

LOM3202 –CIRCUITOS ELÉTRICOS

AULA 1

Prof. Dr. Emerson G. Melo

- Apresentação da Disciplina

- Elementos de Circuitos:

 - Fontes de Tensão;

 - Fontes de Corrente;

 - Resistor.

- Lei de Ohm

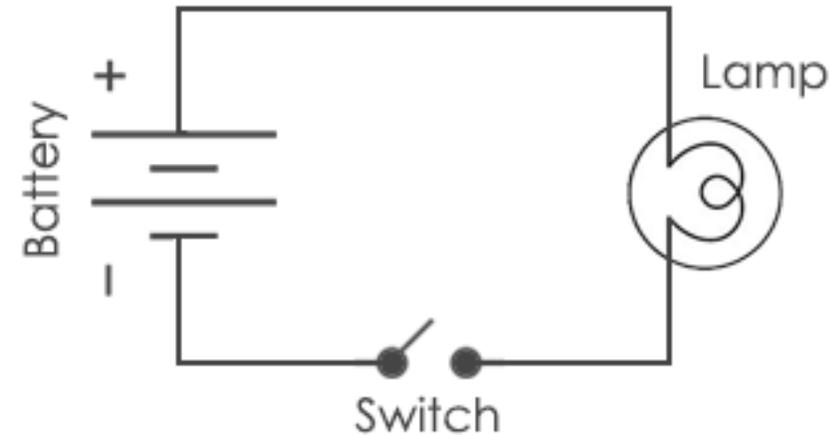
- Potência Elétrica

- Exercícios

- ❑ Engenheiro: profissional que aplica ferramentas matemáticas para manipular modelos físicos que descrevem fenômenos naturais com o objetivo de prover soluções para necessidades práticas;
- ❑ Sistemas eletroeletrônicos fazem parte de nosso estilo de vida;
- ❑ Podem ser classificados em cinco grandes áreas:
 - ❑ Potência: geração, transmissão, distribuição de energia;
 - ❑ Comunicação: telefonia, satélites, redes, comunicações ópticas;
 - ❑ Processamento de sinais: captação, conformação, reprodução de áudio e imagens;
 - ❑ Controle: sensoriamento, atuação, lógica;
 - ❑ Computação: interface, processamento, armazenamento de informação.
- ❑ Todas essas áreas estão relacionadas com Teoria de Circuitos e Eletromagnetismo.

Apresentação da Disciplina

- Circuito elétrico: Modelo matemático que descreve de forma aproximada o comportamento de determinado sistema elétrico;



- Importante para entender como projetar, operar ou dar manutenção de forma segura e eficiente;

- ❑ Elemento: Componente básico de um circuito;
- ❑ Análise de Circuitos: Processo de determinar as propriedades elétricas (tensão, corrente, potência) dos elementos do circuito em função do tempo ou frequência.
- ❑ Teoria de Circuitos:
 - ❑ Caso especial da Teoria Eletromagnética: estudo de cargas elétricas estáticas e em movimento;
 - ❑ Possibilita obter soluções simples para problemas que seriam difíceis de manipular apenas com teoria eletromagnética;
- ❑ Considerações necessárias para aplicar Teoria de Circuitos:
 - ❑ O sistema é pequeno o suficiente para ser representado por um modelo de parâmetros discretos.
 - ❑ Pequenas dimensões: Efeitos elétricos ocorrem de forma instantânea ao longo de todo o sistema;
 - ❑ O Balanço de Cargas é nulo no componente;
 - ❑ Não existe acoplamento magnético entre os componentes do sistema.

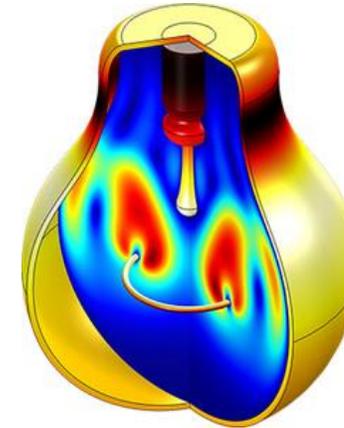
❑ Sistemas Distribuídos:

- ❑ Grandes dimensões: $l > \frac{\lambda}{10}$
- ❑ Dependência espacial e temporal;
- ❑ Consideram-se as variações de fase e transientes de tensão e/ou corrente ao longo do componente.

❑ Sistemas Discretos:

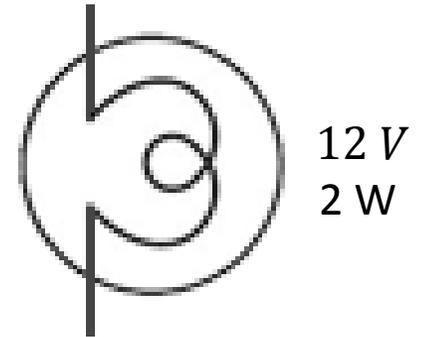
- ❑ Pequenas dimensões: $l \leq \frac{\lambda}{10}$
- ❑ Elementos pontuais: dependência temporal apenas;
- ❑ Variações de fase e transientes de tensão e/ou corrente ao longo do componente são desconsiderados.

