3} x 10^4 = 10^{-3+4} = 10^1 = 10$
- $0{,}001 \text{ x } 0{,}000001 = 10^{-3} x 10^{-6} = 10^{-3+(-6)} = 10^{-3-6} = 10^{-9}$
- $\frac{1000}{100} = \frac{10^3}{10^2} = 10^3 x 10^{-2} = 10^{3-2} = 10^1$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Representação numérica em potência de dez

**Representação de qualquer número através de potência de dez**

- $14500 \longrightarrow 1,45x10000 = 1,45x10^4 = 14500$
- $1450 \longrightarrow 1,45x1000 = 1,45x10^3 = 1450$
- $0{,}00035 \longrightarrow \frac{3{,}5}{10000} = \frac{3{,}5}{10^4} = 3,5x10^{-4}$

A representação em potência de 10 de um número pode ser feita de várias formas:

- $0{,}00025 \longrightarrow 2,5x10^{-4}$
- $0{,}00025 \longrightarrow 25x10^{-5}$
- $0{,}00025 \longrightarrow 250x10^{-6}$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

## Representação numérica em potência de dez

### Prefixos numéricos

- Pico (p)$\Longrightarrow 10^{-12}$
- Nano (n)$\Longrightarrow 10^{-9}$
- Micro ($\mu$) $\Longrightarrow 10^{-6}$
- Mili (m) $\Longrightarrow 10^{-3}$
- Kilo (k) $\Longrightarrow 10^{3}$
- Mega (M) $\Longrightarrow 10^{6}$
- Giga (G) $\Longrightarrow 10^{9}$
- Tera (T) $\Longrightarrow 10^{12}$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Prefixos numéricos - Exemplos**

$2200 = 2,2x1000 = 2,2x10^3 = 2,2\ \mathbf{k}$
$1000 = 1x1000 = 1x10^3 = 1\ \mathbf{k}$
$0,000006 = \frac{6}{1000000} = \frac{6}{10^6} = 6x10^{-6} = 6\ \mu$
$0,010 = \frac{10}{1000} = \frac{10}{10^3} = 10x10^{-3} = 10\ \mathbf{m}$

Uma notação alternativa, muito utilizada na representação de resistência elétrica, é substituir a vírgula pelo prefixo numérico:

2,2 k $\equiv$ 2k2

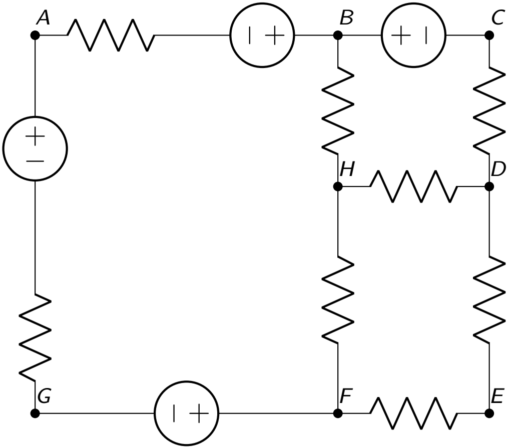
INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Fundamentos de Análise de Circuitos - Ramo, Nó e Malha

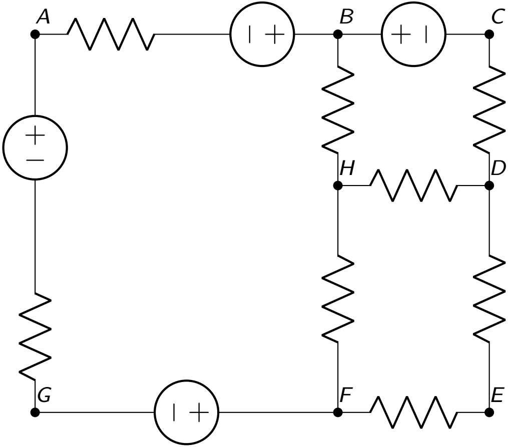
- **Nó**: Ponto do circuito onde há desvio ou junção de corrente;
- **Ramo**: Trecho entre dois nós consecutivos;
- **Malha**: *Caminho* fechado composto por ramos.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Fundamentos de Análise de Circuitos - Ramo, Nó e Malha



