



PUC GOIÁS

ESCOLA DE CIÊNCIAS EXATAS E DA COMPUTAÇÃO – ECEC
ESCOLA DE ENGENHARIA - ENG

**CADERNO DE LABORATÓRIO DE
ELETRICIDADE APLICADA
ENG 1540**

Professor Renato Medeiros

2019

I

Fevereiro de 2019

METODOLOGIA: RELATÓRIOS E NORMAS DO LABORATÓRIO

Introdução

As práticas de laboratório representam um elemento complementar fundamental para a disciplina Física Geral e Experimental III, devendo merecer especial atenção em sua multiplicidade de funções. Os experimentos foram estruturados de modo abranger todo o programa teórico dessa disciplina.

Programa - Previsto

| Aula | Experimento |
|-------------|--|
| I | Metodologia, Relatório e Normas |
| 1 | Voltímetro, Ohmímetro e Amperímetro |
| 2 | Associação de Capacitores |
| 3 | Tabela De Código De Cores e Medidas Da Resistência |
| 4 | Lei de Ohm |
| 5 | Condutores Ôhmicos e Não-Ôhmicos |
| 6 | Associação série e paralela de resistores |
| 7 | Associação mista de resistores |
| 8 | Regras de Kirchhoff |
| 9 | Ponte de Wheatstone |
| 10 | Circuito RC: Descarga do Capacitor |
| 11 | |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |

Forma de Avaliação

Na composição das médias do laboratório, a nota das atividades experimentais terá o valor máximo determinada pelo professor a cada aula. Todas as aulas de laboratório são avaliativas. A participação do aluno na realização de todos os experimentos, a entrega das atividades correspondentes ao experimento e a frequência nas aulas, serão observadas para o somatório total da aula do dia. Não haverá reposição de práticas de laboratório. Os alunos que faltarem à determinada prática de laboratório terão automaticamente nota zero (0,0) na nota do experimento ao qual faltou.

Normas do Laboratório

O laboratório é um lugar onde observações são feitas sob condições controladas, de forma que os resultados podem ser reproduzidos. Portanto, na execução das experiências, os alunos devem seguir certas normas. São elas:

- a) O uso individual das apostilas é obrigatório, a falta da mesma acarreta um desconto de 0,3 pontos na nota total do experimento;
- b) O uso individual das calculadoras é obrigatório, a falta da mesma acarreta um desconto de 0,3 pontos na nota total do experimento;
- c) Chegar pontualmente à aula prática de laboratório (tolerância máxima de **15 minutos**);
- d) Ler atentamente as instruções relativas à sua experiência;
- e) Examinar os aparelhos que serão utilizados nas experiências, de modo a se familiarizar com o seu funcionamento e leitura de suas escalas;
- f) Nunca tocar com lápis ou caneta em escalas, instrumentos de medida, lentes etc;
- g) Nunca apertar de forma demasiada os parafusos que servem para imobilizar temporariamente certas peças, e não forçar uma peça que não se mova com facilidade. Deslocar suavemente as peças móveis;
- h) Procurar executar cada medição com a maior precisão possível, pois disso depende o correto resultado do experimento;
- i) Levar para o laboratório o material necessário: apostila, calculadora, lápis ou lapiseira e régua.
- j) Começar o experimento somente após a autorização do professor.
- k) Em hipótese alguma brincar com materiais e equipamentos destinados aos experimentos.

Bibliografia Sugerida

1. O. Helene *et al.*, *O que é uma medida física?* Revista Brasileira de Ensino de Física, **13**, 12 (1991).
2. V. P. Lkhachev, M. T. Cruz e J. Mesa. *Quantas medidas são necessárias para o conhecimento de uma grandeza física?* Revista Brasileira de Ensino de Física, **22**, 4 (2000).
3. Halliday, D., Resnick, R. e Walker, J. *Fundamentos de Física*. Vol.3, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro (2003).
4. Alonso, M. S. e Finn, E. S., *Física*, Vol. 3, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo (1998).
5. Nussenzveig, H. Moysés. *Curso de Física básica*. Vol.3, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1981.