Modelo Distribuído



Comsol (2019)

Modelo Discreto



l – dimensão do componente
 λ – comprimento de onda

Apresentação da Disciplina

- LOM3202 – Objetivo: Compreender os fundamentos da teoria de circuitos elétricos e aplicar técnicas de análise para descrever o comportamento de circuitos elétricos.

Apresentação da Disciplina

□ LOM3202 – Cronograma

Data	Aula	Assunto
26/08/2020	1	Apresentação da Disciplina; Elementos de Circuitos; Lei de Ohm; Potência Elétrica.
02/09/2020	2	Divisores de Tensão e Corrente; Resistência Série e Paralela; Conversões Y-Delta.
09/09/2020	3	Leis de Kirchhoff; Análise Nodal; Análise de Malhas.
16/09/2020	4	Linearidade e Superposição; Transformação de Fontes; Thévenin e Norton; Máxima Transferência de Potência.
23/09/2020	5	Semana da Engenharia Física.
30/09/2020	6	Capacitores; Indutores; Circuitos de Primeira Ordem; Resposta Natural e Resposta ao Degrau Unitário.
07/10/2020	7	Prova P1
14/10/2020	8	Circuitos de Segunda Ordem; Resposta Natural e Resposta ao Degrau Unitário.
21/10/2020	9	Senoides e Fasores; Impedância e Admitância.
28/10/2020	10	Leis de Kirchhoff no Domínio da Frequência: Análise Nodal e de Malhas.
04/11/2020	11	Ressonância.
11/11/2020	12	Filtros.
18/11/2020	13	Análise de Potência em CA: Instantânea e Média; Valores Eficazes de Tensão e Corrente; Potência Aparente e Fator de Potência; Potência Complexa.
25/11/2020	14	Indutância Mútua; Transformador Linear; Transformador Ideal.
02/12/2020	15	Prova P2
09/12/2020	16	Recuperação

□ LOM3202 – Critérios de Avaliação

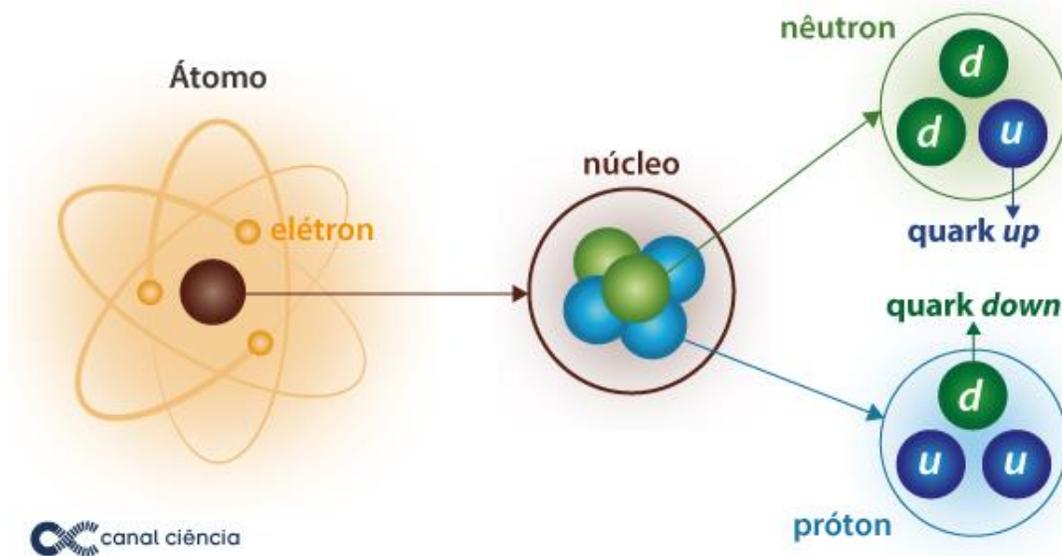
$$\text{Conceito Final (CF)} = \frac{P1 + 2P2}{3}$$

$$2^{\text{a}} \text{ Avaliação} = \frac{CF + PR}{2}$$

□ LOM3202 – Bibliografia:

- JOHNSON, D. E. “Fundamentos de análise de circuitos elétricos,” Prentice Hall, 1994.
- HAYT, W. H. “Análise de circuitos em engenharia,” McGraw-Hill, 1975.
- DESOER, C. A. “Teoria básica de circuitos,” Guanabara Dois, 1979.
- SCOTT, R. E. “Elements of linear circuits,” Addison Wesley.
- EDMINISTER, J. A. “Circuitos elétricos,” McGraw-Hill.
- C. K. Alexander, e M. N. O. Sadiku, “Fundamentos de Circuitos Elétricos”, 5 ed., Porto Alegre, AMGH (2013).

