

APOSTILA FÍSICA EXPERIMENTAL

ATIVIDADES DE ELETRICIDADE

Centro Universitário de Anápolis - UniE-VANGÉLICA

Associação Educativa Evangélica

Conselho de Administração

Presidente – Ernei de Oliveira Pina

1º Vice-Presidente – Cicílio Alves de Moraes

2º Vice-Presidente – Ivan Gonçalves da Rocha

1º Secretário – Geraldo Henrique Ferreira Espíndola

2º Secretário – Francisco Barbosa de Alencar

1º Tesoureiro – Augusto César Rocha Ventura

2º Tesoureiro – Djalma Maciel de Lima

Centro Universitário de Anápolis

Chanceler

Ernei de Oliveira Pina

Reitor

Carlos Hassel Mendes da Silva

Pró-Reitora Acadêmica

Cristiane Martins Rodrigues Bernardes

Pró-Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Ação Comunitária

Sandro Dutra e Silva

Equipe Editorial

Núcleo Docente Estruturante do Curso de Engenharia Civil

Rogério Santos Cardoso – Diretor

Ana Lúcia Carrijo Adorno – Coordenadora Pedagógica

Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva

Eduardo Martins Toledo

Kíria Nery Alves do Espírito Santos Gomes



ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA

Unievangelica



ENGENHARIA CIVIL

Prefácio

Esta apostila foi elaborada para servir de guia durante as aulas da disciplina de *Física Experimental III*. A apostila é composta por 08 aulas práticas referentes ao conteúdo de curso Física teórica III. O roteiro de cada aula experimental é constituído de uma breve **Introdução**, seguida pela descrição dos **Objetivos** da prática, **Materiais e Métodos** que lista os materiais a serem utilizados e descreve a maneira e os passos a serem seguidos para uma boa execução do experimento. Por fim, uma seção denominada **Atividades**, que traz questões que envolvem os conceitos teóricos fundamentais da aula prática. Espero que esta apostila atenda as expectativas dos alunos e contribua para facilitar o aprendizado da disciplina.

Prof. Me. Eduardo Martins Toledo (eduardomtoledo@gmail.com)

Índice

PRÁTICA 01 – MEDIDAS ELÉTRICAS	1
PRÁTICA 02– IDENTIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA	7
PRÁTICA 03 – RESISTOR ÔHMICO E NÃO ÔHMICO	11
PRÁTICA 04 – ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES.....	16
PRÁTICA 05 – POTÊNCIA ELÉTRICA	22
PRÁTICA 06 – AS LEIS DE KIRCHHOFF	26
PRÁTICA 07 – ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES.....	33
PRÁTICA 08 – CIRCUITO RC	38
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE- EQUIPAMENTOS DO LABORATÓRIO	48
1. MULTÍMETRO	48
2. CABOS FLEXÍVEIS COM PINOS DE PRESSÃO	48
3. CONECTORES COM RESISTORES (RESISTORES)	49
4. CONECTORES COM PONTE ELÉTRICA (PONTE ELÉTRICA).....	49
5. CONECTORES COM SOQUETE E LÂMPADA DE 1,5 V	49
6. CONECTORES COM CAPACITOR (CAPACITOR).....	50
7. CHAVE LIGA/DESLIGA.....	50
8. FONTE DE TENSÃO	51
PREFIXOS DO SI	52
UNIDADES DO SI.....	53
ALGUMAS UNIDADES DERIVADAS DO SI	54
CONSTANTES FUNDAMENTAIS DA FÍSICA	55
ALGUMAS FÓRMULAS MATEMÁTICAS.....	56

PRÁTICA 01 – MEDIDAS ELÉTRICAS

1. Introdução

O multímetro permite realizar medidas de tensão, corrente, resistência elétrica, capacitância, temperatura e teste de diodos. A medida a ser realizada é determinada pela posição da chave seletora e pela utilização dos terminais adequados (**Figura 1**). Com ela, podemos selecionar a grandeza física a ser medida, bem como a sua ordem de grandeza (exemplo: 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V, etc.).



Figura 1. Multímetro e suas principais funções.

É importante que não haja aplicação de tensão nos terminais do multímetro enquanto a chave seletora não estiver na posição correta. A utilização de uma escala errada pode danificar o multímetro. Por isso, é sempre importante desligar a fonte de tensão enquanto se faz uso da chave seletora. *Em nenhuma circunstância deve-se ligar o multímetro ao circuito ou mudar a chave seletora com a fonte ligada!*

Caso não se conheça a melhor escala que deve ser usada em uma medida deve-se iniciar sempre pelas escalas de valor mais alto. Por exemplo, se vamos realizar uma medida de tensão contínua, cujo valor desconhecemos totalmente, podemos selecionar a escala de 1000 V (VC) e, a partir da leitura obtida, selecionar a escala mais adequada (a que apresentar a maior quantidade de algarismos significativos).

Para quase todas as medidas utilizam-se os terminais marcados **VΩ/HZ** e **COM**. O terminal **COM** deve estar no potencial mais baixo, caso esteja num potencial mais alto surge um sinal negativo no visor. Após a utilização, o multímetro deve ser desligado. É importante que os multímetros sejam desligados antes de serem guardados.

Múltiplos e submúltiplos

	Fator	Prefixo	Símbolo
Submúltiplos	$10^{-24} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$	<i>yocto</i>	y
	$10^{-21} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$	<i>zepto</i>	z
	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$	<i>ato</i>	a
	$10^{-15} = 0,000000000\ 000\ 001$	<i>femto</i>	f
	$10^{-12} = 0,000000000001$	<i>pico</i>	p
	$10^{-9} = 0,000000001$	<i>nano</i>	n
	$10^{-6} = 0,000001$	<i>micro</i>	μ
	$10^{-3} = 0,001$	<i>mili</i>	m
	$10^{-2} = 0,01$	<i>centi</i>	c
$10^{-1} = 0,1$	<i>deci</i>	d	
	$10^0 = 1$		
Múltiplos	$10^1 = 10$	<i>deca</i>	da
	$10^2 = 100$	<i>hecto</i>	h
	$10^3 = 1\ 000$	<i>quilo</i>	k
	$10^6 = 1\ 000\ 000$	<i>mega</i>	M
	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$	<i>giga</i>	G
	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$	<i>tera</i>	T
	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$	<i>peta</i>	P
	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$	<i>exa</i>	E
	$10^{21} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$	<i>zetta</i>	Z
$10^{24} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$	<i>yotta</i>	Y	

Exemplos:

$$1 \times 10^2 \text{ m} = 1 \text{ hm} = 1 \times 100 \text{ m} = 100 \text{ m}$$

$$1,2 \text{ kg} = 1,2 \times 10^3 \text{ g} = 1,2 \times 1\ 000 \text{ g} = 1\ 200 \text{ g}$$

$$3,4 \times 10^{-3} \text{ m} = 3,4 \text{ mm} = 3,4 \times 0,001 \text{ m} = 0,003\ 4 \text{ m}$$

2. Objetivos

Observar as funções e detalhes práticos do aparelho de medição multímetro.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- **01** quadro eletrônico CC e AC vertical como painel isolante;
- **04** conectores com ponte elétrica;
- **03** conectores com resistores;
- **03** conectores com soquete e lâmpada de 1,5 V;
- **03** capacitores com valores distintos de capacitância;
- **01** chave liga e desliga;
- **04** cabos flexíveis com pinos de pressão para derivação;
- **01** multímetro;
- **01** fonte de tensão.

3.2. Procedimento Experimental

Medindo Voltagem

- 1) Conecte **DUAS pontes elétricas** aos bornes **D2** e **D3**, **E2** e **E3**;
- 2) Conecte **TRÊS lâmpadas**: L_1 aos bornes **A1** e **A2**, $L_2 \rightarrow$ **D1** e **E1**, $L_3 \rightarrow$ **H1** e **H2**;
- 3) Conecte os **cabos com pinos de pressão** aos bornes **A3** e **H3** e faça a inserção da chave entre o painel e a fonte de tensão;
- 4) A **Figura 2** mostra o esquema de montagem.

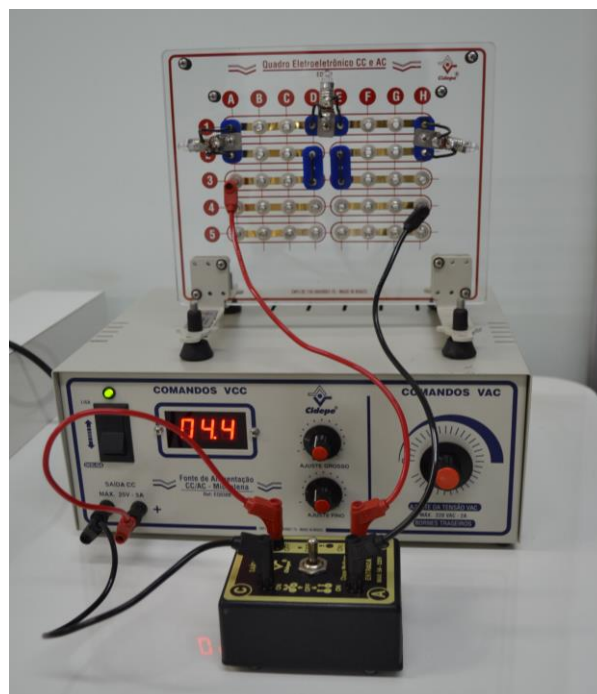


Figura 1

- 5) Ajuste a **fonte de tensão** para **4,5 VCC**;
- 6) Ligue o multímetro e selecione a função **VOLTÍMETRO (VC)**;
- 7) **Meça** a tensão (*ddp*) do circuito conectando o multímetro aos bornes **A3** e **H3**;
- 8) **Meça** a tensão aplicada a cada uma das lâmpadas ligando o voltímetro, pela parte posterior do painel, aos bornes a que as lâmpadas estão conectadas e anote na **Tabela 1**.

Tabela 1. Valores das tensões.

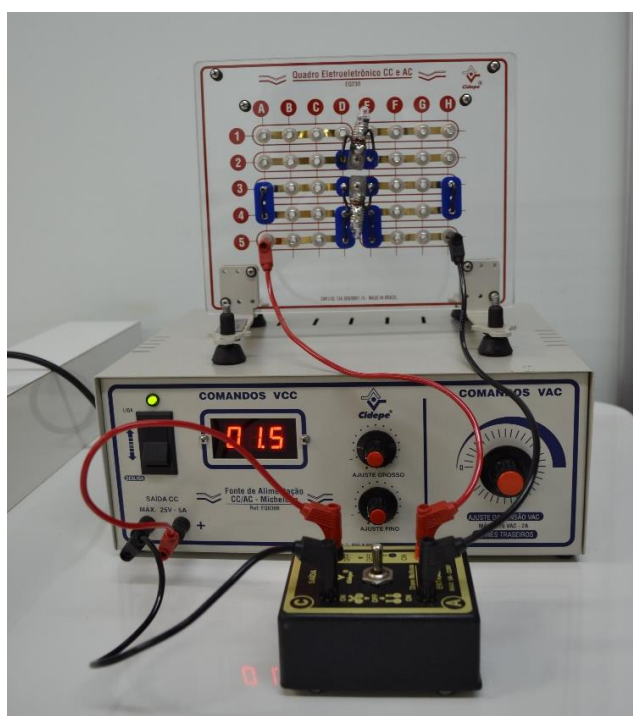
Lâmpadas	Tensões	Valores Medidos (V)
(Todas)	V_t	
L_1	V_1	
L_2	V_2	
L_3	V_3	

- 9) Com a chave ligada descreva o que ocorre quando a lâmpada L_1 é retirada da placa? Porque? Depois quando esta lâmpada é recolocada na placa? Porque?

- 10) Caso o circuito possuísse 20 lâmpadas conectada da mesma maneira que o circuito da **Figura 2** e uma das lâmpadas “queimasse”, o que aconteceria com as demais lâmpadas do circuito? Justifique sua resposta.

Medindo Corrente

- 1) Conecte os **cabos com pinos de pressão** aos bornes **A5** e **H5** e faça a inserção da chave entre o painel e a fonte de tensão.
- 2) Conecte a lâmpada L_1 aos bornes **D3** e **E3**;
- 3) Conecte a lâmpada L_2 aos bornes **D2** e **E2**;
- 4) Conecte uma ponte elétrica aos bornes **D4** e **D5**, **E4** e **E5**, **A2** e **A3**, **H2** e **H3**, **H4** e **H5**;
- 5) Ajuste a **fonte de tensão** para **1,5 VCC**. A **Figura 3** mostra o esquema de montagem.

**Figura 2**

- 6) Ligue o multímetro e selecione a função **AMPERÍMETRO (CC)**;
- 7) Retire a ponte elétrica dos bornes **D4** e **D5** e acople o **AMPERÍMETRO** nestes bornes para medir a corrente total i_T (*Repita o procedimento para os bornes E4 e E5 e verifique se o valor encontrado foi o mesmo*);
- 8) **Meça** a corrente i_2 conectando **AMPERÍMETRO** bornes **A2** e **A3** substituindo a ponte elétrica (*Repita o procedimento para os bornes H2 e H3 e verifique se o valor encontrado foi o mesmo*);
- 9) Anote as medidas na **Tabela 2**.

Tabela 2. Valores de corrente.

Lâmpadas	Correntes	Valores Medidos (A)
Associação	i_T	
L ₂	i_2	

- 10) Por meio dos valores de i_T e i_2 , procure precisar o valor de i_1
 $i_1 =$ _____
- 11) Com a chave ligada descreva o que ocorre quando a lâmpada L1 é retirada da placa? Porque? Depois quando esta lâmpada é recolocada na placa? Porque?

Medindo Resistência

- 1) Conecte a resistência **R₁** aos bornes **A1** e **A2**;
- 2) Conecte a resistência **R₂** aos bornes **A3** e **A4**;
- 3) Conecte a resistência **R₃** aos bornes **E1** e **E2**;
- 4) Ligue o multímetro e selecione a função **OHMÍMETRO**;
- 5) **Meça** a resistência **R₁** acoplado o multímetro nos bornes **A1** e **A2**;
- 6) Faça o mesmo para as resistências **R₂** e **R₃**;
- 7) Anote as medidas na **Tabela 3**.