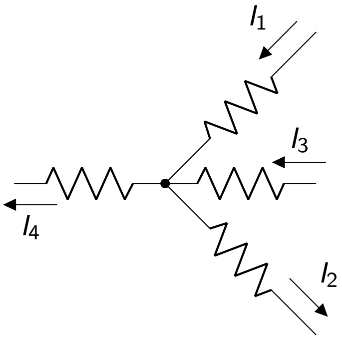
# Fundamentos de Análise de Circuitos - Ramo, Nó e Malha




**Nós:** B, D, F e H
**Ramos:** BAGF, BH, HF, BCD, HD, DEF
**Malhas:** *E ai, quantas e quais são as malhas nesse circuito?*

# Leis de Kirchhoff

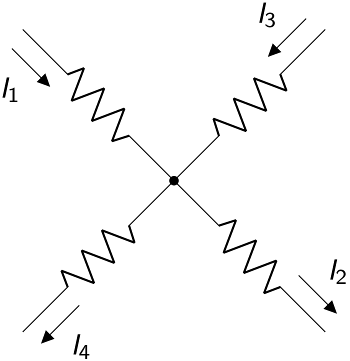
## Primeira Lei de Kirchhoff




**Enunciado da 1ª Lei de Kirchhoff:** A soma das correntes que entram em um nó é igual a soma das correntes que saem desse nó: $I_1 + I_3 = I_4 + I_2$

**Encontre o valor da corrente $I_4$**

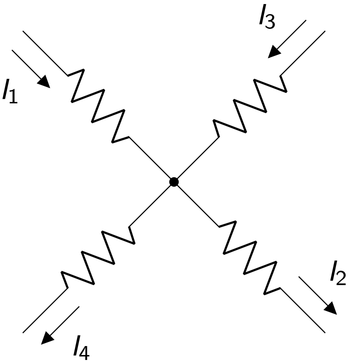
Dados: $I_1 = 10mA$, $I_2 = 0,03A$, $I_3 = 300\mu A$




**Resolução:**

**Encontre o valor da corrente $I_4$**

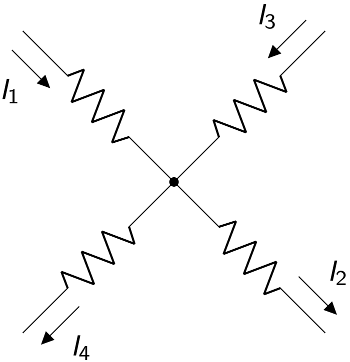
Dados: $I_1 = 10mA,\ I_2 = 0,03A,\ I_3 = 300\mu A$




**Resolução:** $I_1 + I_3 = I_4 + I_2$

**Encontre o valor da corrente $I_4$**

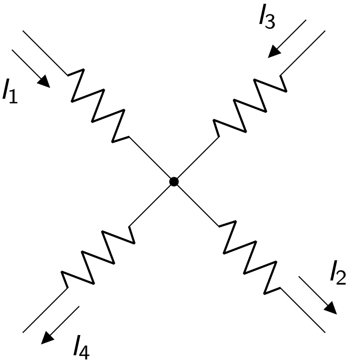
Dados: $I_1 = 10mA$, $I_2 = 0,03A$, $I_3 = 300\mu A$




**Resolução:** $I_1 - I_2 + I_3 = I_4$

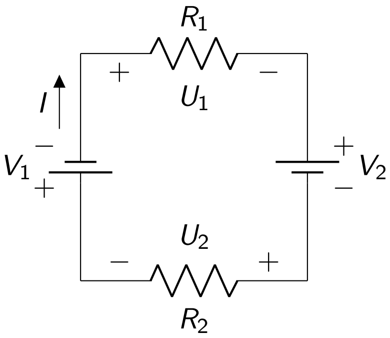
**Encontre o valor da corrente $I_4$**

Dados: $I_1 = 10mA$, $I_2 = 0,03A$, $I_3 = 300\mu A$




**Resolução:** $I_4 = 10mA - 30mA + 0,3mA = -19,7mA$

## Segunda Lei de Kirchhoff




**Enunciado da 2ª Lei de Kirchhoff:** A soma algébrica das tensões em uma malha é igual a zero:
$-V_1 - U_1 - V_2 - U_2 = 0$;