- ❑ Carga Elétrica: Propriedade das partículas que compõem a matéria;



Carga Elétrica Elementar (e)

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Elétrons: } e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Prótons: } e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

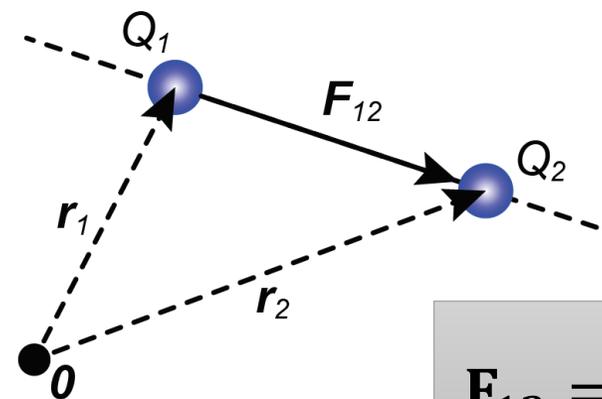
- ❑ Unidade de medida: Coulomb (C)

$$Q = ne \text{ (C)}$$

n = número de elétrons em falta ou excesso

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{1\text{C}}{1,602 \times 10^{-19}\text{C}} = 6,24 \times 10^{18} \text{ elétrons}$$

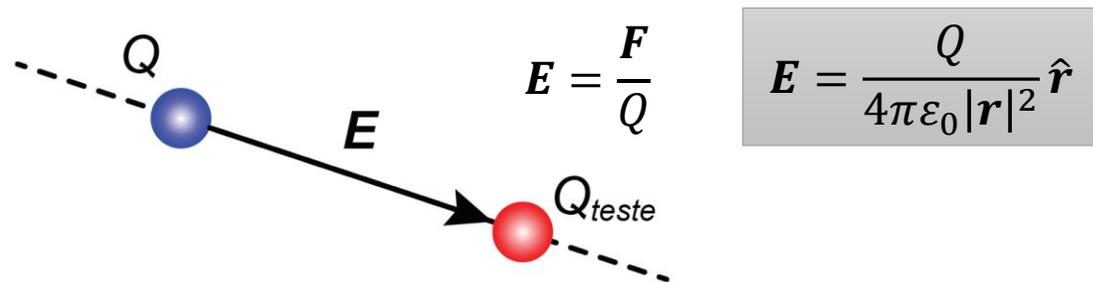
- ❑ Lei de Coulomb



$$\mathbf{F}_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r}_{12}|^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

□ Campo Elétrico: Força elétrica por unidade de carga;

□ Unidade de Medida: N/C ou V/m



□ Exemplo: Duas cargas pontuais de 5 nC e -2 nC estão localizadas, respectivamente, nas coordenadas cartesianas (2, 0, 4) e (-3, 0, 5). Calcule o vetor campo elétrico e a intensidade da força elétrica exercida sobre uma carga de 1 nC localizada em (1, -3, 7).

$$E = \frac{5 \times 10^{-9}[(1\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 7\mathbf{k}) - (2\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 4\mathbf{k})]}{4\pi\epsilon_0|(1\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 7\mathbf{k}) - (2\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 4\mathbf{k})|^3} - \frac{2 \times 10^{-9}[(1\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 7\mathbf{k}) - (-3\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 5\mathbf{k})]}{4\pi\epsilon_0|(1\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 7\mathbf{k}) - (-3\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 5\mathbf{k})|^3}$$

$$E = \frac{44,938(-1\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 3\mathbf{k})}{|(-1\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 3\mathbf{k})|^3} - \frac{17,975(4\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 2\mathbf{k})}{|(4\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 2\mathbf{k})|^3}$$

$$E = 0,542(-1\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 3\mathbf{k}) - 0,115(4\mathbf{i} - 3\mathbf{j} + 2\mathbf{k})$$

$$E = -1,002\mathbf{i} - 1,281\mathbf{j} + 1,396\mathbf{k} \quad V/m$$

$$F = QE$$

$$F = 1 \times 10^{-9}(-1,002\mathbf{i} - 1,281\mathbf{j} + 1,396\mathbf{k})$$

$$F = -1,002\mathbf{i} - 1,281\mathbf{j} + 1,396\mathbf{k} \quad nN$$

$$|F| = 2,143 \text{ nN}$$

□ O Trabalho (W) realizado pela força elétrica ao transportar uma carga Q' em equilíbrio e sob a ação de uma outra carga Q , de uma posição r_i inicial até uma posição r_f final é:

$$W = \int_C \mathbf{F} \cdot d\mathbf{L}$$

$$W = \int_C \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q'Q}{|r|^2} \hat{\mathbf{r}} \cdot (dr\hat{\mathbf{r}})$$

$$W = \frac{Q'Q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_i}^{r_f} \frac{1}{r^2} dr \quad W = -\frac{Q'Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} \right)_{r_i}^{r_f}$$

$$W = -\frac{Q'Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right]$$

- i) O trabalho independe do caminho;
- ii) Se o ponto inicial coincide com o ponto final, o trabalho é nulo;
- iii) A força elétrica é conservativa;

Existe uma energia potencial elétrica associada à ela!!!

$$W = -\Delta U$$

$$\Delta U = \frac{Q'Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right]$$

- Tensão (V) ou Diferença de Potencial Elétrico é a quantidade de energia por unidade de carga necessária para transportar uma carga elétrica de um ponto *a* para um ponto *b*;