Tabela 3. Valores de resistência.

Resistência	Valor Medido (Ω)
R₁	
R₂	
R₃	

Medindo Capacitância

- 1) Conecte o capacitor C_1 aos **bornes A1 e A2**;
- 2) Conecte o capacitor C_2 aos **bornes A3 e A4**;
- 3) Conecte o capacitor C_3 aos **bornes E1 e E2**;
- 4) Ligue o multímetro e selecione a função **CAPACÍMETRO**;
- 5) **Meça** a capacitância C_1 acoplado o multímetro nos bornes **A1 e A2**;
- 6) Faça o mesmo para as capacitâncias C_2 e C_3 ;
- 7) Anote as medidas na **Tabela 4**.

Tabela 4. Medida das capacitâncias.

Capacitância	Valor Medido (F)
C_1	
C_2	
C_3	

4. Atividades

- 1) Para que serve o instrumento voltímetro e de que forma devemos acoplá-lo no circuito?

- 2) Para que serve o instrumento amperímetro e de que forma devemos acoplá-lo no circuito?

PRÁTICA 02 – IDENTIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

1. Introdução

O resistor é um semicondutor cuja função é dificultar a passagem de corrente eléctrica, limitando a sua intensidade através de uma resistência eléctrica. O resistor apresenta-se em dois tipos: Fixo e variável (**Figura 1**). Os resistores fixos são aqueles cujo valor da resistência não pode ser alterada, enquanto que os variáveis têm a sua resistência modificada dentro de uma faixa de valores através de um cursor móvel. Dentre os tipos de resistores fixos, destacamos os de **fio**, de **filme de carbono** e o de **filme metálico**.

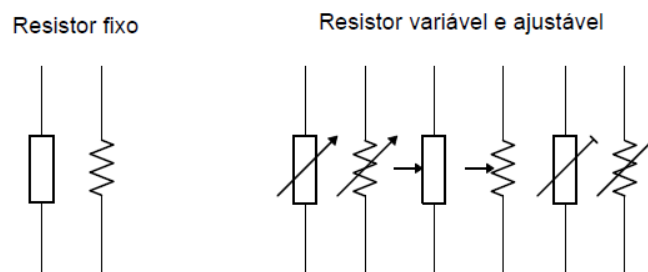


Figura 1. Tipos de resistores e símbolos.

A unidade de medida de resistência eléctrica é o **Ohm (Ω)** e os múltiplos mais usados são:

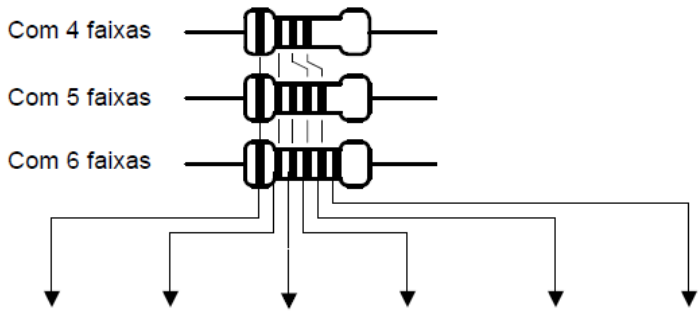
$$\text{M}\Omega \text{ (mega Ohms)} = 10^6 \Omega$$

$$\text{k}\Omega \text{ (quilo Ohms)} = 10^3 \Omega$$

Código de Cores para Identificação da Resistência

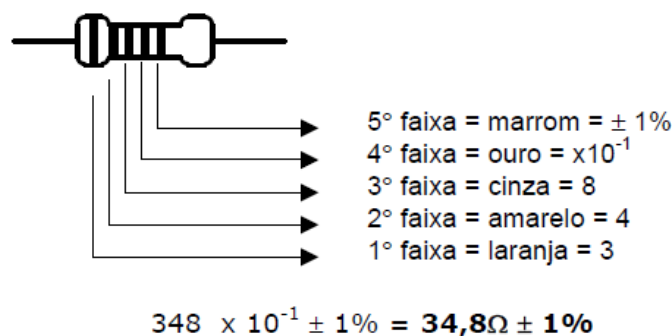
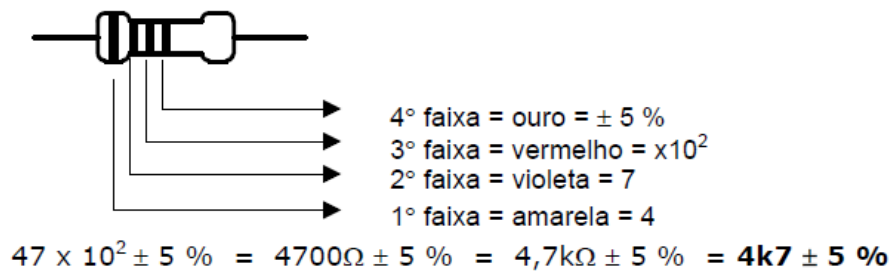
Os resistores de filme têm suas especificações informadas por anéis coloridos dispostos em uma sequência ao longo do corpo. Estes anéis recebem um código de cores conforme a **Figura 2**. Os resistores com código de cores, pode nos deixar na dúvida quanto a que lado do resistor devemos começar a leitura do código. Para esclarecermos essas dúvidas, devemos nos atentar para as seguintes dicas:

- As faixas normalmente são agrupadas do lado de um dos terminais, portanto a faixa mais próxima desse terminal é a primeira, ou primeiro algarismo significativo;
- A primeira faixa nunca deverá ser de cor **preta**, prata ou **ouro**;
- A segunda faixa nunca deverá ser de cor **prata** ou **ouro**;
- Geralmente quando não se consegue posicionar, faz-se a leitura nos dois sentidos, e a que o código de cores não permitir, descarta-se.



COR	1º Algar.	2º Algar.	3º Algar.	Fator Mult.	Toler.	Coef. T. PPM/°C
Preta	-	0	0	1	-	-
Marrom	1	1	1	10	±1%	100
Vermelha	2	2	2	10 ²	±2%	50
Laranja	3	3	3	10 ³	-	15
Amarela	4	4	4	10 ⁴	-	25
Verde	5	5	5	10 ⁵	±0,5%	-
Azul	6	6	6	10 ⁶	±0,25%	10
Violeta	7	7	7	10 ⁷	±0,1%	5
Cinza	8	8	8	10 ⁸	±0,05%	-
Branca	9	9	9	10 ⁹	-	1
Ouro	-	-	-	10 ⁻¹	±5%	-
Prata	-	-	-	10 ⁻²	±10%	-

Figura 2. Representação do código de cores.

Exemplos:

Resistores com 6 faixas, além de serem de precisão, possuem a indicação de coeficiente de temperatura. Esse coeficiente de temperatura é dado em PPM/°C, que significa Parte Por Milhão por Graus. Por exemplo, uma

faixa de coeficiente de cor laranja, significa que o resistor sofre uma variação de sua resistência de 15Ω para cada $1M\Omega$ por grau de temperatura. Podemos encontrar em alguns circuitos antigos, resistores com apenas 3 faixas, por não existir a faixa de tolerância, indicando assim que o resistor possui uma tolerância de $\pm 20\%$ (não encontrado mais comercialmente).

2. Objetivos

Determinar o valor da resistência elétrica utilizando o código de cores comercial e determinar a tolerância do valor de uma resistência.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- 08 resistores elétricos;
- Multímetro digital.

3.3. Procedimento Experimental

- 1) Identifique a sequência de cores de cada um dos **oito** resistores e anote nos campos apropriados da **Tabela 1**;
- 2) Utilizando o multímetro (na função **OHMÍMETRO**) meça o valor da resistência elétrica de cada resistor e anote na **Tabela 1**.

Tabela 1. Dados experimentais.

R	1ª Faixa	2ª Faixa	3ª Faixa	4ª Faixa	Resistência de Leitura	Resistência Medida
	Cor	Cor	Cor	Cor		
R1						
R2						
R3						
R4						
R5						
R6						
R7						
R8						

4. Atividades

- 1) Preencha a **Tabela 2** utilizando os dados obtidos da **Tabela 1**. Calcule o erro percentual¹ entre os valores de leitura (código de cores) e os medidos (multímetro), e anote os valores na última coluna da **Tabela 2**.

¹ A erro percentual é definida pela fórmula:

Tabela 2.

Resistor	Valor Leitura	Tolerância	Valor Medido	Erro Percentual
R1				
R2				
R3				
R4				
R5				
R6				
R7				
R8				

2) Compare o erro percentual com a tolerância do resistor. O que você observou? Justifique.

3) Determine a sequência de cores para os resistores abaixo

a) $10 \text{ k}\Omega \pm 5\%$: **marrom, preto, laranja e ouro**

b) $390 \text{ k}\Omega \pm 10\%$ _____

c) $5,6 \Omega \pm 2\%$ _____

d) $0,82 \Omega \pm 2\%$ _____

e) $230 \Omega \pm 10\%$ _____

$$e(\%) = \left| \frac{R_{\text{teórico}} - R_{\text{experimental}}}{R_{\text{teórico}}} \right| \cdot 100$$

PRÁTICA 03 – RESISTOR ÔHMICO E NÃO ÔHMICO

1. Introdução

Ao aplicar-se uma diferença de potencial V , sobre um condutor de resistência R , circulará sobre este condutor uma corrente elétrica i , sendo o valor da resistência dada pela equação:

$$R = \frac{V}{i} \quad (1)$$

onde V é dado em **volts (V)**, i em **ampères (A)** e R em **ohms (Ω)**.

A equação (1) é a definição geral de resistência. Ela pode ser utilizada para qualquer tipo de resistores. De modo geral, os resistores podem ser classificados como *Ôhmicos* e *Não Ôhmicos*. Um resistor é dito *Ôhmico* quando a sua resistência não depende do valor absoluto nem da polaridade da diferença de potencial aplicada, e *Não Ôhmico* se o valor da resistência depender da tensão aplicada. A **Figura 1** mostra a curva característica de um resistor *Ôhmico* e a **Figura 2** de um resistor *Não Ôhmico*.

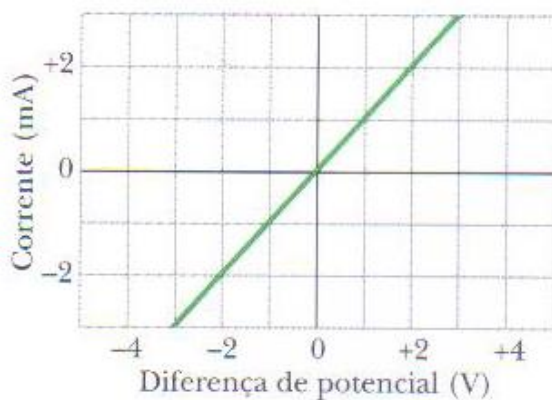


Figura 1. Gráfico $i \times V$ para um Resistor Ôhmico.

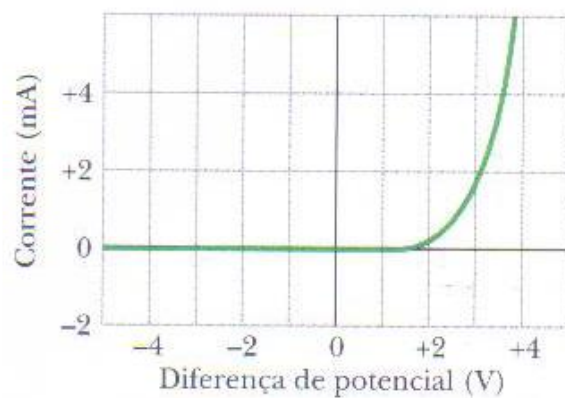


Figura 2. Gráfico $i \times V$ para Resistor Não Ôhmico.

2. Objetivos

Identificar uma resistência *Ôhmica* e *Não Ôhmica* e construir a curva característica para cada uma.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- 01 quadro eletrônico CC e AC vertical como painel isolante;
- 01 conector com resistor elétrico;
- 01 conector com lâmpada;
- 06 conexões de fios com pinos de pressão;
- 01 conector com ponte elétrica;
- 01 chave liga e desliga;

- **01** fonte de tensão;
- **02** folhas de papel milimetrado.

3.2. Procedimento Experimental

Parte A

- 1) Conecte a **pontes elétricas** aos bornes **A1** e **A2**;
- 2) Conecte o **RESISTOR R_1** aos bornes **D1** e **E1**;
- 3) Conecte um **AMPERÍMETRO** aos bornes **D2** e **E2**;
- 4) Conecte um **VOLTÍMETRO** aos bornes **C1** e **F1**;
- 5) Conecte a **chave liga e desliga** entre o terminal positivo da fonte e o borne **H1**;
- 6) Conecte o borne **H2** ao polo negativo da fonte;
- 7) Com a chave deligada verifique a polaridade do amperímetro;
- 8) Ligue a fonte de alimentação e regule para **0 VCC**;
- 9) A **Figura 3** mostra o diagrama esquemático do circuito elétrico a ser montado;

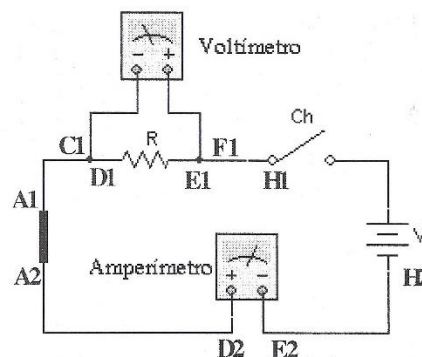


Figura 3

- 10) Eleve a fonte de tensão de **0,5 volt** em **0,5 volt** e anote o valor da corrente na **Tabela 1**;
- 11) Determine os valores da terceira coluna da **Tabela 1** utilizando a equação (1).