MULTITESTE DIGITAL

1. OBJETIVOS

- Conhecer o funcionamento do multímetro básico.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- a) Multímetro digital;
- b) Resistores diferentes;
- c) Pilhas e Baterias;
- d) Fonte de Tensão DC
- e) Fonte de Tensão AC;

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O Multímetro *básico* permite fazer medidas de *resistência elétrica*, *diferença de potencial (ddp)* e *corrente elétrica*, ou seja, têm-se, em um único aparelho, um *voltímetro*, um *amperímetro* e um *ohmímetro*. Há, portanto, aparelhos (principalmente os digitais) que fazem, além dessas medidas básicas, outras mais específicas como *medir continuidade*, *testar diodos*, *transistores*, *frequência*, dentre outras.

4. EFETUANDO MEDIDAS

Tome cuidado para evitar o contato com o circuito e teste quando estiver trabalhando com alta tensão.

5. MEDIÇÃO DE TENSÃO.

1. Conecte a ponta de prova preta no terminal de entrada COM e a ponta de prova vermelha no terminal V/ Ω .
2. Posicione a chave rotativa na faixa de tensão DC (contínua) ou AC (alternada) desejada.
OBSERVAÇÃO: SE A TENSÃO A SER MEDIDA É DESCONHECIDA, COMECE PELA MAIOR FAIXA E REDUZA QUANDO NECESSÁRIO.
3. Conecte as pontas de prova sobre a fonte ou carga a ser testada. A polaridade para tensão DC é apresentada automaticamente. Quando a tensão de entrada ultrapassar o limite da faixa, o display mostrará apenas o dígito mais significativo (1) e será necessário mudar a faixa de medida.
4. Efetue a leitura do display

Para medir a *ddp*, o voltímetro deve ser ligado *em paralelo* com o dispositivo elétrico.

6. MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA.

1. Conecte a ponta de prova preta no terminal de entrada COM e a ponta de prova vermelha no terminal V/ Ω .
2. Posicione a chave rotativa na faixa de resistência (Ω) desejada.
3. Conecte as pontas de sobre a resistência a ser medida. Efetue a leitura do display

7. MEDIÇÃO DE CORRENTE.

1. Conecte a ponta de prova preta no terminal de entrada COM e a ponta de prova vermelha no terminal mA.
2. Posicione a chave rotativa na faixa de tensão DC (contínua) ou AC (alternada) desejada.

OBSERVAÇÃO: SE A CORRENTE A SER MEDIDA É DESCONHECIDA, COMECE PELA MAIOR FAIXA E REDUZA QUANDO NECESSÁRIO.

3. Desligue toda a alimentação do circuito antes de abrir o circuito para conectar o multímetro em série com a carga teste.
4. Conecte as pontas de prova e ligue a alimentação do circuito.
5. Efetue a leitura do display, a polaridade para corrente DC é apresentada automaticamente.

8. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

MEDIDAS DE TENSÃO USANDO VOLTÍMETRO DIGITAL: *Medidas de Tensão Contínua (VDC) e Tensão Alternada (VAC).*

Tabela 1.1 Medidas de voltagens ou tensões contínuas.

| Fontes de Tensão (VDC) | Multímetro Digital (V) | Valor Nominal (V) | Erro (%) |
|------------------------|------------------------|-------------------|----------|
| Fonte 1 | | | |
| Fonte 2 | | | |
| Fonte 3 | | | |
| Fonte 4 | | | |
| Fonte 5 | | | |

Tabela 1.2 Medidas de voltagens ou tensões alternadas

| Fontes de Tensão (VCA) | Multímetro Digital (V) | Valor Nominal (V) | Erro (%) |
|------------------------|------------------------|-------------------|----------|
| Fonte 1 | | | |
| Fonte 2 | | | |
| Fonte 3 | | | |
| Fonte 4 | | | |
| Fonte 5 | | | |

9. MEDIDAS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Tabela 1.3 Medidas de Resistências.

| RESISTOR | $R_1(\Omega)$ | $R_2(\Omega)$ | $R_3(\Omega)$ | $R_4(\Omega)$ |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Multímetro digital | | | | |

10. MEDIDAS DE CORRENTE ELÉTRICA

- a) Monte o circuito da figura abaixo, colocando o amperímetro em série com o resistor.
- b) Meça a corrente no resistor R1, anote o valor na Tabela 1.4.
- c) Repita o procedimento para os demais resistores, anotando os resultados na tabela 1,4.