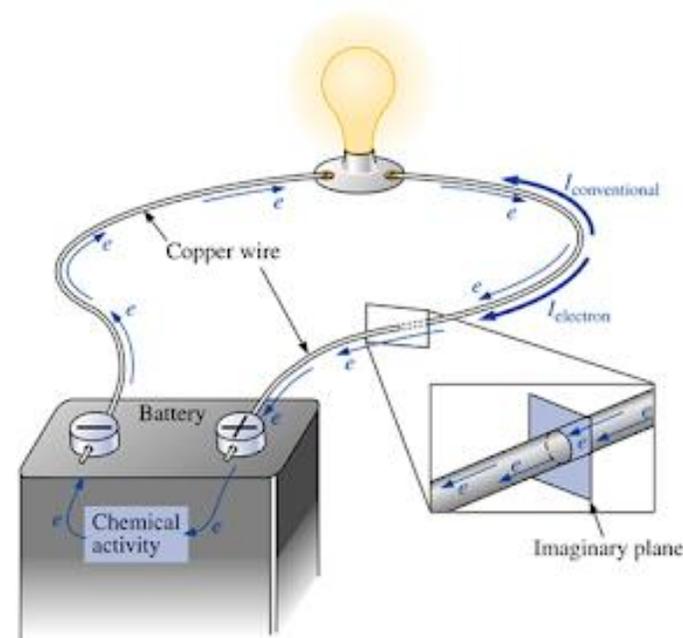
$$V_{ab} = \frac{\Delta U}{Q'}$$

$$V_{ab} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right]$$

Unidade de Medida: J/C ou Nm/C ou V (Volt)

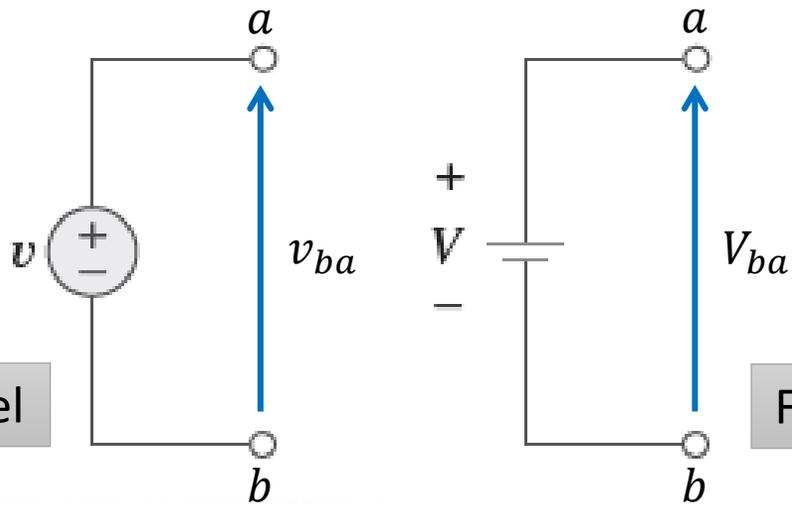
$$V_{ab} = V_b - V_a$$

- A existência de uma diferença de potencial indica que um sistema é capaz de mover cargas elétricas, ou seja, sustentar uma corrente elétrica!!!



Elementos de Circuitos: Fontes de Tensão

Fonte de Tensão Independente



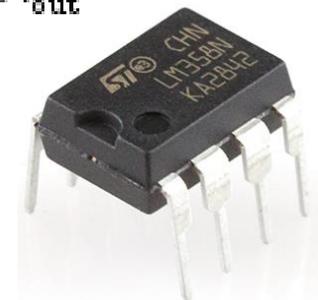
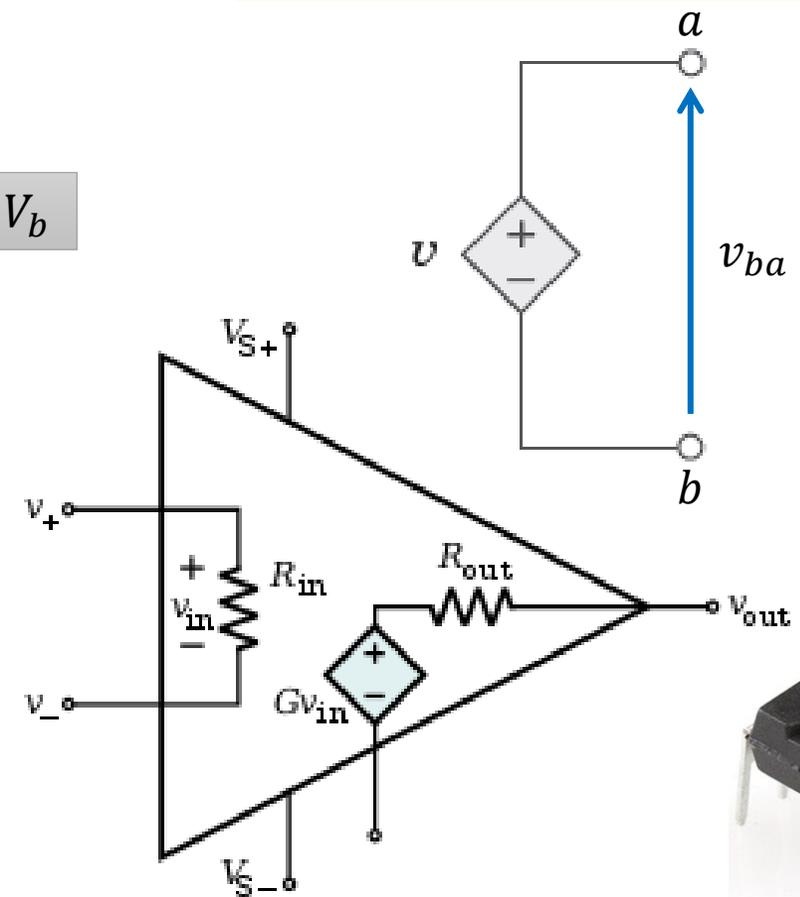
Variável