Tabela 1

Tensão Aplicada (V)	Intensidade de Corrente (A)	Resistência (Ω)
0,0 VCC		
0,5 VCC		
1,0 VCC		
1,5 VCC		
2,0 VCC		
2,5 VCC		

Parte B

- 1) Realize o mesmo esquema de montagem da **Parte A** trocando o conector com resistência pelo **conector com lâmpada**;
- 2) A **Figura 4** mostra o diagrama esquemático do circuito elétrico a ser montado;

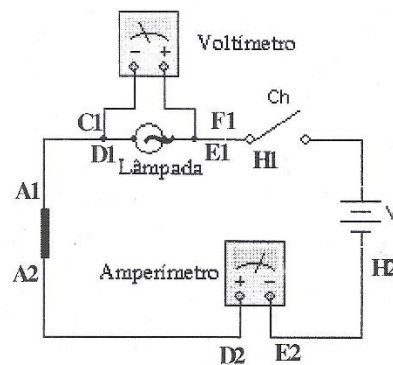


Figura 4

- 3) Ligue a fonte de alimentação e regule para **0 VCC**;
- 4) Eleve a fonte de tensão de **0,1 volt** em **0,1 volt** e anote o valor da corrente na **Tabela 2**;
- 5) Determine os valores da terceira coluna da **Tabela 1** utilizando a equação (1);

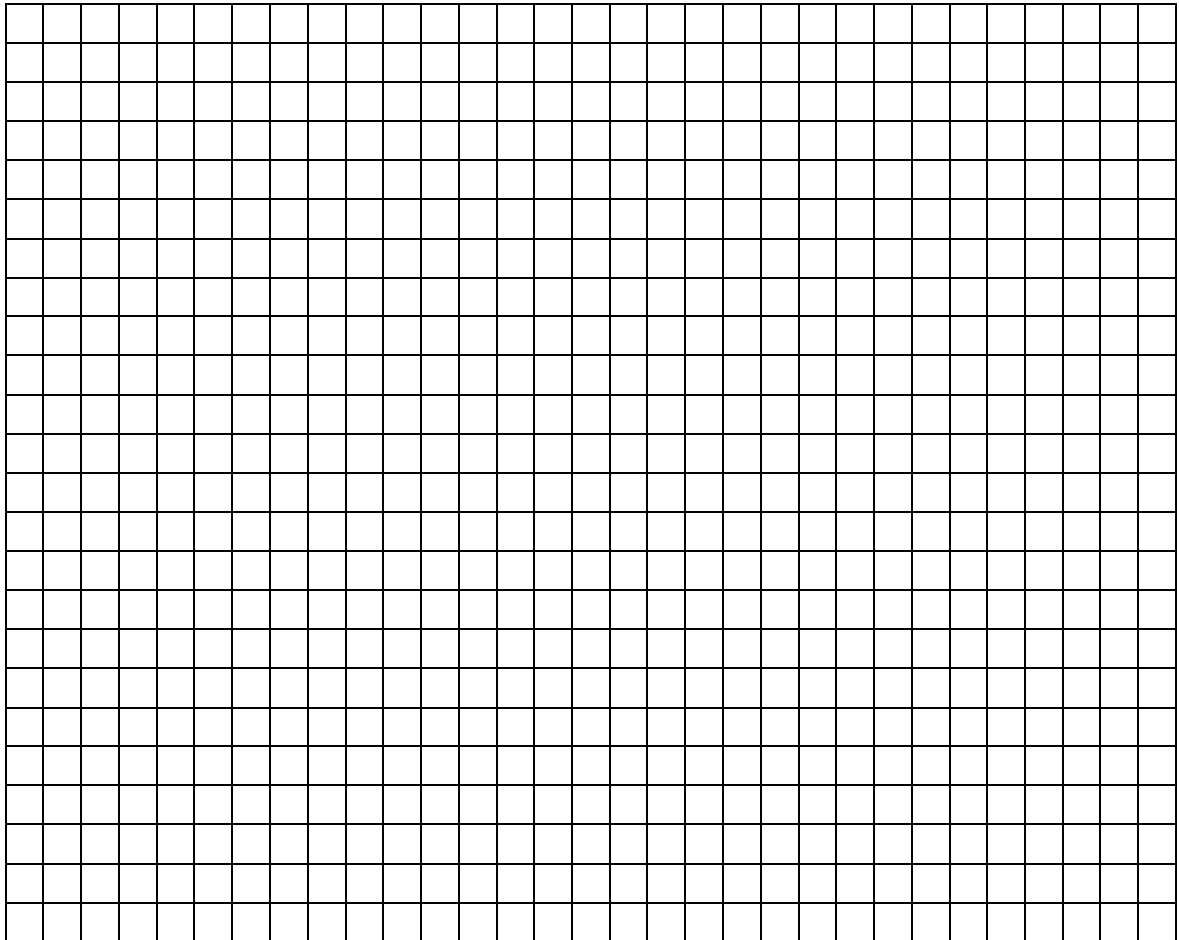
Tabela 2

Tensão Aplicada (V)	Intensidade de Corrente (A)	Resistência (Ω)
0,0 VCC		
0,1 VCC		
0,2 VCC		
0,3 VCC		
0,4 VCC		
0,5 VCC		
0,6 VCC		
0,7 VCC		
0,8 VCC		
0,9 VCC		
1,0 VCC		
1,1 VCC		
1,2 VCC		
1,3 VCC		
1,4 VCC		
1,5 VCC		

4. Atividades

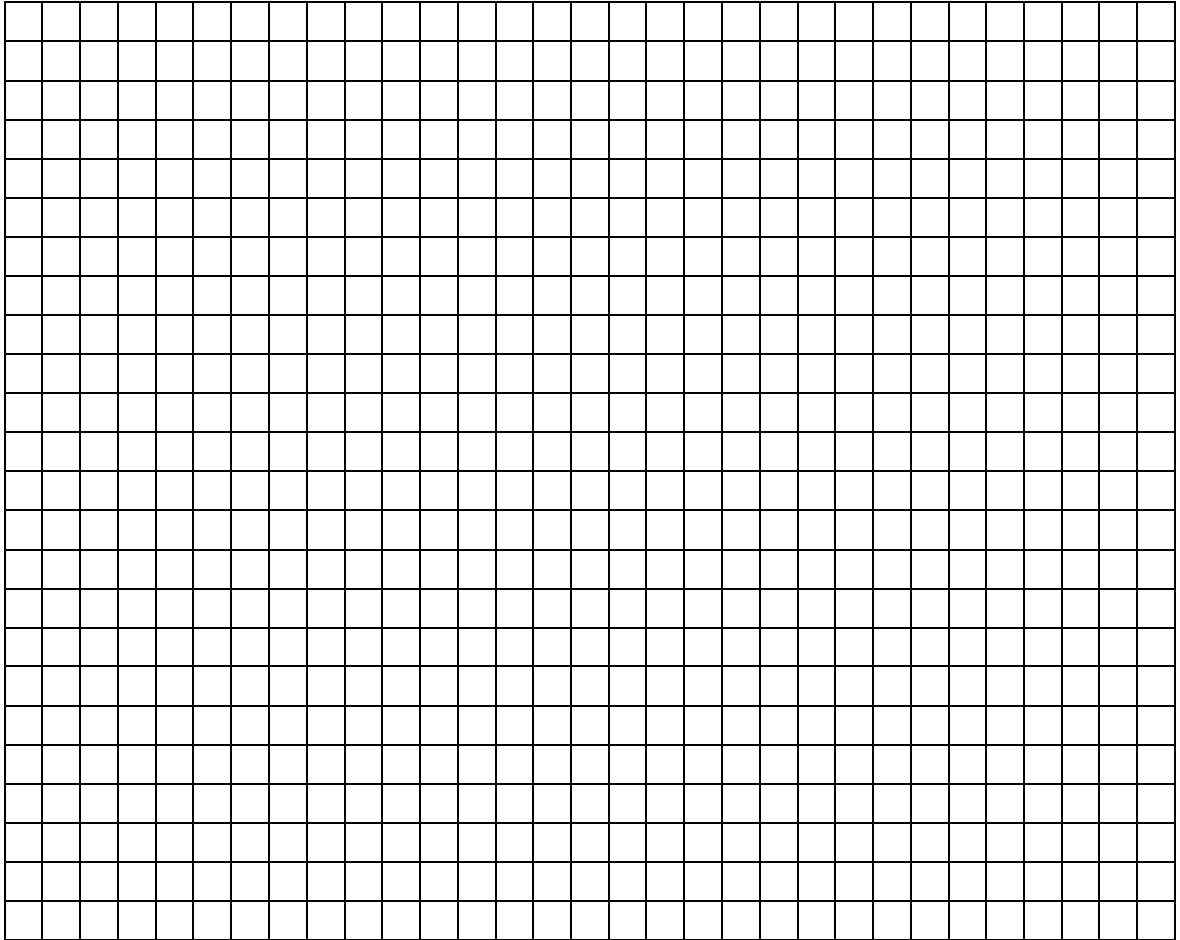
- 1) A resistência elétrica oferecida pela resistor R_1 é ôhmica ou não ôhmica? Justifique sua resposta.

- 2) Faça o gráfico V versus i para o resistor R_1 .



- 3) A resistência elétrica oferecida pela lâmpada é ôhmica ou não ôhmica? Justifique sua resposta.

4) Faça o gráfico V versus i para a lâmpada.

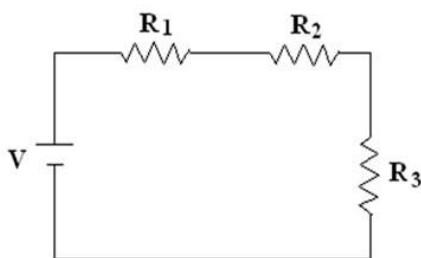


PRÁTICA 04 – ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

1. Introdução

Ao montar um circuito, é comum o operador necessitar de um valor de resistência diferentes dos valores fornecidos pelos resistores de que dispõe. Outras vezes, a corrente elétrica que vai atravessar o resistor é superior à que ele pode suportar sem ser danificado. Nessas situações, a solução é utilizar uma associação de resistores. Os resistores podem ser associados basicamente de dois modos distintos em série e em paralelo. É possível ainda que ambos os modos de associar estejam presentes; teremos então uma associação mista. Qualquer que seja o tipo de associação, denominaremos resistor equivalente aquele que funciona no circuito do mesmo modo que a associação, podendo substituí-la. Então, a resistência da associação é igual a resistência do resistor equivalente.

Na associação em série, os resistores são ligados um em seguida ao outro, de modo a serem percorridos pela mesma corrente elétrica. A **Figura 1** representa três resistores associados em série.

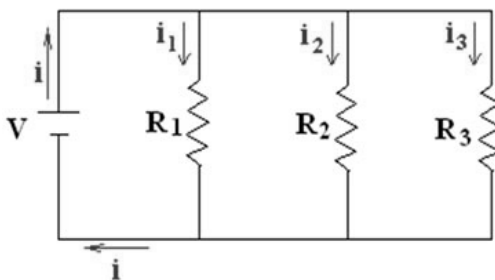


A resistência equivalente para n resistores associados em série é dada por:

$$R_{eq} = \sum_{j=1}^n R_j = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1)$$

Figura 1. Associação em série de resistores.

Vários resistores estão associados em paralelos quando estão ligados pelos terminais, de modo a ficarem submetidos à mesma ddp. Na **Figura 2** representamos três resistores associados em paralelo.



A resistência equivalente para n resistores associados em paralelo é dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2)$$

Para n resistores iguais, a resistência equivalente fica:

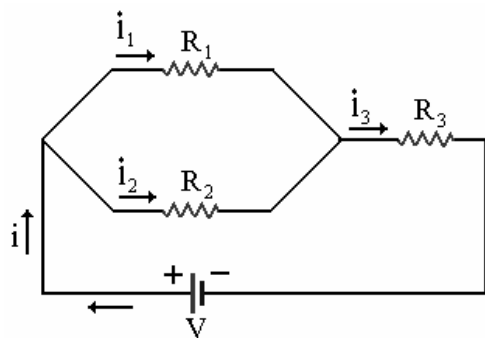
$$R_{eq} = \frac{R}{n} \quad (2)$$

Figura 2. Associação em paralelo de resistores.

Para o caso onde temos apenas dois resistores

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

As associações mistas de resistores são aquelas constituídas por associações em paralelo e associações em série, qualquer associação mista pode ser substituída por um resistor equivalente, que se obtém considerando-se que cada associação parcial (série ou paralelo) equivale a apenas um resistor.



Na **Figura 3** temos resistores associados de forma mista.

Figura 3. Associação mista de resistores.

2. Objetivos

Reconhecer e montar diferentes tipos de associações de resistores. Determinar o resistor equivalente de uma associação em série, em paralelo e mista.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- 01 quadro eletrônico CC e AC vertical como painel isolante;
- 02 conectores com ponte elétrica;
- 04 conectores com resistores;
- 02 cabos flexíveis com pinos de pressão para derivação;
- 01 multímetro.

3.2. Procedimento Experimental

Associação em Série

- 1) Conecte o **RESISTOR 1 (R_1)** aos bornes **A1** e **A2**;
- 2) O **RESISTOR 2 (R_2)** aos bornes **D1** e **E1** e o **RESISTOR 3 (R_3)** aos bornes **H1** e **H2**. A **Figura 4** mostra o esquema de montagem.

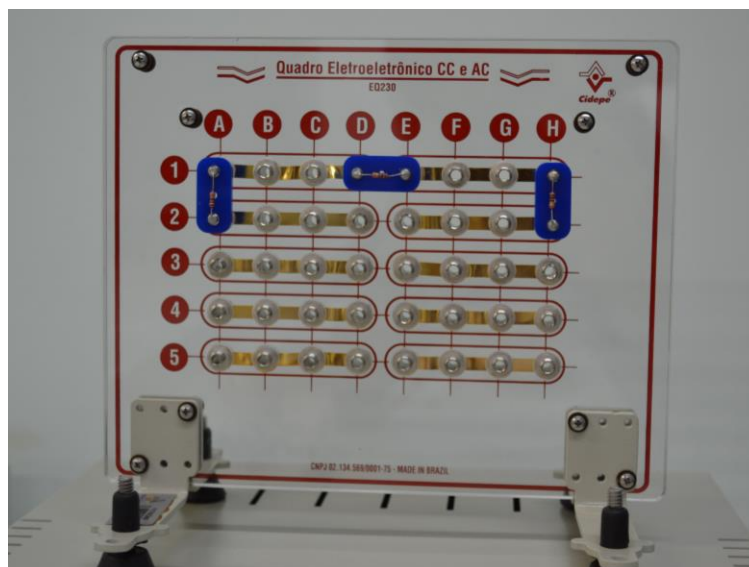


Figura 4

- 3) Utilizando a Tabela do *código de cores* determine o valor da resistência elétrica de cada resistor, inclusive do **RESISTOR 4 (R₄)** que não foi conectado a placa, e **anote** na **Tabela 1** (coluna **Valor calculado**);
- 4) **Determine** a resistência equivalente da associação em série utilizando a *equação 1* e **anote** o valor:
 $R_{eq(calculado)} = \underline{\hspace{2cm}}$
- 5) Ligue o multímetro e selecione a função **OHMÍMETRO**;
- 6) **Meça** as resistências **R₁**, **R₂** e **R₃** e **anote** as medidas na **Tabela 1** (coluna **Valor Medido**);
- 7) Agora conecte o **ohmímetro** aos bornes **D2** e **E2**, **meça** o valor da resistência equivalente da associação em série e **anote** o valor:

$$R_{eq(medido)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Tabela 5. Valores de resistência.