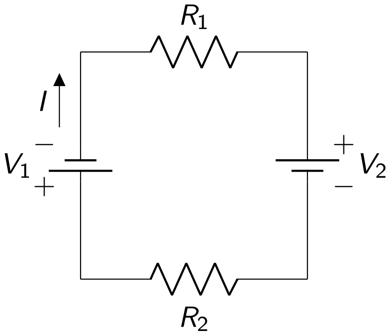
INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Segunda Lei de Kirchhoff - Passo a passo para o equacionamento:**

- **Convencione** o sentido da corrente na malha. Você pode utilizar o sentido horário **ou** anti-horário;
- Inserimos os sinais de + e - nos dispositivos presentes na malha. Nas fontes de tensão os sinais já estão indicados. Nos resistores, **convencionamos** que onde a corrente entra no resistor colocamos o sinal de + e onde a corrente sai no resistor colocamos o sinal de -;
- Equacionamos a malha escolhendo o **sentido para percorrer a malha (horário ou anti-horário)** e **convencionando** que o sinal de cada tensão é o sinal de entrada.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo**
**Escolhendo o sentido da corrente na malha.**

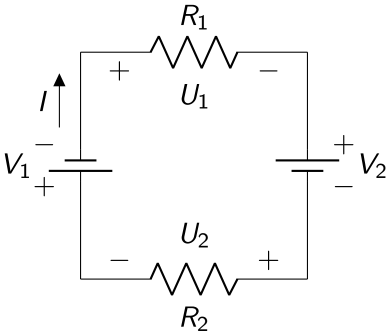



Escolhemos o sentido horário.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

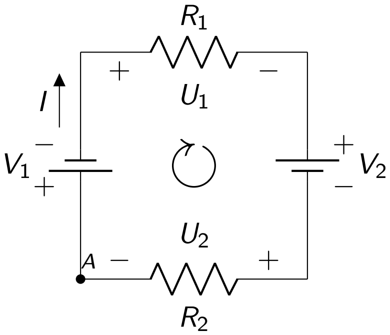
## Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo

### Inserindo os sinais de + e - nos dispositivos presentes na malha



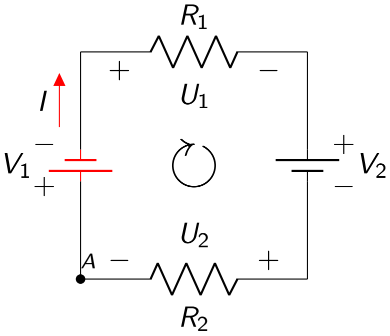

Perceba que nas fontes os sinais já são indicados. Perceba também que, nos resistores, os sinais de + encontram-se do lado onde a corrente elétrica entra.

## Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo
## Escolhendo o sentido para percorrer a malha



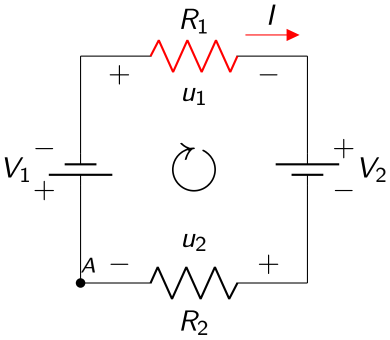

Escolhemos o sentido horário para percorrer a malha, começaremos a partir do ponto **A** e convencionamos que o sinal da tensão será o sinal de saída.

**Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo**
**Escolhendo o sentido para percorrer a malha**




$-V_1$

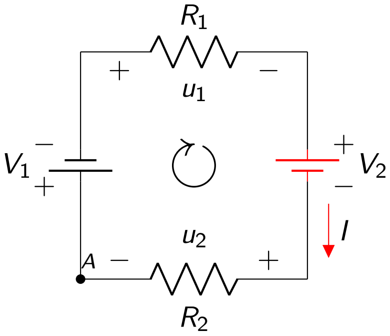
**Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo**
**Escolhendo o sentido para percorrer a malha**




$-V_1 - U_1$

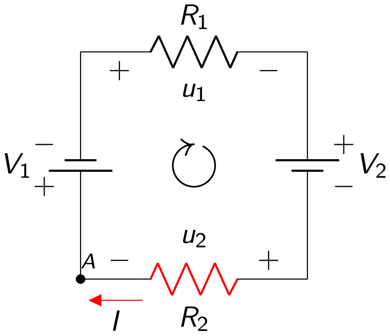
INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo**
**Escolhendo o sentido para percorrer a malha**