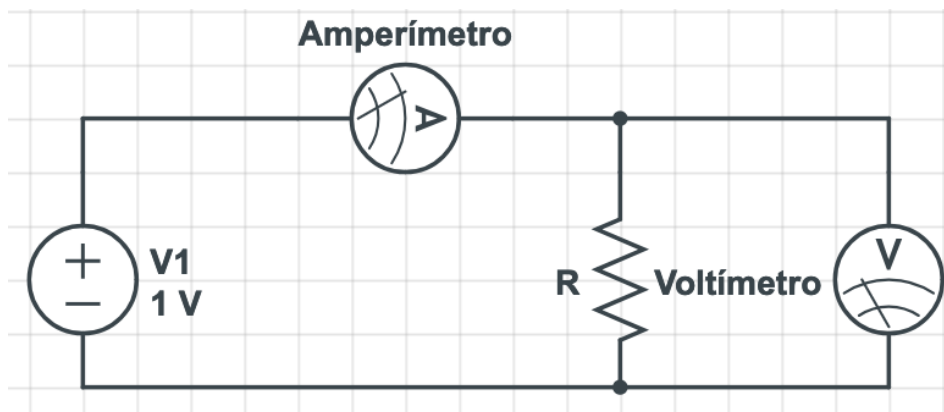


Tabela 1.4 Medidas de correntes DC.

| RESISTOR/CORRENTE DDP | I (A) | V (V) |
|-----------------------|-------|-------|
| R1 | | |
| R2 | | |
| R3 | | |
| R4 | | |

Tabela 1.5 Medidas de correntes AC.

| RESISTOR/CORRENTE DDP | I (A) | V (V) |
|-----------------------|-------|-------|
| R1 | | |
| R2 | | |
| R3 | | |
| R4 | | |

ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

1. OBJETIVOS

- Estudar os tipos de Associações de Capacitores e comparar as capacitâncias equivalentes teóricas e experimentais.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- a) Matriz de Capacitores (ou protoboard);
- b) Quatro capacitores;
- c) Fios de ligação com pinos “banana”;
- d) Medidor digital de capacitância.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Quando existe uma combinação de capacitores num circuito, podemos, algumas vezes, substituí-la por um *capacitor equivalente*, isto é, por um único capacitor que tenha a mesma capacitância que a combinação real dos capacitores. Com tal substituição, podemos simplificar o circuito e, assim, determinar, mais facilmente, as grandezas desconhecidas do circuito. Neste experimento, vamos discutir combinações básicas de capacitores que permitem tal substituição: *capacitores associados em paralelo, capacitores em série*.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A – LEITURA NOMINAL E COM MEDIDOR DE CAPACITÂNCIA

- a) Faça uma leitura nominal das capacitâncias de cada um dos capacitores dados;
- b) Meça a capacitância de cada capacitor utilizando o medidor;
- c) Calcular o erro percentual em relação às duas medidas;
- d) Anote os resultados na tabela 1.

TABELA 1 Leitura nominal.

| Capacitor | Valor Nominal (F) | Medidor (F) | Erro Percentual (%E) |
|-----------|-------------------|-------------|----------------------|
| C1 | | | |
| C2 | | | |
| C3 | | | |
| C4 | | | |

B – CAPACITORES ASSOCIADOS EM SÉRIE

- a) Obter uma relação teórica para capacitância equivalente do circuito, $C_{\text{Teórica}}$: Obter o resultado da equivalente para a capacitância;
- b) Montar os quatro capacitores da matriz numa associação em série, Fig. 1;
- c) Medir a capacitância equivalente utilizando o capacitômetro. Anote os resultados na Tabela abaixo.
- d) Calcule o erro percentual, %E.

TABELA 2 Capacitância em série.

| Capacímetro (F) | Equações Teóricas (F) | Erro Percentual (%E) |
|-----------------|-----------------------|----------------------|
| | | |

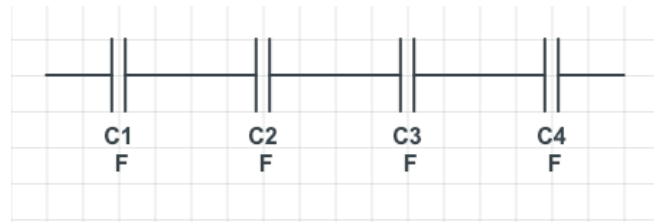


FIGURA 1 Associação de Capacitores em série.