Resistência	Valor calculado (Ω)	Valor Medido (Ω)
R₁		
R₂		
R₃		
R₄		

- 8) Compare o valor calculado no **item 4** com medido no **item 7**.

Associação em Paralelo

- 1) Utilize os mesmo resistores da associação em série, ou seja, o **R₁** utilizado na associação em série deve ser o mesmo **R₁** utilizado na associação em paralelo;
- 2) Conecte a ponte entre os bornes D2 e E2;
- 3) Conecte o **RESISTOR 1 (R₁)** aos bornes **E1** e **E2**;
- 4) O **RESISTOR 2 (R₂)** aos bornes **F1** e **F2** e o **RESISTOR 3 (R₂)** aos bornes **G1** e **G2**. A Figura 5 mostra o esquema de montagem.

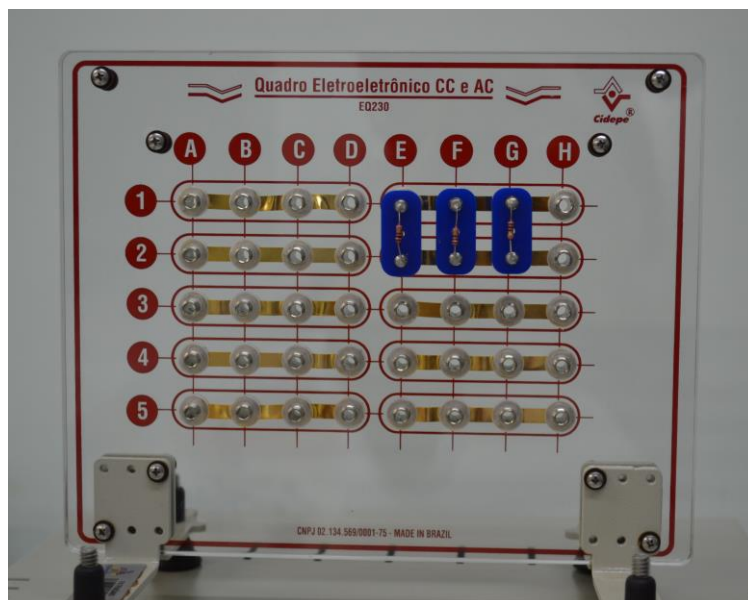


Figura 5

- 5) Utilizando os valores de R_1 , R_2 e R_3 expressos na coluna **Valor calculado (Ω)** da **Tabela 1**, determine a resistência equivalente da associação em série através da *equação 2* e **anote** o valor:

$$R_{eq(calculado)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 6) Ligue o multímetro e selecione a função **OHMÍMETRO** e conecte-o aos bornes **H1** e **H2**; **Meça** o valor da resistência equivalente da associação em paralelo e **anote** o valor:

$$R_{eq(medido)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 7) Compare o valor calculado no **item 5** com medido no **item 6**.

Associação Mista

- 1) Utilize os mesmo resistores da associação em série e em paralelo;
- 2) Conecte o **RESISTOR 1 (R_1)** aos bornes **A1** e **A2**;
- 3) O **RESISTOR 2 (R_2)** aos bornes **B1** e **B2** e o **RESISTOR 3 (R_3)** aos bornes **G1** e **G2**;
- 4) Conecte o **RESISTOR 4 (R_4)** aos bornes **D1** e **E1**;
- 5) Conecte a ponte **D2** e **E2**;
- 6) Faça a representação esquemática da associação mista de resistores e o cálculo da resistência equivalente (utilizando os valores de R_1 , R_2 , R_3 e R_4 expressos na coluna **Valor calculado (Ω)** da **Tabela 1**) no espaço abaixo;

7) **Anote** o valor:

$$R_{eq(\text{calculado})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

8) Ligue o multímetro e selecione a função **OHMÍMETRO** e conecte-o aos bornes **H1** e **H2**;

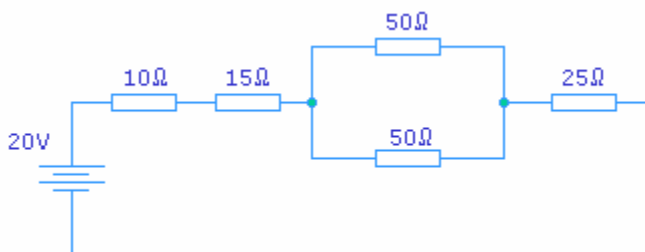
9) **Meça** o valor da resistência equivalente da associação mista e **anote** o valor:

$$R_{eq(\text{medido})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

10) Compare o valor calculado no **item 7** com medido no **item 9**.

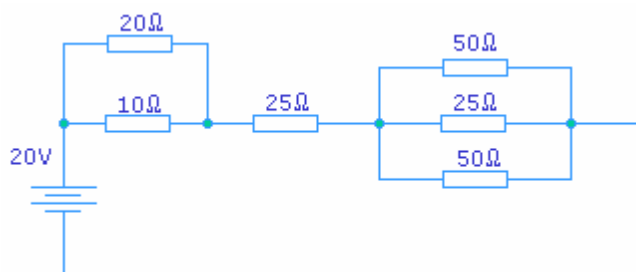
4. Atividades

1) Determine a resistência equivalente e a corrente total no circuito abaixo.



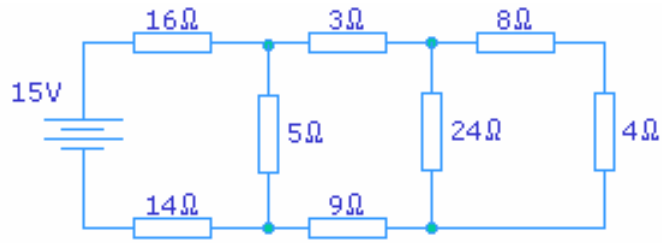
Resposta: $R_{eq} = 75\Omega$ e $i = 266,67 \text{ mA}$

2) Determine a corrente total que atravessa o circuito abaixo.



Resposta: $i = 452,83 \text{ mA}$

3) Dado o circuito abaixo, qual o valor da resistência equivalente?



Resposta: $R_{eq} = 34\Omega$

PRÁTICA 05 – POTÊNCIA ELÉTRICA

1. Introdução

Um resistor transforma toda energia elétrica recebida do circuito em energia térmica e aumenta sua temperatura. Em escala microscópica essa conversão de energia ocorre através da colisão entre os elétrons e as moléculas do resistor, o que leva a um aumento de temperatura do resistor. Essa energia que é convertida em energia térmica é dissipada (perdida), já que o processo não pode ser revertido. A taxa de dissipação de energia (*potência dissipada*) devido à resistência é dada por:

$$P = i^2 R \quad (1)$$

ou

$$P = \frac{V^2}{R}. \quad (2)$$

As equações (1) e (2) se aplicam apenas para transferência de energia elétrica em energia térmica em um dispositivo resistivo.

2. Objetivos

Identificar a potência dissipada por um ou mais resistores no circuito elétrico.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- 01 quadro eletrônico CC e AC vertical como painel isolante;
- 01 conector com ponte elétrica;
- 02 conectores com resistores;
- 02 multímetro;
- 06 conexões de fios com pinos de pressão;
- 01 fonte.

3.2. Procedimento Experimental

- 1) Conecte o **RESISTOR 1 (R₁)** aos bornes **B1** e **B2**;
- 2) O **RESISTOR 2 (R₂)** aos bornes **D1** e **E1**;
- 3) Utilizando o **OHMÍMETRO** faça a leitura de cada resistência, **R₁** nos bornes **B1** e **B2**, **R₂** nos bornes **D1** e **E1** e **R_{eq}** nos bornes **A2** e **F1**;
- 4) Anote os valores das resistências na **Tabela 1**;

- 5) Conecte um **AMPERÍMETRO** aos bornes **D2** e **E2**;
- 6) Conecte a **chave liga e desliga** entre o terminal positivo da fonte e o borne **H1**;
- 7) Conecte o borne **H2** ao polo negativo da fonte;
- 8) O esquema de montagem está expresso na **Figura 1 e Figura 2**.

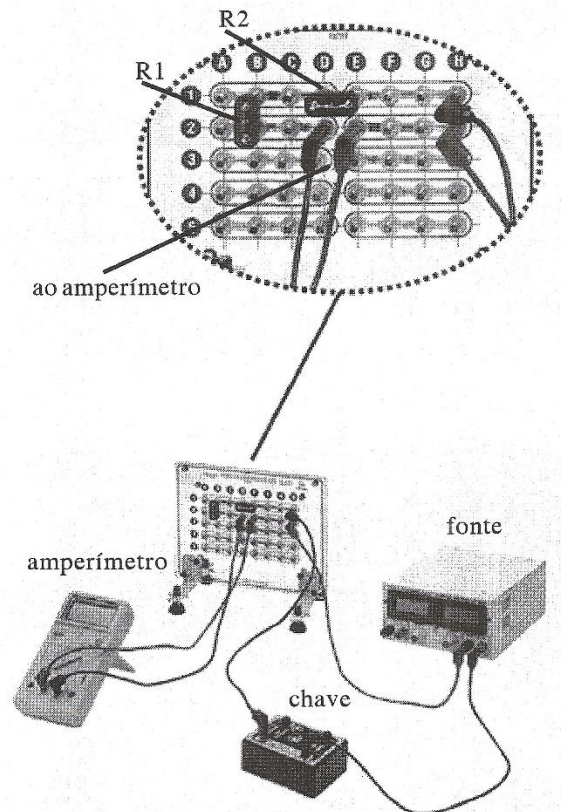


Figura 1.

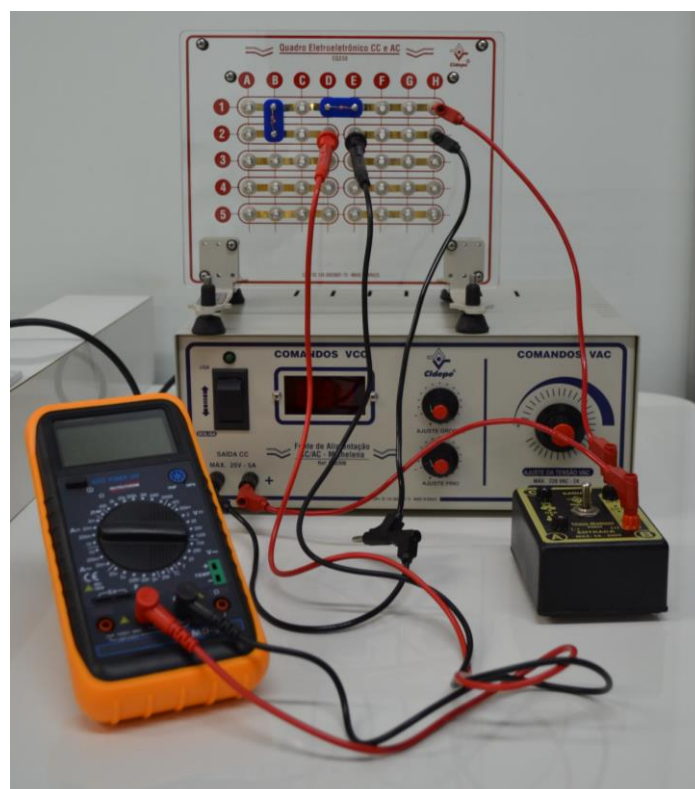


Figura 2

9) A **Figura 3** representa o diagrama esquemático do circuito montado.

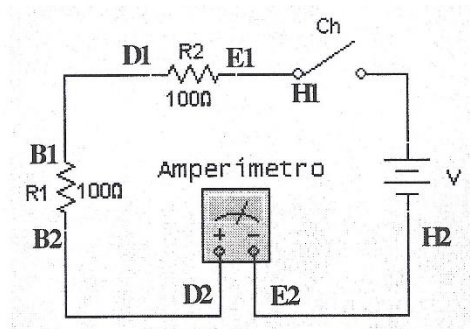


Figura 3. Representação esquemática do circuito.

- 10) Regule a fonte para **5 VCC**, ligue a chave e faça a leitura do **AMPÉRIMETRO**. Anote na **Tabela 1**;
- 11) Conecte o **VOLTÍMETRO** ao resistor **R₁** (bornes **A1** e **A2**) e faça a leitura da tensão (*ddp*);
- 12) Repita o procedimento anterior para o resistor **R₂** (bornes **C1** e **F1**). Anote o valor das tensões no Resistor 1 e no Resistor 2 na **Tabela 1**.
- 13) Altere a posição do **VOLTÍMETRO** conectando-o a associação formada pelos resistores **R₁** e **R₂** (bornes **A2** e **F1**), faça a leitura e anote;

Tabela 1

Resistor	Resistência (Ω)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência Elétrica Dissipada (W)
R₁				
R₂				
R_{eq}				

- 14) Preencha a última coluna da **Tabela 1** utilizando a equação (1).

4. Atividades

- 1) Utilizando os valores da **Tabela 1** e a equação (2) determine potência elétrica dissipada para cada resistor e também para resistor equivalente. Compare os valores da última coluna da **Tabela 1**.

- 2) Explique porque não foi preciso determinar o valor da corrente elétrica em cada resistor para determinar a potência elétrica dissipada.

- 3) Verifique se a potência total é a soma da potência no resistor 1 e no resistor 2, ou seja, $P_{total} = P_1 + P_2$.