Fixa



Fonte de Tensão Dependente (ou controlada)

$$V_{ba} = V_a - V_b$$



❑ Elétrons livres em um condutor promovem a Corrente de Condução ao serem impulsionados por um campo elétrico (\mathbf{E}).

❑ A força (\mathbf{F}) sobre um elétron é:

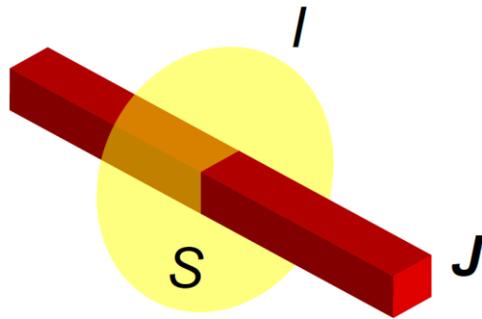
$$\mathbf{F} = -e\mathbf{E} = \frac{m\mathbf{u}}{\tau} \quad \rightarrow \quad \mathbf{u} = \frac{-e\tau}{m}\mathbf{E}$$

❑ Densidade de corrente (\mathbf{J}):

$$\mathbf{J} = \rho_v \mathbf{u} \quad \rho_v = -ne \quad \mathbf{J} = \frac{ne^2\tau}{m}\mathbf{E}$$

$-e =$ carga do elétron ($1,602E - 19$ C)
 $m =$ massa do elétron ($9,11E - 31$ kg)
 $\mathbf{u} =$ velocidade (m/s)
 $\tau =$ tempo de relaxação (s)
 $\rho_v =$ densidade de cargas (C/m^3)
 $n =$ densidade de elétrons (m^{-3})

- ❑ Equação da continuidade: conservação das cargas elétricas;
- ❑ Corrente Elétrica (i): Fluxo de cargas elétricas por unidade de tempo;



$$i = \frac{dQ}{dt} = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$$

$Q =$ carga elétrica (C)
 $t =$ tempo (s)

$J =$ densidade de corrente (A/m^2)

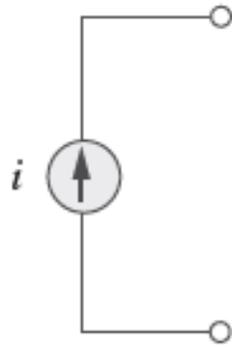
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

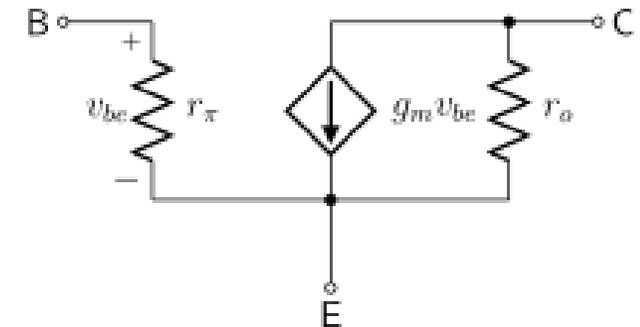
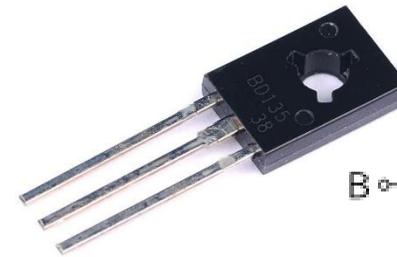
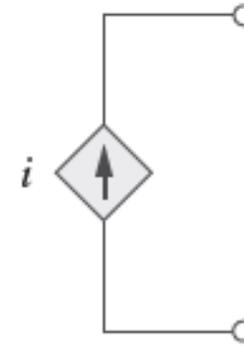
- ❑ Unidade de Medida: Ampère (A); $1A = \frac{1C}{1s}$

Elementos de Circuitos: Fontes de Corrente

Fonte de Corrente Independente



Fonte de Corrente Dependente (ou controlada)



- Condutividade Elétrica (σ): Indica o grau de facilidade encontrado pelos elétrons para se moverem através do condutor.