C – CAPACITORES ASSOCIADOS EM PARALELO

- Obter uma relação teórica para capacitância equivalente do circuito, $C_{Teórica}$; Obter o resultado da equivalente para a capacitância;
- Montar os quatro capacitores da matriz numa associação em paralelo, Fig.2;
- Medir a capacitância equivalente utilizando o capacímetro. Anote os resultados na Tabela 3 abaixo.
- Calcule o erro percentual, %E.

TABELA 3 Capacitância em paralelo.

| Capacímetro (F) | Equações Teóricas (F) | Erro Percentual (%E) |
|-----------------|-----------------------|----------------------|
| | | |

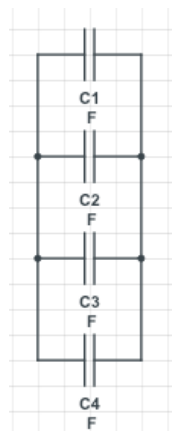


FIGURA 2 Associação de Capacitores em Paralelo.

D – ASSOCIAÇÃO MISTA DE CAPACITORES.

- Obter o resultado da equivalente para a capacitância;
- Montar os quatro capacitores da matriz numa associação mista a sua escolha;
- Medir a capacitância equivalente utilizando o capacímetro. Anote os resultados na Tabela 4 abaixo.
- Calcule o erro percentual, %E.

TABELA 4 Capacitância mista.

| Capacímetro (F) | Equações Teóricas (F) | Erro Percentual (%E) |
|-----------------|-----------------------|----------------------|
| | | |

TABELA DE CÓDIGO DE CORES E MEDIDAS DA RESISTÊNCIA

1. OBJETIVOS

Obter o valor nominal da resistência usando o código de cores dos resistores e medir a resistência utilizando o ohmímetro.

2. MATERIAL UTILIZADO

- a) Multímetro digital;
- b) Resistores diversos;

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Resistência elétrica é a capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada. Seu cálculo é dado pela Primeira Lei de Ohm, e, segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), é medida em ohms.

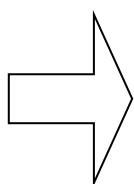
Os condutores cuja função específica em um circuito é oferecer uma resistência à corrente elétrica são denominados de resistores. No diagrama de um circuito, representamos um resistor e uma resistência pelo símbolo:



4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

LEITURA NOMINAL

- a) Familiarize com a tabela de código de cores;



PRIMEIRA FAIXA (mais próxima da extremidade): Indica o primeiro algarismo do valor da resistência;

SEGUNDA FAIXA: indica o segundo algarismo do valor da resistência;

TERCEIRA FAIXA: indica o número de zeros que devem ser colocados aos algarismos;

QUARTA FAIXA: indica a imprecisão ou tolerância do valor da resistência.

| COR | 1ª Faixa (Número) | 2ª Faixa (Número) | 3ª Faixa (zeros ou Pot. de 10) | 4ª Faixa (Tolerância) |
|----------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Preto | — | 0 | — | — |
| Marrom | 1 | 1 | 0 (x 10 ¹) | 1% |
| Vermelho | 2 | 2 | 00 (x 10 ²) | 2% |
| Laranja | 3 | 3 | 000 (x 10 ³) | — |
| Amarelo | 4 | 4 | 0000 (x 10 ⁴) | — |
| Verde | 5 | 5 | 00000 (x 10 ⁵) | — |
| Azul | 6 | 6 | 000000 (x 10 ⁶) | — |
| Violeta | 7 | 7 | — | — |
| Cinza | 8 | 8 | — | — |
| Branco | 9 | 9 | — | — |
| Ouro | — | — | x 0,1 (x 10 ⁻¹) | 5% |
| Prata | — | — | x 0,01 (x 10 ⁻²) | 10% |

Código de cores dos resistores

b) Fazer a leitura nominal dos quatro resistores utilizando a tabela de código de cores. Anote os resultados na tabela 1

Tabela 1 – Leitura nominal das resistências

| Resistor | 1º Algarismo | 2º Algarismo | 3º Algarismo | Fator Multiplicativo | % Tolerância | Resistência (Ω) |
|----------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|-----------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |

MEDIDAS DAS RESISTÊNCIAS COM O OHMÍMETRO

a) Meça as resistências dos 4 (quatro) resistores utilizando o ohmímetro digital. Anote o resultado na tabela 2.