PRÁTICA 06 – AS LEIS DE KIRCHHOFF

1. Introdução

Quando o circuito elétrico não pode ser reduzido a um circuito simples para determinar a intensidade da corrente elétrica recorre-se as chamadas *leis de kirchhoff*: *lei das malhas* e *lei dos nós*. Considere o circuito elétrico da **Figura 1**.

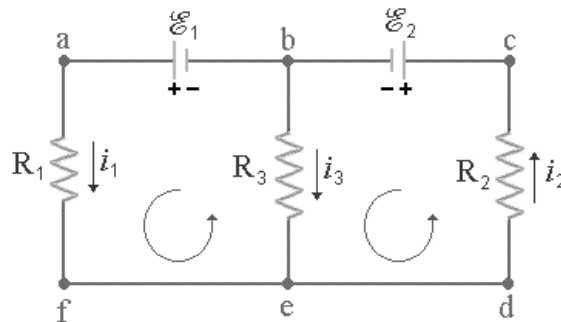


Figura 1. Circuito elétrico de várias malhas e nós.

Em um circuito elétrico chama-se **nó** o ponto no qual a corrente elétrica se divide. Na **Figura 1**, **b** e **e** são **nós**. Os trechos entre dois nós consecutivos, **bafe**, **be** e **bcde**, são denominados **ramos**. Qualquer conjunto de **ramos** formando um percurso fechado recebe o nome de **malha**. Na **Figura 1** temos três **malhas**: **abefa**, **bcdeb** e **abcdefa**. A cada **ramo** do circuito atribuímos um sentido arbitrário para a corrente elétrica. Também atribuímos um sentido arbitrário para as **malhas**.

A **lei das malhas de kirchhoff** (ou lei das tensões de kirchhoff) estabelece:

A soma algébrica das variações de potencial encontradas ao percorrer uma malha fechada é sempre zero.

Para utilizar a lei das malhas precisamos conhecer duas regras para calcular a diferença de potencial produzida pelos dispositivos que encontramos ao longo do circuito.

- **REGRA DAS RESISTÊNCIAS:** quando atravessamos uma resistência no sentido da corrente a variação do potencial é $-iR$; quando atravessamos uma fonte no sentido oposto, a variação é $+iR$.
- **REGRA DAS FONTES:** quando atravessamos uma fonte ideal do terminal negativo para o positivo, a variação de potencial é $+\varepsilon$; quando atravessamos uma fonte no sentido oposto, a variação é $-\varepsilon$.

Aplicando a **lei das malhas** na malha da esquerda (**Figura 1**, **malha abefa**), obtemos a seguinte equação:

$$-i_1 R_1 + i_3 R_3 + \varepsilon_1 = 0 \quad (1)$$

Também podemos aplicar a **lei das malhas** para as malhas **bcdeb** e **abcdefa**. Para cada uma delas vamos encontrar uma equação semelhante a equação (1).

A **lei dos nós de kirchhoff** (ou lei das correntes de kirchhoff) estabelece:

A soma das correntes que entram em um nó é igual à soma das correntes que saem do nó.

Aplicando a **lei dos nós** no ponto **d** (**Figura 1**), obtemos a seguinte equação:

$$i_1 + i_3 = i_2. \quad (2)$$

2. Objetivos

Verificar experimentalmente as leis de kirchhoff.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- **01** quadro eletrônico CC e AC vertical como painel isolante;
- **03** conectores com resistores de 100 Ω ;
- **01** multímetro;
- **08** cabos flexíveis com pinos de pressão para derivação;
- **01** fonte.

3.2. Procedimento Experimental

Lei das Malhas

- 1) Conecte um cabo **VERMELHO** a um dos terminais do conector com resistor e um cabo **PRETO** ao outro (**Figura 2**);



Figura 2

- 2) Repita a operação para o outro conector com resistor;
- 3) Conecte o conjunto 1 (**R₁ + CABOS**) aos bornes **E1** e **E2**;
- 4) Conecte o conjunto 2 (**R₂ + CABOS**) aos bornes **G1** e **G2**;
- 5) Conecte a **chave liga e desliga** entre o terminal positivo da fonte e o borne **H1**;
- 6) Conecte o borne **H2** ao polo negativo da fonte;
- 7) Ligue a fonte e ajuste o valor para 2,0 V;

- 8) A **Figura 3** representa o esquema de montagem e a **Figura 4** um diagrama esquemático do circuito montado.

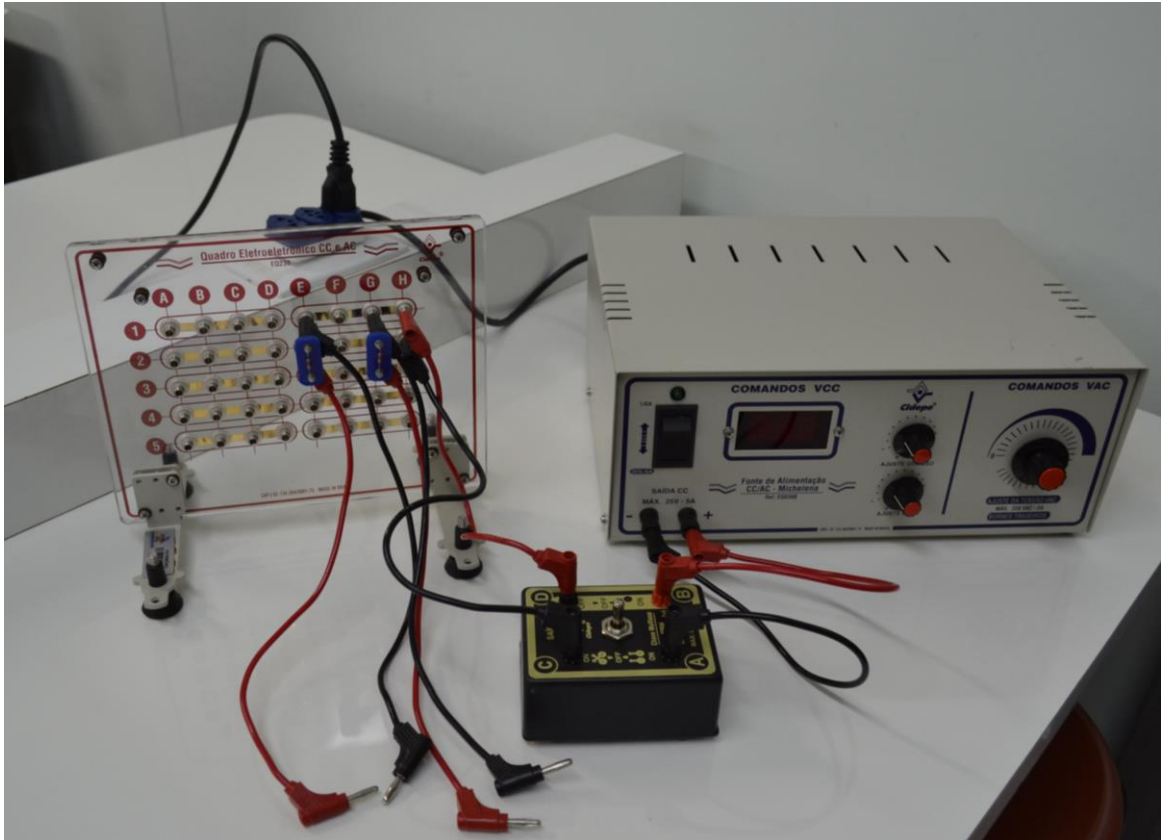


Figura 3

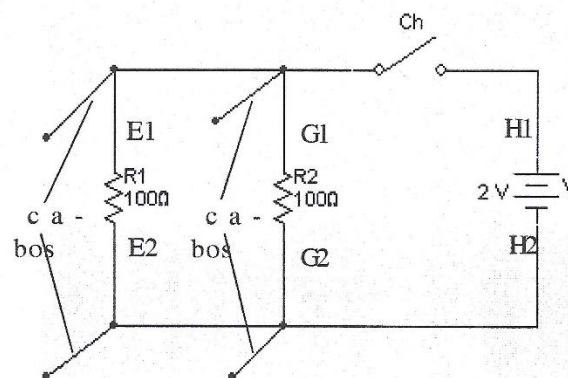


Figura 4

- 9) Identifique as malhas olhando para o painel;

Malha 1: R_1 e a fonte

Malha 2: _____

Malha 3: _____

- 10) Conecte o **VOLTÍMETRO** aos bornes **H1** e **H2** e anote a fem da fonte;

$\varepsilon =$ _____

- 11) Conecte as extremidades livres dos cabos do **conjunto 1** (que foi fixado aos bornes **E1** e **E2**) ao **VOLTÍMETRO** e anote a tensão (ddp):

$$V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

12) A **Figura 4** mostra um diagrama esquemático quando é medida a *ddp* V_1 .

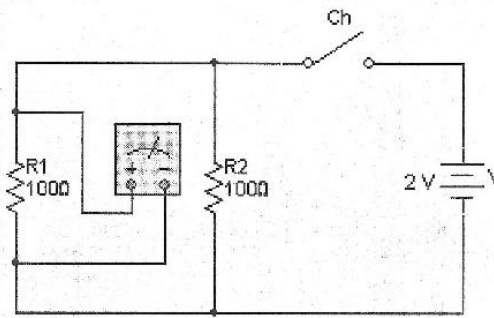


Figura 4

13) Verifique para a malha 1 a validade da lei das malhas de kirchhoff.

14) Conecte as extremidades livres dos cabos do **conjunto 2** (que foi fixado aos bornes **G1** e **G2**) ao **VOL-TÍMETRO** e anote a tensão (*ddp*):

$$V_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

15) Verifique para a malha 2 a validade da lei das malhas de kirchhoff.

Lei dos Nós

- 1) Conecte o **RESISTOR R₁** aos bornes **E1** e **E2**;
- 2) Conecte o **RESISTOR R₂** aos bornes **G1** e **G2**;
- 3) Conecte a **chave liga e desliga** entre o terminal positivo da fonte e o borne **H1**;
- 4) Conecte o borne **H2** ao polo negativo da fonte;
- 5) Ligue a fonte e ajuste o valor para 2,0 V;
- 6) Faça um esquema do circuito montado indicando o sentido da corrente em cada ramo que compõem as malhas.

7) Identifique os nós;

Nós: _____

8) Para medir a corrente total i_t conecte o **AMPERÍMETRO** entre os bornes **H2** e a **fonte**.

9) A **Figura 5** mostra o diagrama esquemático do circuito quando é medida a corrente i_t

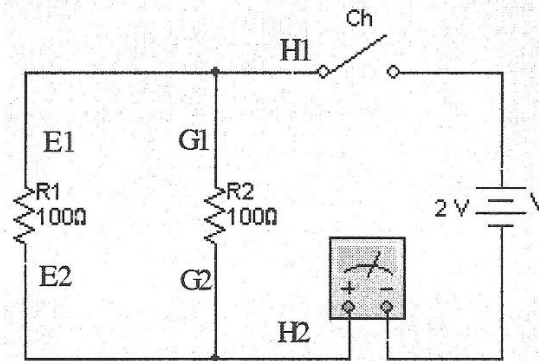


Figura 5

10) Anote o valor de i_t .

$i_t =$ _____.

11) Para medir o valor das correntes i_1 e i_2 , serão necessárias alterações nas conexões do circuito original;

12) Conecte o **RESISTOR R₁** aos bornes **E2** e **E3**;

13) Conecte o **RESISTOR R₂** aos bornes **G1** e **G2**;

14) Conecte a **chave liga e desliga** entre o terminal positivo da fonte e o borne **H2**;

15) Conecte o borne **H3** ao polo negativo da fonte;

16) Ligue a fonte e ajuste o valor para 2,0 V;

17) Para medir a corrente total i_1 conecte o **AMPERÍMETRO** entre os bornes **F1** e **F3**;

18) A **Figura 6** mostra como fica a montagem na placa.

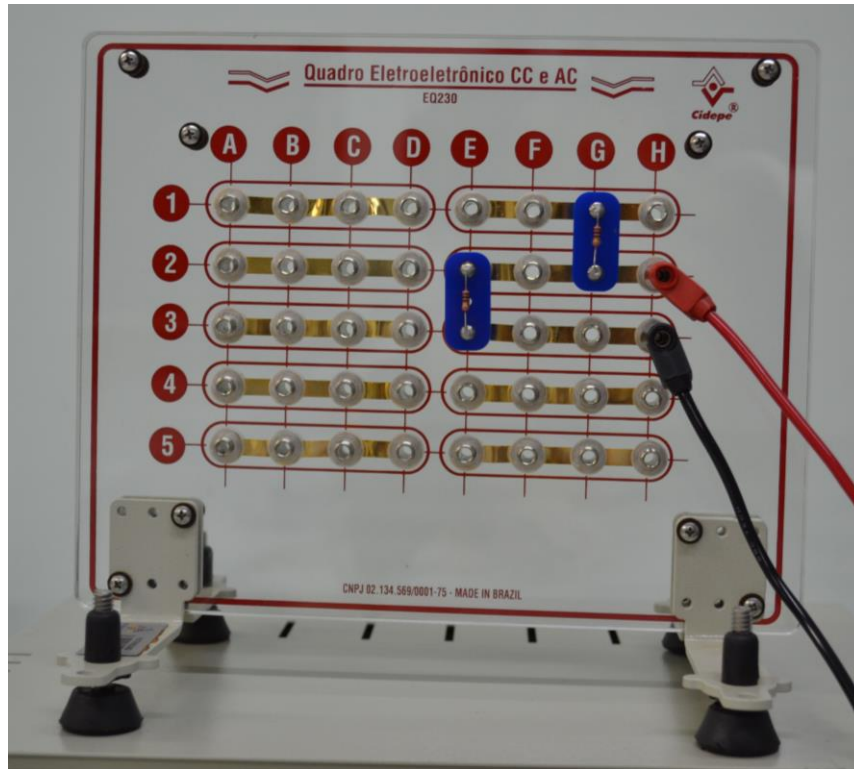


Figura 6

19) A **Figura 7** mostra um diagrama esquemático do circuito quando é medida a corrente i_1 .