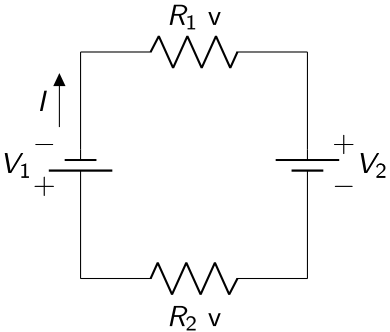

$-V_1 - U_1 - V_2$

**Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo**
**Escolhendo o sentido para percorrer a malha**



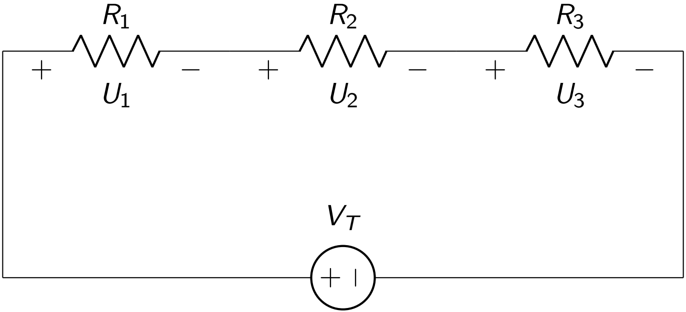

$-V_1 - U_1 - V_2 - U_2$

**Segunda Lei de Kirchhoff - Exemplo**



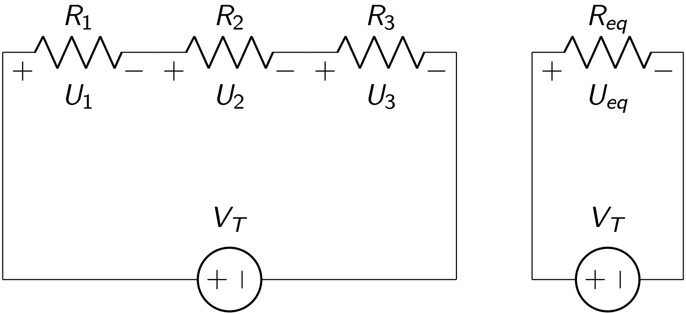

$$-V_1 - U_1 - V_2 - U_2 = 0;$$

**Associação Série**



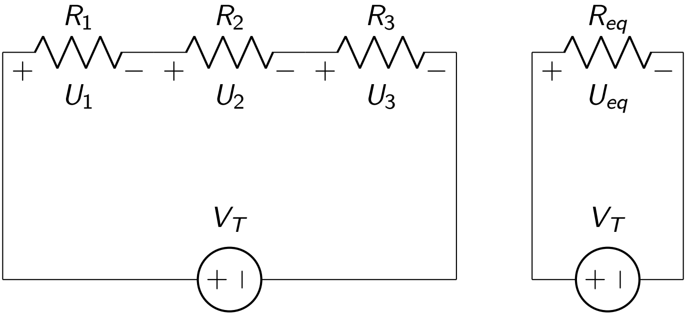

$$V_T = U_1 + U_2 + U_3$$

**Associação Série**



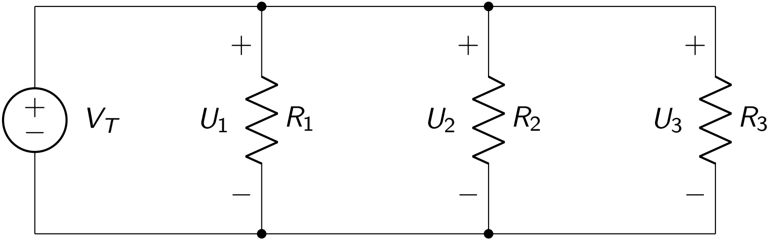

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

**Associação Série**



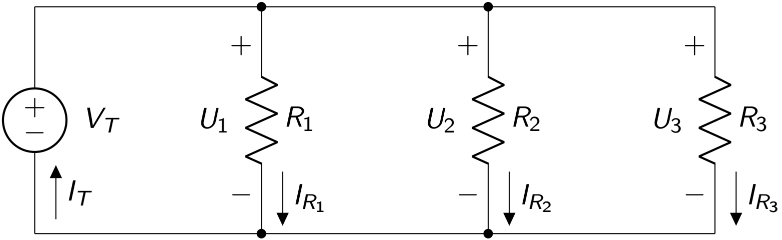

$$U_{eq} = V_T = U_1 + U_2 + U_3$$

**Associação Paralelo**




$$V_T = U_1 = U_2 = U_3$$

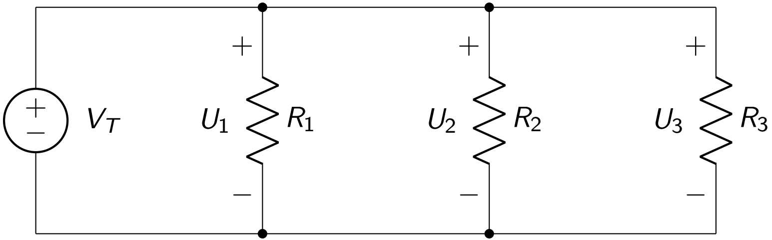
**Associação Paralelo**




$$I_T = I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3}$$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

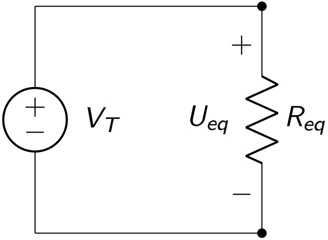
## Associação Paralelo




$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

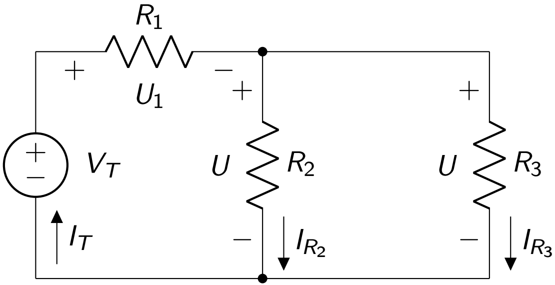
INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Associação Paralelo**




$$V_T = U_{eq}$$

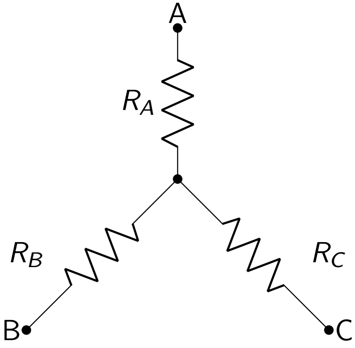
## Associação Mista




$$V_T - U_1 = U$$
$$I_T = I_{R_2} + I_{R_3}$$