Tabela 2 – Leitura das resistências com o ohmímetro.

| Resistência 1 (Ω) | Resistência 2 (Ω) | Resistência 3 (Ω) | Resistência 4 (Ω) |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | |

b) Calcule o erro percentual entre o valor nominal e o valor medido.

Tabela 3 – Comparação entre os valores lidos (nominais) e medidos (ohmímetro)

| resistor | Valor medido | | Desvio percentual | Faixa de tolerância (Sim/Não) |
|-----------|--------------|---------|-------------------|-------------------------------|
| | Analogico | digital | | |
| R1 | | | | |
| R2 | | | | |
| R3 | | | | |
| R4 | | | | |

5. EXERCÍCIO

Determine a sequência de cores para os resistores:

$$R1 = 4,7 \text{ K}\Omega \pm 5\%$$

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

$$R2 = 10 \Omega \pm 10\%;$$

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

$$R3 = 2,2 \Omega \pm 5\%;$$

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

$$R4 = 5,6 \text{ M}\Omega \pm 5\%;$$

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

$$R5 = 348 \Omega \pm 1\%.$$

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

Lei de Ohm

1. OBJETIVOS

Este experimento tem por objetivo estudar a dependência da diferença de potencial com a corrente de um dado circuito para componentes ôhmicos e não ôhmicos.

2. MATERIAL UTILIZADO

- Protoboard;
- Fonte de Tensão DC
- Cabos de conexão;
- Multímetros digital (2)

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se um elemento de circuito é percorrido por uma corrente elétrica, estabelece-se uma diferença de potencial V entre seus terminais. Um fato experimental importante é que, em boa parte dos casos, a tensão V será proporcional a corrente. Este comportamento pode ser escrito pela equação:

$$V = RI$$

Onde R é uma constante de proporcionalidade denominada resistência elétrica do fio, sendo sua unidade no Sistema Internacional (SI) o ohm (Ω). Esta equação é mais conhecida como *Lei de Ohm*. A maioria dos metais obedece a esta lei e, por este motivo, tais materiais são chamados de materiais ôhmicos.

Outros materiais apresentam um comportamento substancialmente diferente da Lei de Ohm, neles a dependência entre V e I não é uma relação linear e, razão pela qual, são denominados de materiais não-ôhmicos ou não-lineares (veremos isso no próximo experimento)

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PARTE 1 – LEITURA NOMINAL DAS RESISTÊNCIAS

- Determine a resistência de cada resistor utilizando o código de cores. Anote na Tabela 1
- Meça a resistência com o multímetro e calcule o erro percentual. Anote na Tabela 1.

TABELA 1 – Valores nominais e com o multímetro de cada resistor.

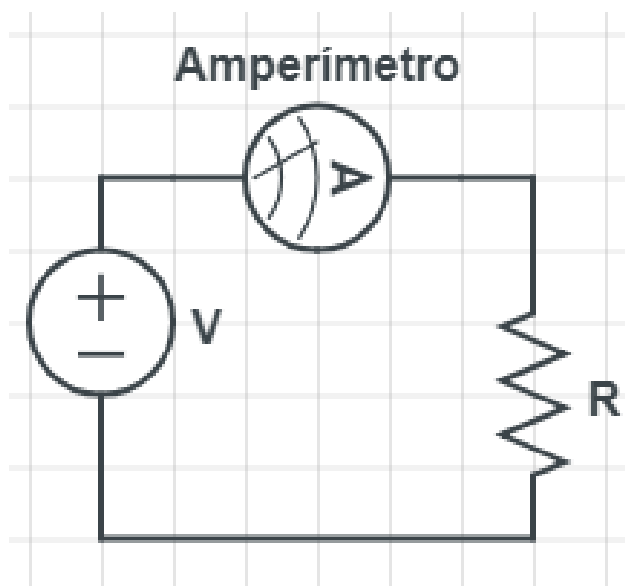
| Resistores | Código de Cores (Ω) | Multímetro (Ω) | Erro (%) |
|------------|------------------------------|-------------------------|----------|
| R_1 | | | |
| R_2 | | | |
| R_3 | | | |
| R_4 | | | |

PARTE 2 – MEDIÇÃO DA CORRENTE PELO RESISTOR

- Monte o circuito abaixo
- Para os valores de ddp's abaixo meça a corrente no resistor
- Calcule a corrente usando a lei de Ohm, use os valores nominais dos resistores (código de cores)
- Calcule o erro percentual entre a corrente calculada e medida.