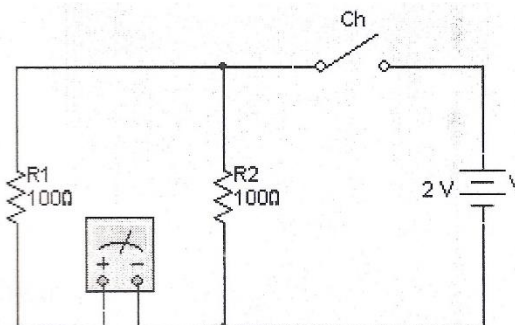


Figura 7

20) Ligue a fonte e ajuste o valor para 2,0 V;

21) Faça a leitura no **AMPERÍMETRO** e anote i_1

$$i_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

22) Agora para medir a corrente total i_1 conecte o **AMPERÍMETRO** entre os bornes **F1** e **F3**;

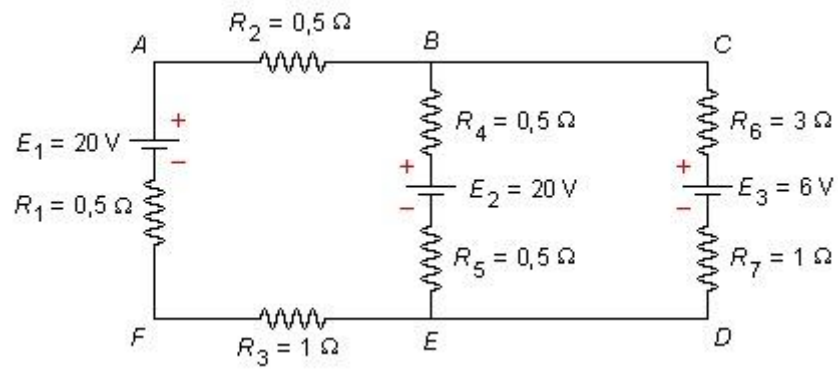
23) Faça a leitura no **AMPERÍMETRO** e anote i_2 :

$$i_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

24) Verifique a validade da lei dos nós de kirchhoff.

4. Atividades

- 1) Determine as correntes nos ramos e seus verdadeiros sentidos



Resposta: $i_1 = 1 A$, $i_2 = 2 A$ e $i_3 = 3 A$,

PRÁTICA 07 – ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

1. Introdução

Os capacitores analogamente aos resistores, podem ser associados em série e em paralelo. Denomina-se capacitor equivalente da associação aquele que, eletrizado com a mesma carga que da associação, suporta entre seus terminais a mesma *ddp*.

Na associação em série, a armadura (“placa”) negativa de um capacitor está ligado à armadura positiva do seguinte (**Figura 1**). Na associação em série todos os capacitores apresentam a mesma carga e a *ddp* aplicada a associação é a soma das *ddps* dos capacitores associados.

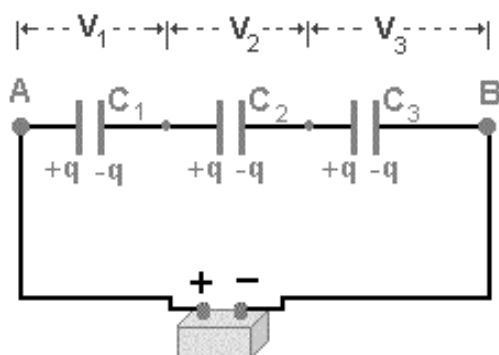


Figura 1. Associação em série de capacitores.

A capacitância equivalente para n capacitores associados em série é dada por:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{C_j} \quad (1)$$

Para n capacitores iguais, a capacitância equivalente fica:

$$C_{eq} = \frac{C}{n} \quad (2)$$

Para o caso onde temos apenas dois capacitores

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (3)$$

Na associação em paralelo, as armadura positivas estão ligadas entre si e as armadura negativas também estão ligadas entre si. Na associação em paralelo (**Figura 2**), todos os capacitores apresentam a mesma *ddp* e a carga fornecida à associação divide-se entre os capacitores associados.

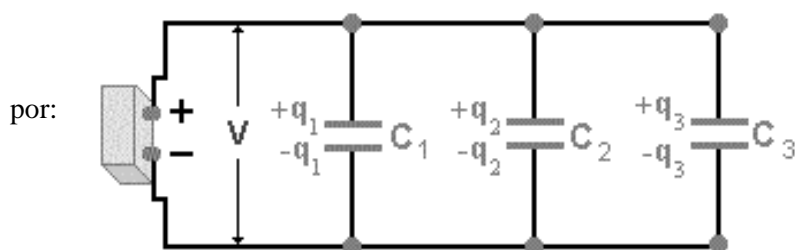


Figura 2. Associação em paralelo de capacitores.

A capacitância equivalente para n capacitores associados em paralelo é dada

$$C_{eq} = \sum_{j=1}^n C_j \quad (4)$$

Para n capacitores iguais, a capacitância equivalente fica:

$$C_{eq} = nC \quad (5)$$

As associações mistas de capacitores são aquelas constituídas por associações em paralelo e associações em série.

2. Objetivos

Reconhecer e montar diferentes tipos de associações de capacitores. Determinar o capacitor equivalente de uma associação em série, em paralelo e mista de capacitores.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- 01 quadro eletrônico CC e AC vertical como painel isolante;
- 01 conector com ponte elétrica;
- 02 conectores com capacitores;
- 01 multímetro;
- 01 cabo para capacímetro.

3.2. Procedimento Experimental

Associação em Série

- 1) Conecte o **CAPACITOR 1** (C_1) aos bornes **A1** e **A2**;
- 2) O **CAPACITOR 2** (C_2) aos bornes **H1** e **H2**;
- 3) Conecte a ponte elétrica aos bornes **D1** e **E1**. A **Figura 3** mostra o esquema de montagem.

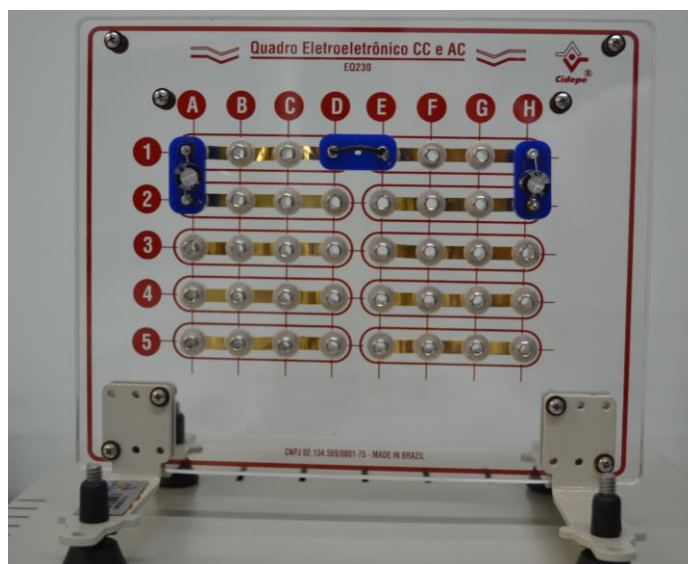


Figura 3

- 4) Ligue o multímetro, selecione a função **CAPACÍMETRO** e conecte o cabo para capacímetro no multímetro;
- 5) **Meça** a capacitância C_1 e C_2 e anote as medidas na **Tabela 1**.

Tabela 6. Medida das capacitâncias.

Capacitância	Valor Medido (F)
C_1	
C_2	

- 6) Conectando o capacímetro aos bornes **D2** e **E2**, **meça** o valor da capacitância equivalente da associação em série e **anote** o valor:

$$C_{eq(medido)} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

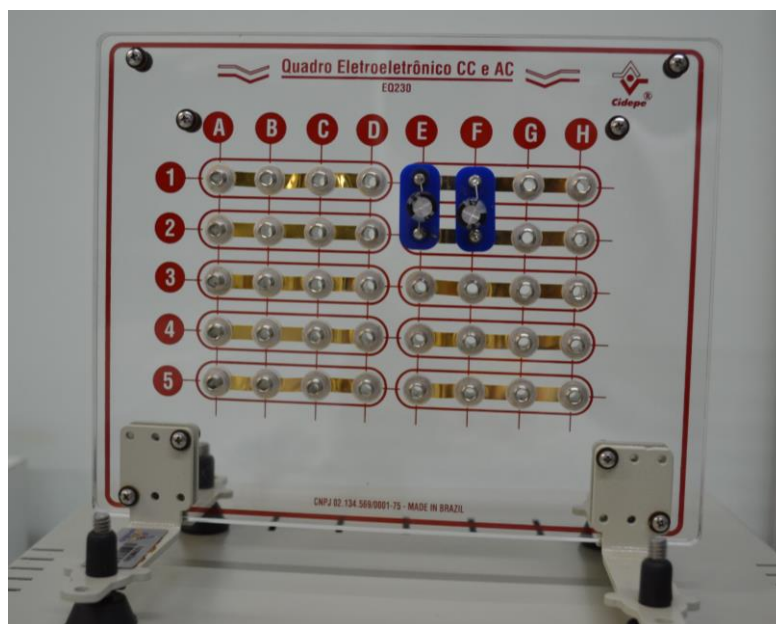
- 7) **Determine** a capacitância equivalente da associação em série utilizando os valores do capacitor e **anote** o valor:

$$C_{eq(calculado)} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

- 8) Compare o valor medido no **item 6** com calculado no **item 7**.

Associação em Paralelo

- 1) Utilize os mesmo capacitores da associação em série, ou seja, o C_1 utilizado na associação em série deve ser o mesmo C_1 utilizado na associação em paralelo;
- 2) Conecte o **CAPACITOR 1** (C_1) aos bornes **E1** e **E2**;
- 3) O **CAPACITOR 2** (C_2) aos bornes **F1** e **F2**. A **Figura 4** mostra o esquema de montagem.

**Figura 4**

- 4) Ligue o multímetro, selecione a função **CAPACÍMETRO** e conecte o cabo para capacímetro no multímetro;
- 5) Conectando o capacímetro aos bornes **H1** e **H2**, **meça** o valor da capacitância equivalente da associação em paralelo e **anote** o valor:

$$C_{eq(medido)} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

- 6) **Determine** a capacitância equivalente da associação em paralelo utilizando os valores do capacitor e **anote** o valor:

$$C_{eq(calculado)} = \text{_____}.$$

- 7) Compare o valor medido no **item 5** com calculado no **item 6**.

4. Atividades

- 1) A capacitância de quatro capacitores em paralelo é maior ou menor, que a capacitância destes mesmos resistores em série? Justifique.

- 1) Três capacitores de capacitâncias $6 \mu\text{F}$, $3 \mu\text{F}$ e $2 \mu\text{F}$ são associados em série. Fornecendo-se à associação uma carga de $12 \mu\text{C}$, determine:

a) A carga e a ddp em cada capacitor;

b) A ddp da associação;

c) A capacitância do capacitor equivalente;

d) A energia potencial elétrica da associação.

- 2) Três capacitores de capacitâncias $6\ \mu\text{F}$, $3\ \mu\text{F}$ e $2\ \mu\text{F}$ são associados em paralelo. Aplicando aos terminais da associação a ddp de $10\ \text{V}$, determine:
- A carga e a ddp em cada capacitor;
 - A carga da associação;
 - A capacitância do capacitor equivalente;
 - A energia potencial elétrica da associação.

PRÁTICA 08 – CIRCUITO RC

1. Introdução

Nesta aula vamos estudar o comportamento dos capacitores em regime transitório, na situação de carga e descarga.

Carga de um Capacitor

Considerando o circuito da **Figura 1**, formado por um capacitor, uma fonte ideal e um resistor. O capacitor de capacitância C está inicialmente descarregado. Para carregá-lo posicionamos a **chave S** na posição **a**.

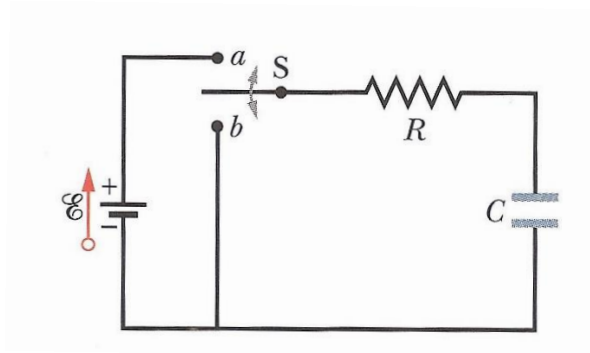


Figura 1. Circuito RC.

Como o capacitor está inicialmente descarregado, a diferença de potencial V_C através dele é igual a zero para $t = 0$. Para este instante, pela lei das malhas de Kirchhoff, a voltagem V_R através do resistor R é igual a *f.e.m* ε da fonte. À medida que o capacitor se carrega a voltagem V_C e a diferença de potencial V_R através do resistor diminui. A soma dessas duas voltagens é constante e igual a ε . Depois de um longo tempo, o capacitor fica completamente carregado, a corrente se torna igual a zero e a diferença de potencial V_R se anula. Então, $V_C = \varepsilon$.

Aplicando a lei das malhas de Kirchhoff e manipulando matematicamente as equações obtemos:

$$q = C\varepsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (1)$$

A derivada da equação (1) é a corrente de carregamento do capacitor:

$$i = \frac{dq}{dt} = \left(\frac{\varepsilon}{R}\right) e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2)$$

A diferença de potencial entre as placas do capacitor que está sendo carregado é dada por:

$$V_C = \frac{q}{C} = \varepsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (3)$$

² Para uma fonte ideal a força eletromotriz é igual a diferença de potencial da fonte ($V = \varepsilon$).

De acordo com equação (3), $V_C = 0$ no instante $t = 0$ e $V_C \rightarrow \varepsilon$ quando $t \rightarrow \infty$. As **Figuras 2 e 3**, mostram o comportamento da carga e da corrente.

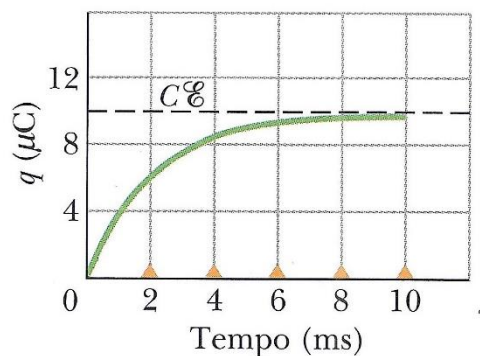


Figura 2. O gráfico da equação (1) mostra a carga do capacitor em função do tempo.