# Associação de Resistores

**Associações Estrela e Triângulo**



**Transformação de Estrela em Triângulo**

Conhecendo os valores de $R_A$, $R_B$ e $R_C$ podemos calcular $R_{AB}$, $R_{AC}$ e $R_{BC}$, substituindo a associação (Antes estrela) por uma triângulo, sem que as características elétricas do circuito sejam alteradas.

**Transformação de Estrela em Triângulo**

$$R_{BC} = \frac{R_A.R_C + R_C.R_B + R_A.R_B}{R_A} \tag{3}$$

$$R_{AB} = \frac{R_A.R_C + R_C.R_B + R_A.R_B}{R_C} \tag{4}$$

$$R_{AC} = \frac{R_A.R_C + R_C.R_B + R_A.R_B}{R_B} \tag{5}$$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Transformação de Triângulo em Estrela**

Da mesma forma, conhecendo os valores de $R_{AB}$, $R_{AC}$ e $R_{BC}$ podemos calcular $R_A$, $R_B$ e $R_C$, substituindo a associação (Antes triângulo) por uma Estrela, sem que as características elétricas do circuito sejam alteradas.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Transformação de Triângulo em Estrela**

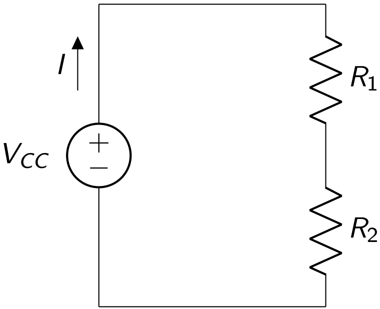
$$R_A = \frac{R_{AB}.R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}} \tag{6}$$

$$R_B = \frac{R_{AB}.R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}} \tag{7}$$

$$R_C = \frac{R_{AC}.R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}} \tag{8}$$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