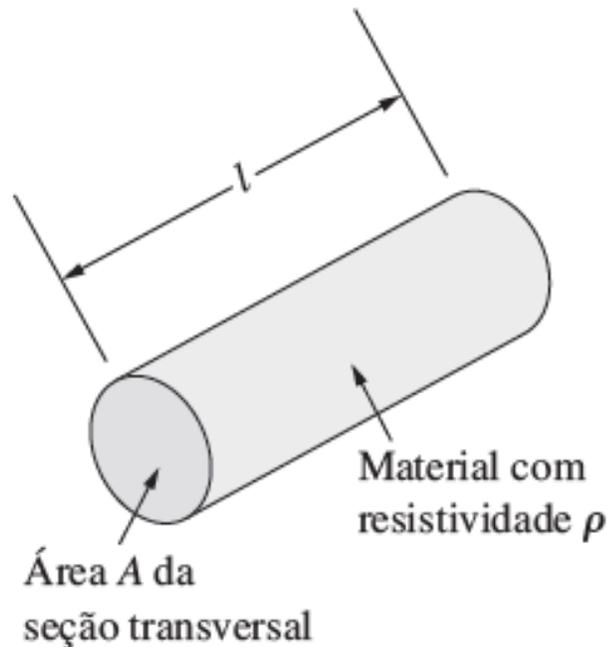
$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$

- Resistividade Elétrica (ρ): Inverso da condutividade, ou seja, indica o grau de oposição à circulação da corrente elétrica.

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Unidade de Medida: Ωm (Ohm x metro)

- Resistência Elétrica (R): propriedade caracterizada pela oposição ao fluxo de cargas elétricas através do material;



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

Segunda Lei de Ohm

Unidade de Medida: Ω (Ohm)

Material	ρ (Ωm)	Característica
Prata	$1,64 \times 10^{-8}$	Condutor
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$	Condutor
Alumínio	$2,8 \times 10^{-8}$	Condutor
Ouro	$2,45 \times 10^{-8}$	Condutor
Germânio	47×10^{-2}	Semicondutor
Silício	$6,4 \times 10^2$	Semicondutor
Papel	10^{10}	Isolante
Mica	5×10^{11}	Isolante
Vidro	10^{12}	Isolante

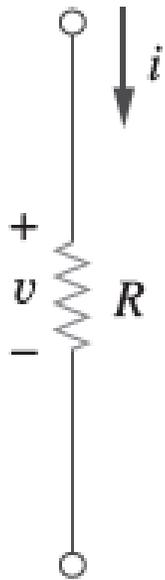
□ Condutância Elétrica (G): inverso da resistência elétrica;

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

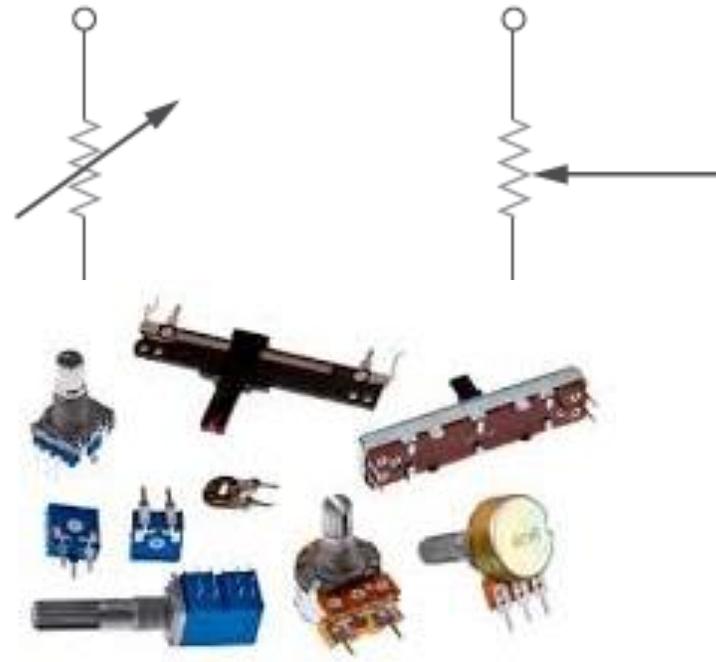
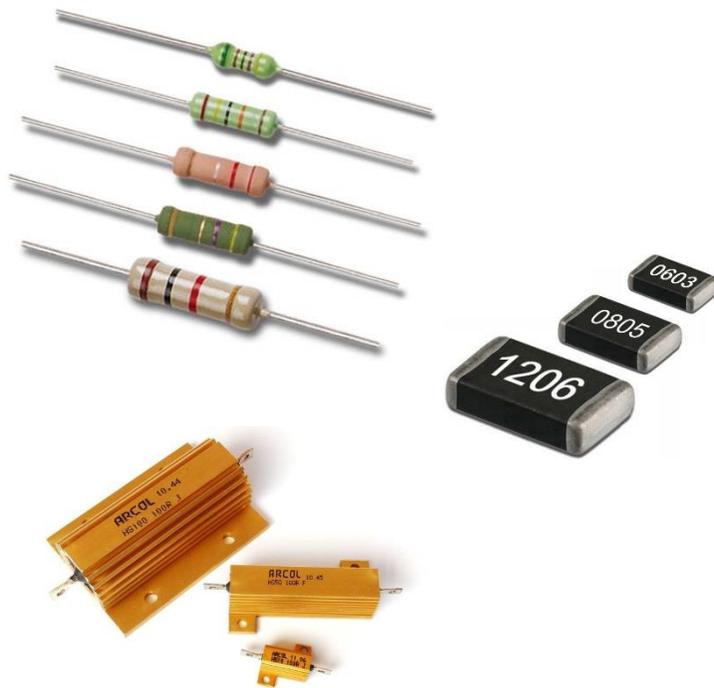
Unidade de Medida: Siemens – S ou \mathcal{U} (mho)