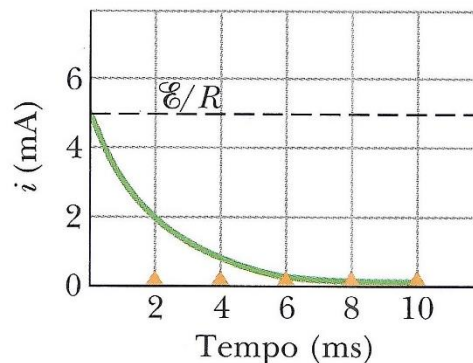


Figura 3. O gráfico da equação (3) mostra corrente de carga em função do tempo. As curvas foram plotadas para $R = 200 \Omega$, $C = 1 \mu F$ e $\varepsilon = 10 V$.

Constante de Tempo

O produto RC é chamado *constante de tempo capacitiva* e é representado por:

$$\tau = RC \quad (4)$$

Descarga do Capacitor

Suponha agora que o capacitor da **Figura 1** esteja totalmente carregado com carga q_0 , a seguir posicionamos a **chave S** na posição **b**. Assim, o capacitor se descarrega através do resistor e sua carga diminui até zero.

Aplicando a lei das malhas de Kirchhoff e manipulando matematicamente as equações obtemos:

$$q = q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

Note que a fonte ε não está mais no circuito quando posicionamos a **chave S** na posição **b**, por isso, $\varepsilon = 0$. Derivando a equação (5), obtemos:

$$i = \frac{dq}{dt} = -\left(\frac{q_0}{RC}\right) e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (6)$$

2. Objetivos

Medir e calcular o tempo de carga e descarga de um capacitor.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

- 01 quadro eletrônico CC e AC vertical como painel isolante;
- 01 conector com resistor de $150\ \Omega$;
- 01 conector com capacitor eletrolítico de $1000\ \mu F$;
- 01 chave inversora;
- 06 cabos flexíveis com pinos de pressão para derivação;
- 01 cronômetro;
- 01 multímetro;
- 04 folhas de papel milimetrado;
- 01 fonte de tensão.

3.2. Procedimento Experimental

Parte A

- 1) Monte no painel o circuito da **Figura 4 e 5**



Figura 4

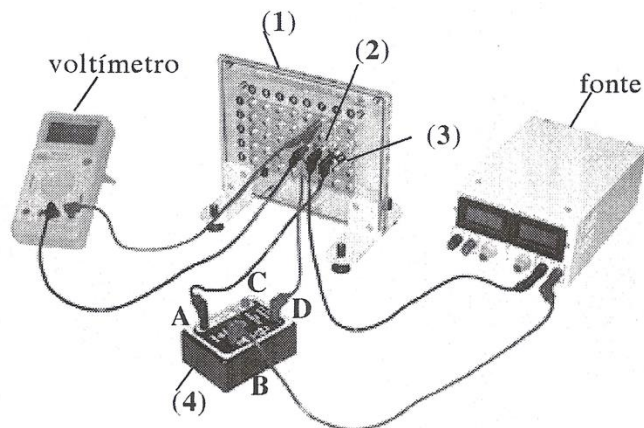


Figura 4

- 2) Para fins didáticos, os bornes da chave foram denominados por **A**, **B**, **C** e **D**:
A e **B** são os bornes pretos de saídas.
D é o borne preto de entrada.
C é o borne vermelho de entrada.
- 3) Conecte o borne **A** da chave ao borne **G3** do painel;
- 4) O borne **B** da chave ao positivo da fonte;
- 5) O borne **D** da chave ao borne **F1** do painel;
- 6) Acople o **RESISTOR** aos bornes **G1** e **G2** do painel;
- 7) Acople o **CAPACITOR** aos bornes **H2** e **H3** do painel;
- 8) Conecte o **VOLTÍMETRO**, com a conexão vermelha no borne **E2 do painel** e a conexão preta no borne **E3 do painel**;
- 9) Conecte o fio preto (negativo) ao borne **F3** do painel;
- 10) Verifique se o capacitor está carregado. Caso esteja, descarregue-o;
- 11) Coloque a chave na posição neutra e ajuste a fonte para **10 VCC**;
- 12) **Feche a chave** na posição em que o capacitor se carrega ao mesmo tempo em que **aciona** o cronômetro;
- 13) Anote na **Tabela 1** a voltagem V_C sobre o capacitor a cada **15 segundos**, de **zero a 300 segundos**.

Tabela 1

t (s)	V_C - CARGA	t (s)	V_C - DESCARGA
0		315	
15		330	
30		345	
45		360	
60		375	
75		390	
90		405	

105		420	
120		435	
135		450	
150		465	
165		480	
180		495	
195		510	
210		525	
225		540	
240		555	
255		570	
270		585	
285		600	
300			

- 14) Inverta a posição da chave para a posição em que o capacitor se **DECARREGA** ao mesmo tempo em que aciona o cronômetro;
- 15) Anote na **Tabela 1** a voltagem V_C sobre o capacitor a cada **15 segundos**, de **315 a 600 segundos**.

Parte B

- 1) Desconecte o **VOLTÍMETRO** e conecte-o de modo a medir a voltagem nos terminais do **RESISTOR**;
- 2) Feche a chave na posição em que o capacitor se carrega ao mesmo tempo em que aciona o cronômetro;
- 3) Anote os valores na **Tabela 2**, voltagem V_R sobre o **RESISTOR** a cada **15 segundos**, de **zero a 300 segundos**.

Tabela 2

t (s)	V_R - CARGA	t (s)	V_R - DESCARGA
0		315	
15		330	
30		345	
45		360	
60		375	

75		390	
90		405	
105		420	
120		435	
135		450	
150		465	
165		480	
180		495	
195		510	
210		525	
225		540	
240		555	
255		570	
270		585	
285		600	
300			

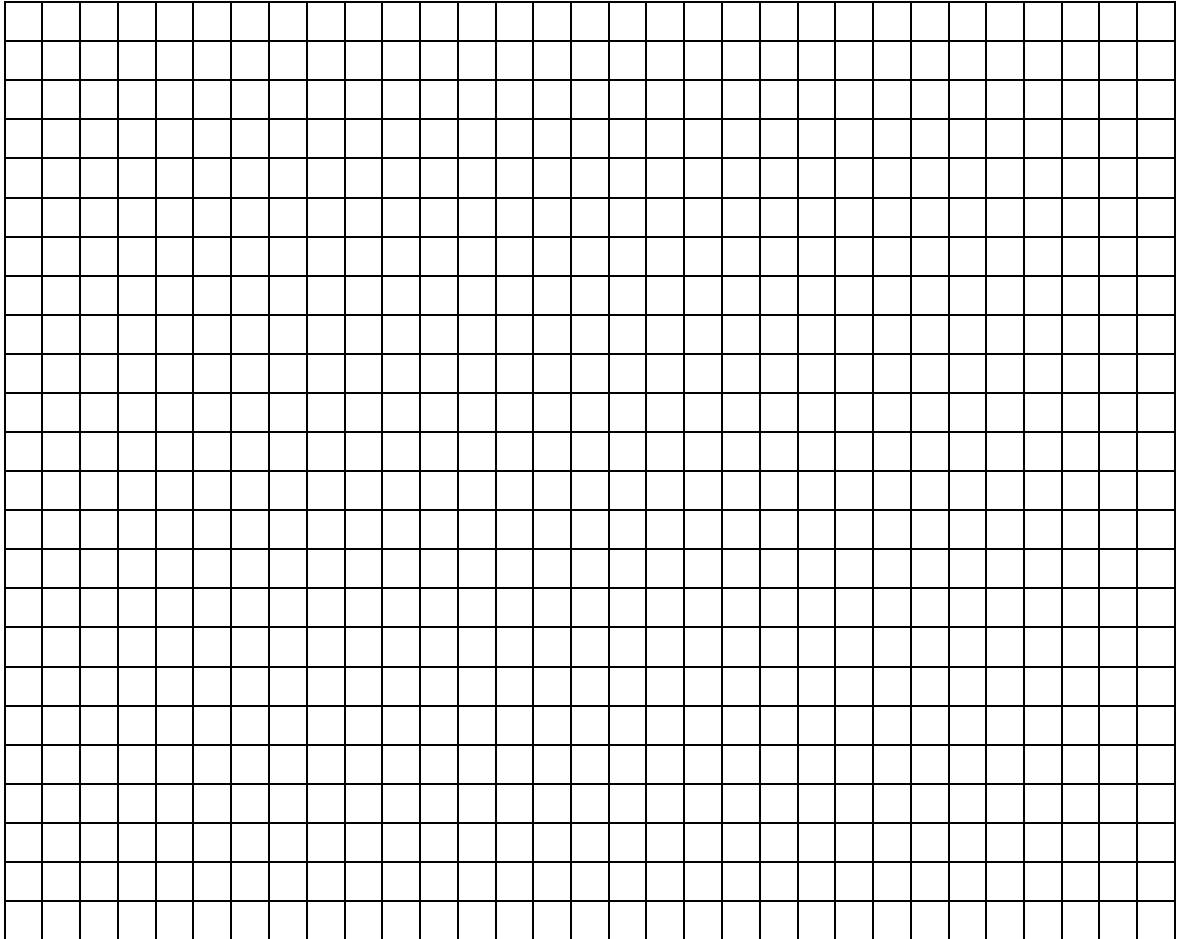
- 4) Inverta a posição da chave para a posição em que o capacitor se **DECARREGA** ao mesmo tempo em que aciona o cronômetro;
- 5) Anote na **Tabela 2** a voltagem V_C sobre o capacitor a cada **15 segundos**, de **315 a 600 segundos**.

4. Atividades

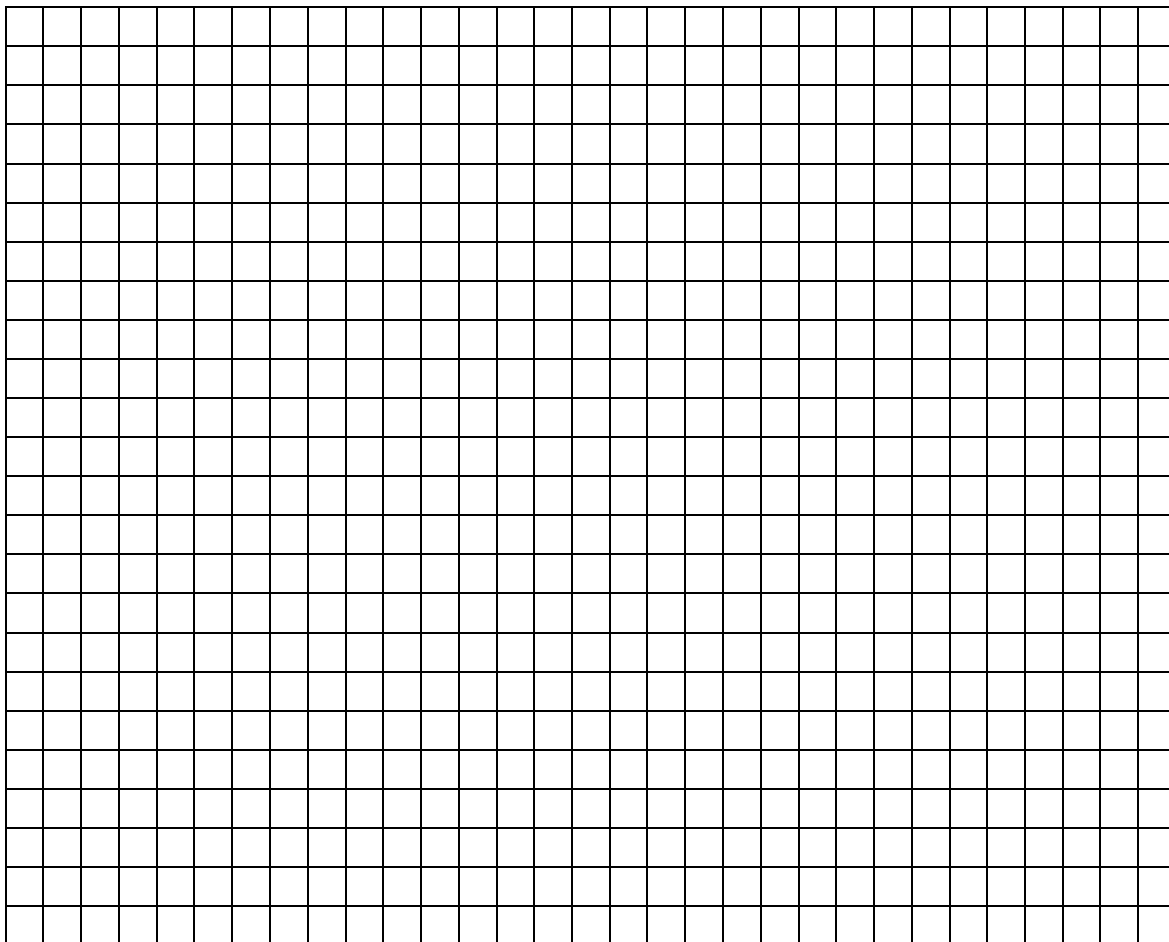
- 1) Determine a constante de tempo:

$$\tau = \underline{\hspace{4cm}}$$

- 2) Faça o gráfico V_C versus t para a **CARGA** e a **DESCARGA** do capacitor.



- 3) Faça o gráfico V_R versus t para a CARGA e para DESCARGA.



- 4) Observando o Gráfico V_C e V_R em função de t , qual o valor que você espera que a voltagem no capacitor atinja, se ele ficar ligado a fonte por um período de tempo suficientemente longo?

- 5) Observando o Gráfico V_C e V_R em função de t , qual o valor que você espera que a voltagem no capacitor atinja, se ele ficar ligado a fonte por um período de tempo suficientemente longo?

- 6) Qual o valor da soma das voltagens no capacitor e no resistor no processo de carga?

- 7) Existe algum momento em que o valor absoluto das voltagens no capacitor e no resistor são iguais no processo de carga? Em que instante de tempo isso ocorre?