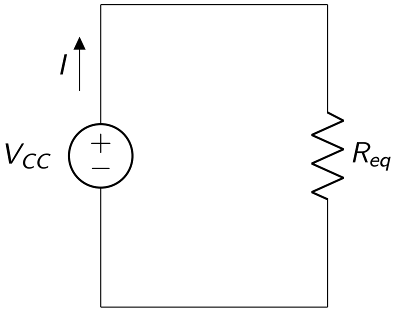
# Divisor de Tensão




A resistência equivalente desse circuito é:

$R_{eq} = R_1 + R_2$

# Divisor de Tensão

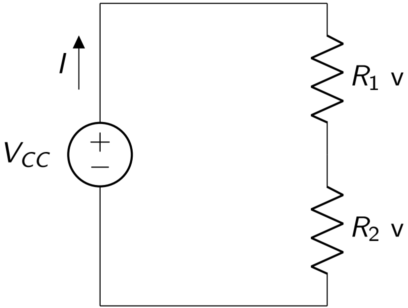



A corrente no circuito pode ser calculada por:

$$I = \frac{V_{CC}}{R_{eq}} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Divisor de Tensão

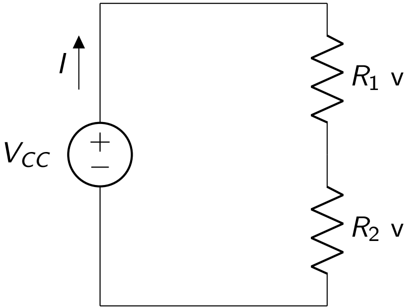



Calculando a tensão no resistor $R_1$, temos:

$$V_1 = R_1.I = R_1.\frac{V_{CC}}{R_1+R_2}$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1+R_2}.V_{CC}$$

# Divisor de Tensão

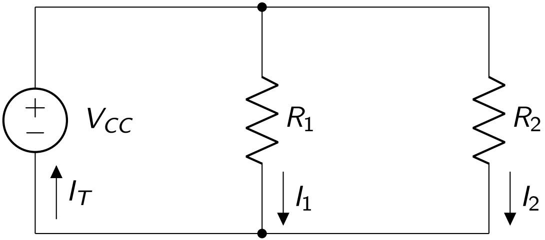



Calculando a tensão no resistor $R_2$, temos:

$$V_2 = R_2.I = R_2.\frac{V_{CC}}{R_1+R_2}$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2}.V_{CC}$$

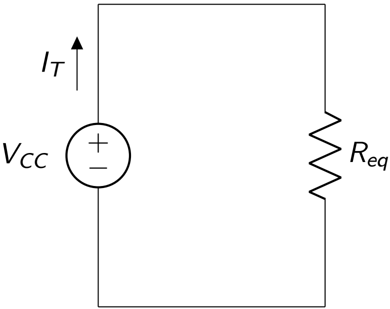
# Divisor de Corrente




A resistência equivalente desse circuito é: $R_{eq} = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Divisor de Corrente

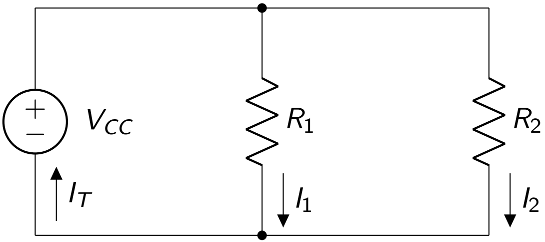



A corrente no circuito pode ser calculada por:

$I_T = \frac{V_{CC}}{R_{eq}} \longrightarrow V_{CC} = I_T.R_{eq} \longrightarrow V_{CC} = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}.I_T$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