TABELA 2 – Valores das corrente medidas e calculadas.

| Tensão (V) | Corrente medida (A) | Corrente Calculada (A) | Erro Percentual (%) |
|------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| 2,0 | | | |
| 2,5 | | | |
| 3,0 | | | |
| 3,5 | | | |
| 4,0 | | | |
| 4,5 | | | |
| 5,0 | | | |
| 6,0 | | | |
| 6,5 | | | |
| 7,0 | | | |
| 7,5 | | | |
| 8,0 | | | |



CONDUTORES ÔHMICOS E NÃO ÔHMICOS

1. OBJETIVOS

Traçar as curvas características de alguns dispositivos resistivos diferentes e observar se eles obedecem ou não a Lei de Ohm.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- a) Resistor;
- b) Uma lâmpada de filamento de tungstênio: 6V;
- c) Diodo LED
- d) Multímetros digital;
- e) Uma fonte de tensão DC variável (DCV);
- f) Papel milimetrado;

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Na eletricidade e eletrônica usam-se dispositivos com características diferentes de resistências, tais como: diodos (por exemplo, o diodo LED), resistores de fio, filamentos de tungstênio, etc. Este experimento visa mostrar como varia a resistência de vários elementos resistivos através do levantamento de **curvas características** e verificar se eles obedecem ou não à lei Ohm, descoberta por **Georges Simon Ohm** (1787-1854).

- **LEI DE OHM: Um dispositivo condutor obedece à lei de Ohm quando sua resistência é independente do valor e da polaridade da diferença de potencial aplicada.**

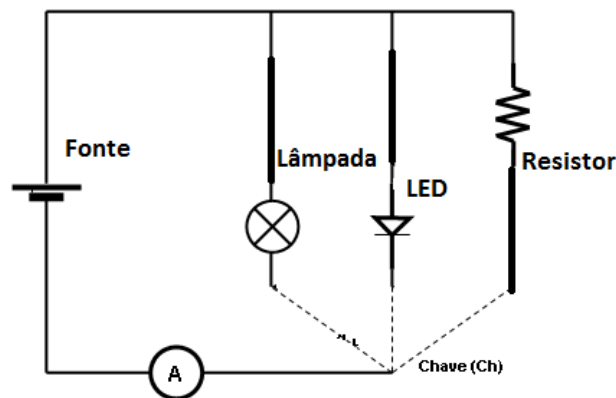


FIGURA 1 Representação esquemática do circuito.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PARTE 1 – CURVA CARACTERÍSTICA DO RESISTOR

- a) Obtenha o valor da resistência pelo código de cores e anote na Tabela .1
- b) Monte o circuito com a fonte e o resistor;
- c) Em seguida, variar a voltagem na fonte conforme a tabela abaixo e medir as respectivas correntes no amperímetro;
- d) Trace a curva $V \times i$.
- e) Obtenha a resistência do resistor utilizando a inclinação do gráfico e compare com o valor médio da Tabela 1 e com o valor da resistência obtido pelo código de cores.

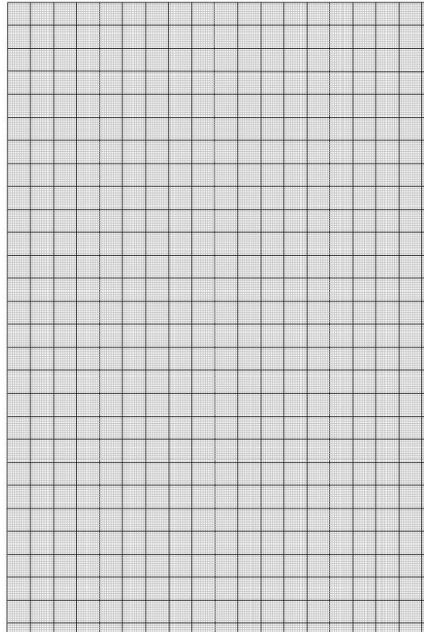


GRÁFICO 2; LÂMPADA

C – DIODO LED

- a) Monte o circuito com o LED e a fonte (observe a polaridade do LED);
- b) Em seguida, variar a voltagem na fonte conforme a tabela abaixo e medir as respectivas correntes no amperímetro;
- c) Trace a curva $V \times i$.
- d) Calcule a resistência do LED.