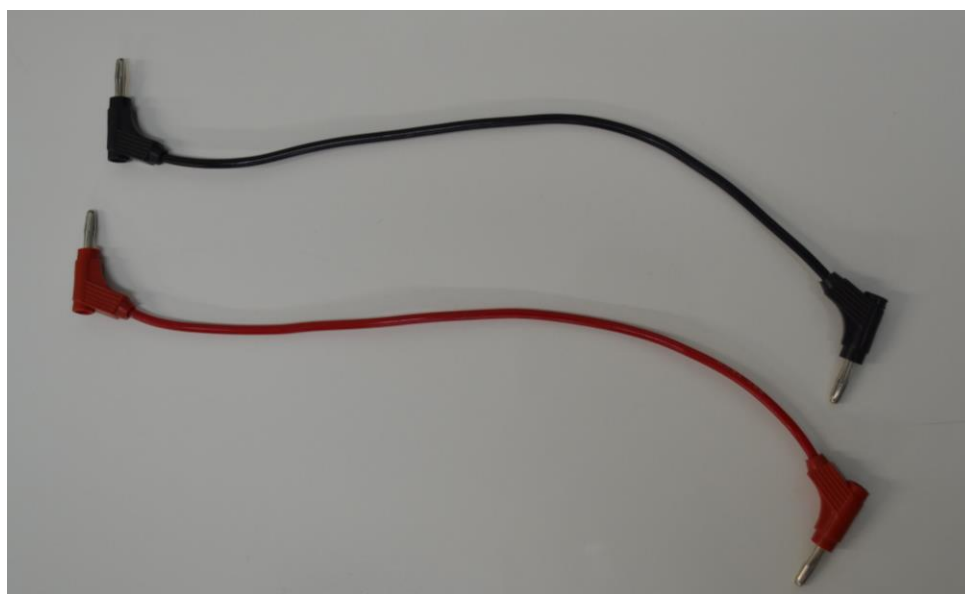
HALLIDAY, D; RESNICK; WALKER, J. **Fundamentos da Física: Vol. 2.** 8ª edição. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008

RAMOS, L. A. M.; KISSMANN, N. **Livro de Atividades Experimentais.** Cidepe, 2004.

1. Multímetro



2. Cabos Flexíveis com Pinos de Pressão



3. Conectores com Resistores (Resistores)



4. Conectores com Ponte Elétrica (Ponte Elétrica)



5. Conectores com Soquete e Lâmpada de 1,5 V



6. Conectores com Capacitor (Capacitor)



7. Chave Liga/Desliga



8. Fonte de Tensão



Prefixos do SI

Prefixo	Símbolo	Fator
yotta	<i>Y</i>	10^{24}
zetta	<i>Z</i>	10^{21}
exa	<i>E</i>	10^{18}
peta	<i>P</i>	10^{15}
tera	<i>T</i>	10^{12}
giga	<i>G</i>	10^9
mega	<i>M</i>	10^6
quilo	<i>k</i>	10^3
hecto	<i>h</i>	10^2
deca	<i>da</i>	10
deci	<i>d</i>	10^{-1}
centi	<i>c</i>	10^{-2}
mili	<i>m</i>	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	<i>n</i>	10^{-9}
pico	<i>p</i>	10^{-12}
femto	<i>f</i>	10^{-15}
atto	<i>a</i>	10^{-18}
zepto	<i>z</i>	10^{-21}
yocto	<i>y</i>	10^{-24}

Unidades do SI

Grandeza	Nome	Símbolo	Definição
Comprimento	metro	<i>m</i>	“... distância percorrida pela luz no vácuo durante $1/299.792.458$ s.”
Massa	quilograma	<i>kg</i>	“... massa do protótipo internacional (liga de platina-irídio)”
Tempo	segundo	<i>s</i>	“... duração de $9.192.631.770$ períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis superfinais do estado fundamental do átomo de césio-133.”
Intensidade de corrente elétrica	ampère	<i>A</i>	“... corrente elétrica constante que, se mantida em dois condutores retilíneos e paralelos, com comprimento infinito e seção transversal desprezável, colocados a um metro um do outro, no vácuo, produz entre os dois condutores uma força de $2 \cdot 10^{-7} N$, por metro de comprimento.”
Temperatura	kelvin	<i>K</i>	“... fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água.”
Quantidade de matéria	mol	<i>mol</i>	“... é a quantidade de matéria de um sistema que contém as mesmas entidades elementares (podem ser átomos, moléculas, íons ...) quantos os átomos existentes em $0,012$ kg de carbono-12.”
Intensidade luminosa	candela	<i>cd</i>	“... é a intensidade luminosa, em determinada direção, de uma fonte que emite radiação monocromática com frequência $540 \cdot 10^{12}$ Hz e que tem uma intensidade energética, na mesma direção, de $1/683 W/sr$.”

Algumas Unidades Derivadas do SI

Grandeza	Nome da Unidade	Símbolo da Unidade	Unidade no SI
Área (A)	metro quadrado	m^2	m^2
Calor (Q)	joule	J	$N \cdot m = kg \cdot m^2/s^2$
Calor específico (c)	joule por quilograma kelvin	$J/(kg \cdot K)$	$J/(kg \cdot K)$
Diferença de potencial (V)	volt	V	W/A
Energia (E)	joule	J	$N \cdot m = kg \cdot m^2/s^2$
Força (F)	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
Massa específica (ρ)	quilograma por metro cúbico	kg/m^3	kg/m^3
Potência (P)	watt	W	$J/s = kg \cdot m^2/s^3$
Pressão (p)	pascal	Pa	$N/m^2 = kg/m \cdot s^2$
Quantidade de carga elétrica (q)	coulomb	C	$A \cdot s$
Trabalho (W)	joule	J	$N \cdot m = kg \cdot m^2/s^2$
Volume (V)	metro cúbico	m^3	m^3

Constantes Fundamentais da Física

Constante	Símbolo	Valor Prático	Melhor Valor (2006)	
			Valor ^a	Incerteza
Velocidade da luz no vácuo	c	$3,00 \times 10^8$ m/s	2,997 924 58	exata
Carga elementar	e	$1,60 \times 10^{-19}$ C	1,602 176 487	$2,5 \times 10^{-8}$
Constante gravitacional	G	$6,67 \times 10^{-11}$ m ³ /s ² · kg	6,674 28	$1,0 \times 10^{-4}$
Constante universal dos gases	R	8,31 J/mol · K	8,314 472	$1,7 \times 10^{-6}$
Constante de Avogadro	N_A	$6,02 \times 10^{23}$ mol ⁻¹	6,022 141 79	$5,0 \times 10^{-8}$
Constante de Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K	1,380 650 4	$1,7 \times 10^{-6}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	$5,67 \times 10^{-8}$ W/m ² · K ⁴	5,670 400	$7,0 \times 10^{-6}$
Volume molar de um gás ideal nas CNTP ^c	V_m	$2,27 \times 10^{-2}$ m ³ /mol	2,271 098 1	$1,7 \times 10^{-6}$
Permissividade do vácuo	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12}$ F/m	8,854 187 817 62	exata
Permeabilidade do vácuo	μ_0	$1,26 \times 10^{-6}$ H/m	1,256 637 061 43	exata
Constante de Planck	h	$6,63 \times 10^{-34}$ J · s	6,626 068 96	$5,0 \times 10^{-8}$
Massa do elétron ^b	m_e	$9,11 \times 10^{-31}$ kg $5,49 \times 10^{-4}$ u	9,109 382 15 5,485 799 094	$5,0 \times 10^{-8}$ $4,2 \times 10^{-10}$
Massa do próton ^b	m_p	$1,67 \times 10^{-27}$ kg 1,0073 u	1,672 621 637 1,007 276 466 77	$5,0 \times 10^{-8}$ $1,0 \times 10^{-10}$
Razão entre a massa do próton e a massa do elétron	m_p/m_e	1840	1,836 152 672 47	$4,3 \times 10^{-10}$
Razão entre a massa e a carga do elétron	e/m_e	$1,76 \times 10^{11}$ C/kg	1,758 820 150	$2,5 \times 10^{-8}$
Massa do nêutron ^b	m_n	$1,68 \times 10^{-27}$ kg 1,0087 u	1,674 927 211 1,008 664 915 97	$5,0 \times 10^{-8}$ $4,3 \times 10^{-10}$
Massa do átomo de hidrogênio ^b	m_{1H}	1,0078 u	1,007 825 031 6	$1,0 \times 10^{-10}$
Massa do átomo de deutério ^b	m_{2H}	2,0141 u	2,014 101 777 9	$1,0 \times 10^{-10}$
Massa do átomo de hélio ^b	m_{4He}	4,0026 u	4,002 603 2	$1,0 \times 10^{-10}$
Massa do múon	m_μ	$1,88 \times 10^{-28}$ kg	1,883 531 30	$5,6 \times 10^{-8}$
Momento magnético do elétron	μ_e	$9,28 \times 10^{-24}$ J/T	9,284 763 77	$2,5 \times 10^{-8}$
Momento magnético do próton	μ_p	$1,41 \times 10^{-26}$ J/T	1,410 606 662	$2,6 \times 10^{-8}$
Magnéton de Bohr	μ_B	$9,27 \times 10^{-24}$ J/T	9,274 008 009 15	$2,5 \times 10^{-8}$
Magnéton nuclear	μ_N	$5,05 \times 10^{-27}$ J/T	5,050 783 24	$2,5 \times 10^{-8}$
Raio de Bohr	a	$5,29 \times 10^{-11}$ m	5,291 772 085 9	$6,8 \times 10^{-10}$
Constante de Rydberg	R	$1,10 \times 10^7$ m ⁻¹	1,097 373 156 852 7	$6,6 \times 10^{-12}$
Comprimento de onda de Compton do elétron	λ_C	$2,43 \times 10^{-12}$ m	2,426 310 217 5	$1,4 \times 10^{-9}$

^aOs valores desta coluna têm a mesma unidade e potência de 10 que o valor prático.

^bAs massas dadas em u estão em unidades unificadas de massa atômica: $1 \text{ u} = 1,660 538 86 \times 10^{-27}$ kg.

^cCNPT significa condições normais de temperatura e pressão: 0°C e 1,0 atm (0,1 MPa).

Algumas Fórmulas Matemáticas

Geometria

Círculo de raio r : circunferência = $2\pi r$; área = πr^2 .

Esfera de raio r : área = $4\pi r^2$; volume = $\frac{4}{3}\pi r^3$.

Cilindro circular reto de raio r e altura h :

área = $2\pi r^2 + 2\pi rh$; volume = $\pi r^2 h$.

Triângulo de base a e altura h : área = $\frac{1}{2}ah$.

Fórmula de Baskara

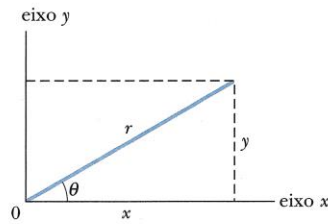
$$\text{Se } ax^2 + bx + c = 0, x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

Funções Trigonômicas do Ângulo θ

$$\text{sen } \theta = \frac{y}{r} \quad \text{cos } \theta = \frac{x}{r}$$

$$\text{tan } \theta = \frac{y}{x} \quad \text{cot } \theta = \frac{x}{y}$$

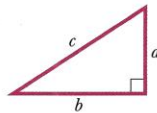
$$\text{sec } \theta = \frac{r}{x} \quad \text{csc } \theta = \frac{r}{y}$$



Teorema de Pitágoras

Neste triângulo retângulo,

$$a^2 + b^2 = c^2$$



Triângulos

Ângulos: A, B, C

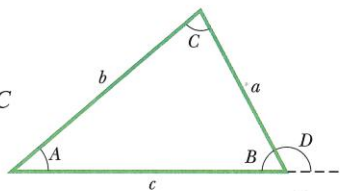
Lados opostos: a, b, c

$$A + B + C = 180^\circ$$

$$\frac{\text{sen } A}{a} = \frac{\text{sen } B}{b} = \frac{\text{sen } C}{c}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

Ângulo externo $D = A + C$



Sinais e Símbolos Matemáticos

= igual a

\approx aproximadamente igual a

\sim da ordem de grandeza de

\neq diferente de

\equiv idêntico a, definido como

$>$ maior que (\gg muito maior que)

$<$ menor que (\ll muito menor que)

\geq maior ou igual a (não menor que)

\leq menor ou igual a (não maior que)

\pm mais ou menos

\propto proporcional a

Σ somatório de

$x_{\text{méd}}$ valor médio de x

Identidades Trigonômicas

$$\text{sen}(90^\circ - \theta) = \text{cos } \theta$$

$$\text{cos}(90^\circ - \theta) = \text{sen } \theta$$

$$\text{sen } \theta / \text{cos } \theta = \text{tan } \theta$$

$$\text{sen}^2 \theta + \text{cos}^2 \theta = 1$$

$$\text{sec}^2 \theta - \text{tan}^2 \theta = 1$$

$$\text{csc}^2 \theta - \text{cot}^2 \theta = 1$$

$$\text{sen } 2\theta = 2 \text{sen } \theta \text{cos } \theta$$

$$\text{cos } 2\theta = \text{cos}^2 \theta - \text{sen}^2 \theta = 2 \text{cos}^2 \theta - 1 = 1 - 2 \text{sen}^2 \theta$$

$$\text{sen}(\alpha \pm \beta) = \text{sen } \alpha \text{cos } \beta \pm \text{cos } \alpha \text{sen } \beta$$

$$\text{cos}(\alpha \pm \beta) = \text{cos } \alpha \text{cos } \beta \mp \text{sen } \alpha \text{sen } \beta$$

$$\text{tan}(\alpha \pm \beta) = \frac{\text{tan } \alpha \pm \text{tan } \beta}{1 \mp \text{tan } \alpha \text{tan } \beta}$$

$$\text{sen } \alpha \pm \text{sen } \beta = 2 \text{sen } \frac{1}{2}(\alpha \pm \beta) \text{cos } \frac{1}{2}(\alpha \mp \beta)$$

$$\text{cos } \alpha + \text{cos } \beta = 2 \text{cos } \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \text{cos } \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\text{cos } \alpha - \text{cos } \beta = -2 \text{sen } \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \text{sen } \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$