Elementos de Circuito: Resistor

Resistor: elemento de circuito cuja finalidade é introduzir resistência em um circuito elétrico;



Fixo



Variável

□ Dependência da Temperatura

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$R = \frac{l}{A} \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

ρ – resistividade na temperatura T (Ωm)
 ρ_0 – resistividade na temperatura T_0 (Ωm)
 α – coeficiente de temperatura ($^{\circ}C^{-1}$)
 T_0 – Temperatura de referência (0 ou $20^{\circ}C$)
 T – Temperatura de operação ($^{\circ}C$)
 R – Resistência na temperatura T (Ω)
 R_0 – Resistência na temperatura T_0 (Ωm)

Material	$\alpha(^{\circ}C^{-1})$
Prata	0,0038
Cobre	0,0039
Alumínio	0,0043
Ouro	0,0034

□ Da definição de J obtêm-se a Lei de Ohm:

Parâmetros Distribuídos:

$$J = \sigma E \rightarrow E = \frac{J}{\sigma} \quad \text{ou} \quad E = \rho J$$

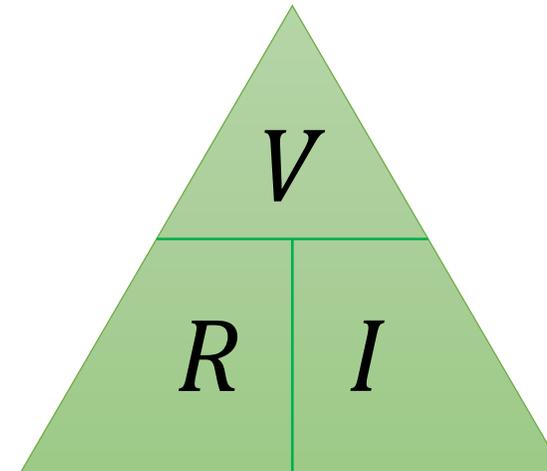
Parâmetros Concentrados:

$$I = GV \rightarrow V = \frac{I}{G} \quad \text{ou} \quad V = RI$$

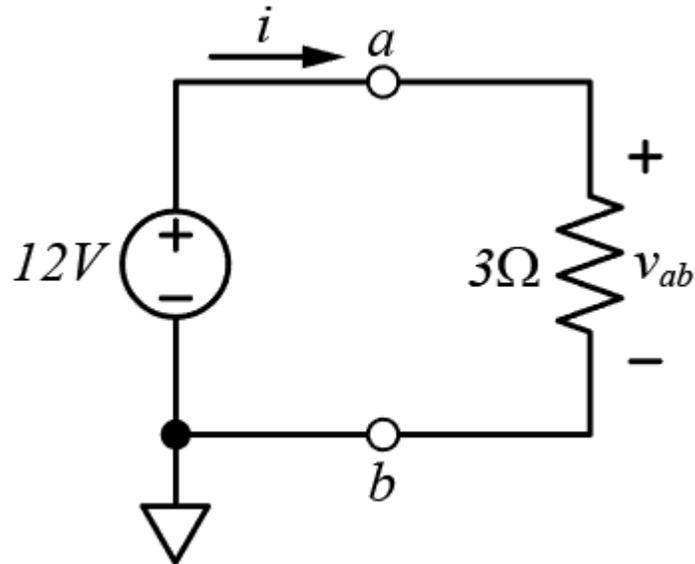
LEI de OHM

$$V = RI \quad \text{ou} \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{ou} \quad R = \frac{V}{I}$$