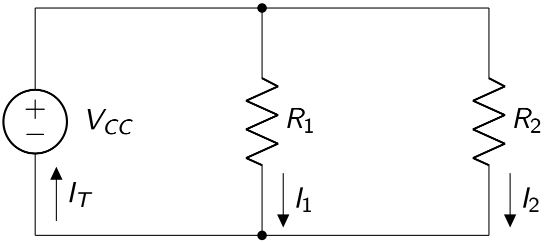
## Divisor de Corrente




A corrente no resistor $R_1$ é calculada da seguinte forma:

$$I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1} = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}.\frac{IT}{R_1} \longrightarrow I_1 = \frac{R_2}{R_1+R_2}.I_T$$

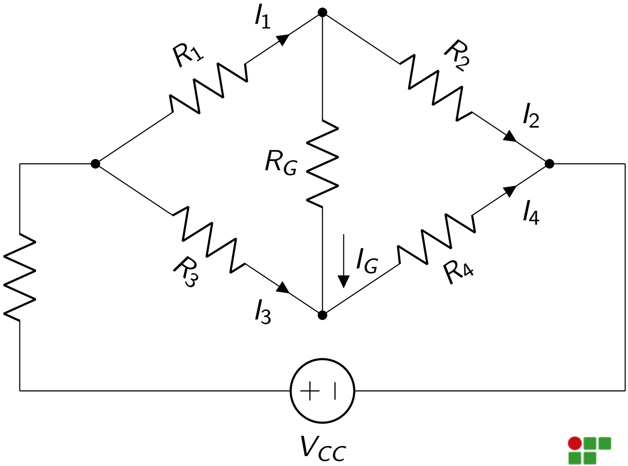
# Divisor de Corrente




A corrente no resistor $R_2$ é calculada da seguinte forma:

$$I_2 = \frac{V_{CC}}{R_2} = \frac{R_1.{\color{red}R_2}}{R_1+R_2}.\frac{IT}{{\color{red}R_2}} \longrightarrow I_2 = \frac{R_1}{R_1+R_2}.I_T$$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte



$I_1$
$R_1$
$R_2$
$I_2$
$R_G$
$I_4$
$I_G$
$R_3$
$R_4$
$I_3$
$V_{CC}$

**Ponte de Wheatstone**

Em equilíbrio a tensão em $R_G$ será nula, logo:

$I_1 = I_2 = I'$
$I_3 = I_4 = I$

Dessa forma, temos que:

$U_1 = R_1.I' = U_3 = R_3.I$
$U_2 = R_2.I' = U_4 = R_4.I$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Ponte de Wheatstone**

Dividindo termo a termo, temos:

$$\frac{R_1.I' = R_3.I}{R_2.I' = R_4.I}$$

Dessa forma, temos que:

$$R_2.R_3 = R_1.R_4$$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Ponte de Wheatstone**

- Pode ser utilizada em circuitos de medição, pois é possível substituir um dos resistores por um sensor que varia sua resistência conforme a grandeza medida. Ex.: Sensor de temperatura.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Geradores de Tensão

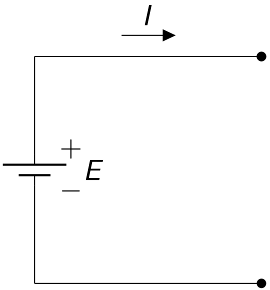
- São os mais utilizados na prática;
- Convertem algum tipo de energia em energia elétrica;
- Geradores com tensão e polaridade fixas: Pilhas, baterias etc.;
- Geradores com tensão e polaridade variáveis: Geradores de Tensão alternada.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

**Gerador de Tensão Ideal**

- Tensão constante em seus terminais, independente da corrente fornecida;
- Não possui resistência interna, logo, não possui perdas.

## Gerador de Tensão Ideal



**Gerador de Tensão Ideal - Rendimento**

$$\eta(\%) = \frac{P_E}{P_M}.100 \tag{9}$$

- $P_E = U.I$ - Potência elétrica fornecida;
- $P_M = E.I$ - Potência motriz que faz o gerador funcionar (Não elétrica).