LEI de OHM



Estabelece a Relação entre V, I e R



$$V_a = 12V$$

$$V_b = 0V$$

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$V_{ab} = 12 - 0$$

$$V_{ab} = 12V$$

$$V = IR$$

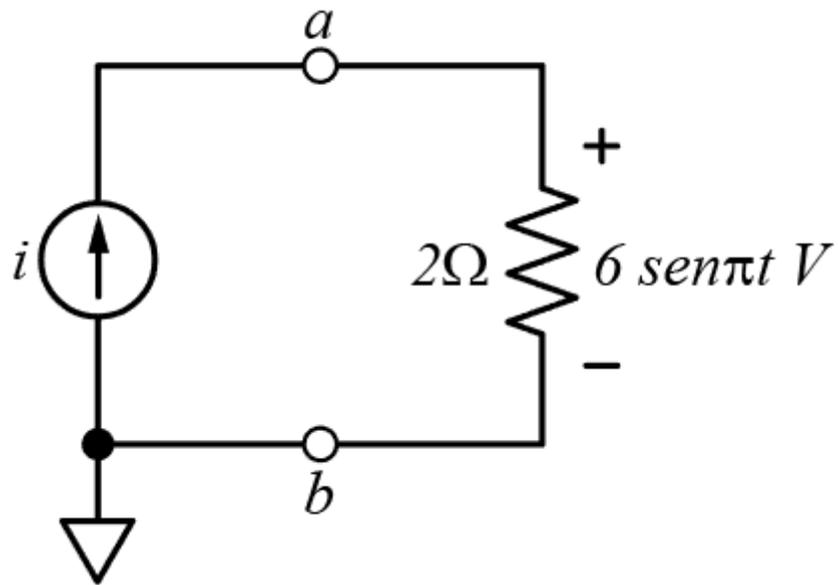
$$V_{ab} = IR_1$$

$$I = \frac{V_{ab}}{R_1}$$

$$I = \frac{12V}{3\Omega}$$

$$I = 4A$$

Estabelece a Relação entre V , I e R



$$v = iR$$

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

$$i = \frac{6 \text{ sen } \pi t}{2}$$

$$i = 3 \text{ sen } \pi t \text{ A}$$

□ Potência elétrica (P): Trabalho (W) por unidade de tempo.

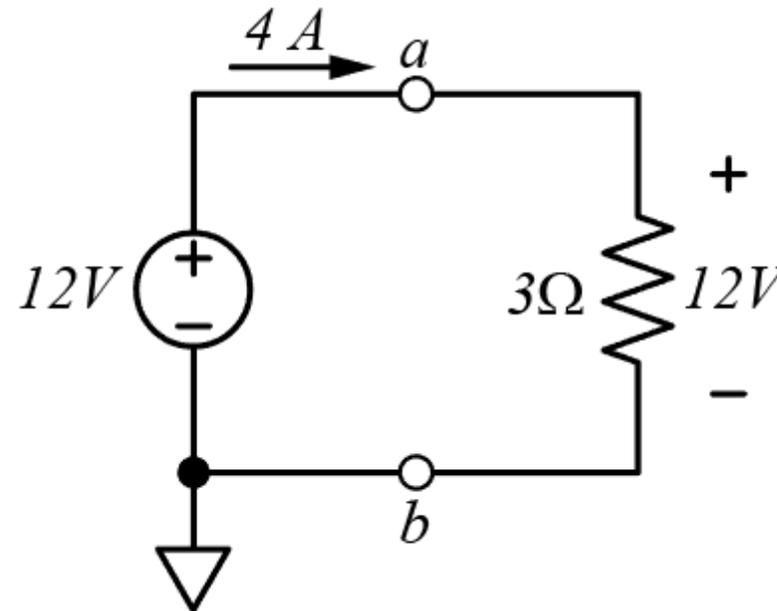
$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = vi$$

Unidade de Medida: *Watt* (J/s)

$$P = VI$$

$$P = RI^2$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$



$$P = VI$$

$$P = 12V \times 4A$$

$$P = 48W$$

- ❑1 – O decaimento da carga (q) em um circuito elétrico é definido por:
 $q(t) = 50e^{-300t} \mu\text{C}$. Determine o valor da corrente elétrica (i) nos instantes:
 $t = 0 \text{ s}$, $t = 10 \text{ ms}$ e $t = \infty$;
- ❑2 – A corrente em um circuito elétrico é dada pela equação
 $i(t) = 10(1 - e^{-2t}) \text{ A}$. Qual a carga que flui através do circuito durante 250 ms?
- ❑3 – Um fio de cobre possui 1 mm de diâmetro e 900 m de comprimento. Sua resistividade e coeficiente de temperatura à 20°C são de $1,72 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ e $0,00393 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, respectivamente. Calcule sua resistência (R_{60}) à 60°C;
- ❑4 – Calcule a corrente e a potência elétrica dissipada por um resistor de 470Ω submetido a uma diferença de potencial de 12 V.
- ❑5 – Qual a corrente que circula por um aquecedor elétrico de 6800 W quando ligado em 127 Vrms.

Respostas dos Exercícios Propostos

□1

□ $i(0) = -15 \text{ mA}$

□ $i(10^{-2}) = -0,7468 \text{ mA}$

□ $i(\infty) = 0$

□2

□ $q(250 \times 10^{-3}) = 0,5326 \text{ C}$

□3

□ $R_{60} = 22,82 \Omega$

□4

□ $I = 25,5 \text{ mA}; P = 306,4 \text{ mW}$

□5

□ $I = 53,5 \text{ A}$

- ❑ J. W. Nilsson, e S. A. Riedel, “Electric Circuits”, 9 ed., New York, Prentice Hall (2011).
- ❑ W. H. Hyat, J. E. Kemmerly, e S. M Durbin, “Análise de Circuitos em Engenharia”, 7 ed., São Paulo, McGraw-Hill (2008).
- ❑ C. K. Alexander, e M. N. O. Sadiku, “Fundamentos de Circuitos Elétricos”, 5 ed., Porto Alegre, AMGH (2013).