Como $U = E$, independente do valor da corrente, o rendimento do gerador ideal será sempre 100%, ou seja, toda energia gerada é consumida, sem perdas.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

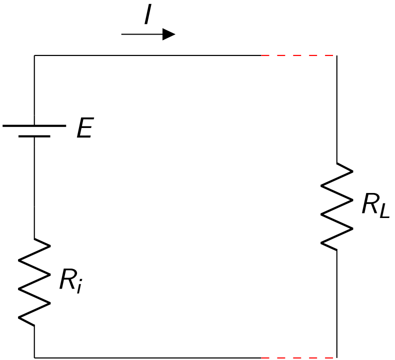
# Geradores de Tensão

## Gerador de Tensão Real

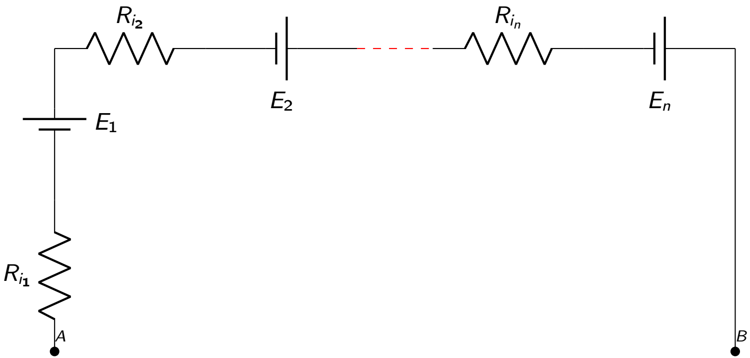
- Apresenta perdas ($\eta < 1$);
- Essas perdas se dá pela presença de uma resistência interna ($R_i$);
- Devido a essa resistência interna, a tensão fornecida dependerá da intensidade de corrente.

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

## Gerador de Tensão Real

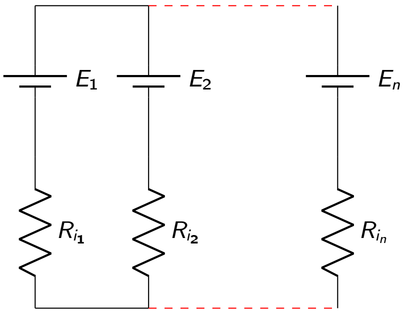


## Gerador de Tensão Real - Associação série




$E_{eq} = E_1 + E_2 + ... + E_n$
$R_{i(eq)} = R_{i_1} + R_{i_2} + ... + R_{i_n}$

## Gerador de Tensão Real - Associação paralelo

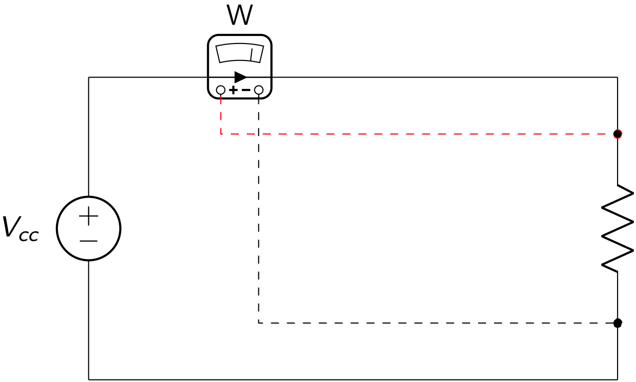



$E_{eq} = E_1 = E_2 = E_n$

$\frac{1}{R_{i(eq)}} = \frac{1}{R_{i_1}} + \frac{1}{R_{i_2}} + ... + \frac{1}{R_{i_n}}$

INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte

# Wattímetro e suas conexões



# Wattímetro e suas conexões

- Wattímetro é um instrumento utilizado para medir **potência elétrica**;
- A potência é calculada no instrumento medindo-se a corrente e a tensão elétrica;
- Logo, na ligação do wattímetro há quatro conexões, uma em série para medir a corrente e outra em paralelo para medir a tensão;
- Existem também os alicates wattímetro, onde a corrente elétrica é medida pelo princípio da indução eletromagnética.

# Bibliografia utilizada e contato


- ALBUQUERQUE, Rômulo Oliveira. **Circuitos em corrente contínua**; São Paulo; Ed. Érica 2007
- MARKUS, Otávio. **Circuitos em corrente contínua e corrente alternada**; São Paulo; Ed. Érica 2007
- GUSSOW, Milton. **Eletricidade básica**; São Paulo; McGraw-Hill do Brasil; 2009



Professor João Paulo Costa de Araújo

Contato: joao.costa@ifrn.edu.br


INSTITUTO FEDERAL
Rio Grande do Norte