TABELA 3 Valores das voltagens e resistências para o LED.

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| V (V) | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |
| i (A) | | | | | | | | | |
| R (Ω) | | | | | | | | | |

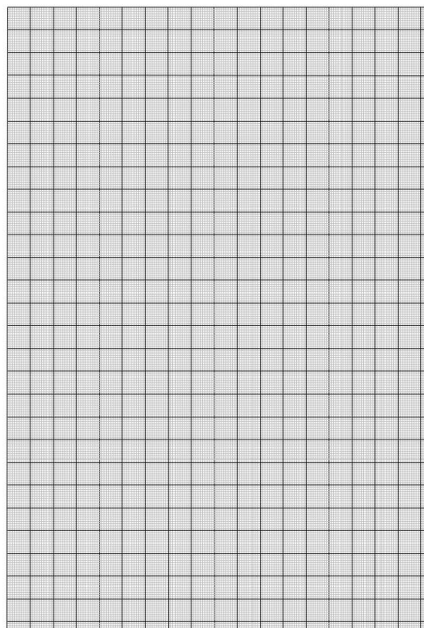


GRÁFICO 3; LED

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE E PARALELO.

1. OBJETIVOS

- Verificar a validade das equações teóricas para associações de resistores (Série e Paralelo).

2. MATERIAL UTILIZADO

- a) Matriz com resistores (ou protoboard);
- b) Cabos de conexão;
- c) Multímetros digital

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Quando há uma associação de resistores em um circuito podemos substituir essa combinação por um *resistor equivalente* – ou seja, um único resistor que possui a mesma resistência que a combinação de resistores do circuito. Com tal substituição, podemos simplificar o circuito possibilitando soluções mais fáceis para grandezas desconhecidas do circuito.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PARTE 1 – LEITURA NOMINAL DAS RESISTÊNCIAS

- a) Determine a resistência de cada resistor utilizando o código de cores. Anote na Tabela 1
- b) Meça a resistência com o multímetro e calcule o erro percentual. Anote na Tabela 1.

TABELA 1 – Valores nominais e com o multímetro de cada resistor.

| Resistores | Código de Cores (Ω) | Multímetro (Ω) | Erro (%) |
|----------------------|------------------------------|-------------------------|----------|
| R₁ | | | |
| R₂ | | | |
| R₃ | | | |
| R₄ | | | |

PARTE 2 – ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE

- a) Obtenha a equação para uma associação de resistores em série;
- b) Calcule a resistência equivalente utilizando os valores dos resistores como sendo os obtidos pelo código de cores usando a equação teórica obtida no item (a). Anote o resultado na Tab.2;
- c) Monte o circuito da Fig.1. Determine a resistência equivalente, entre os pontos *a* e *b*, utilizando o multímetro. Anote o resultado na Tab.2.
- d) Calcule o erro percentual entre a resistência equivalente calculada e medida.

TABELA 2. Valor calculado e medido para a R_{eq} da associação em série.

| Resistência Equivalente - Série | | |
|---------------------------------|-------------------------|----------|
| Calculada (Ω) | Multímetro (Ω) | Erro, %E |
| | | |

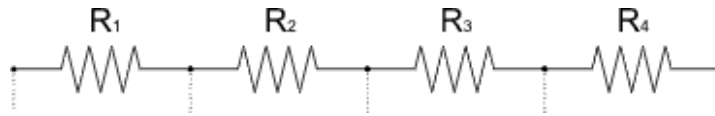


FIGURA 1. Associação em série de quatro resistores.

PARTE 3 – ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

- Obtenha a equação para uma associação de resistores em série;
- Calcule a resistência equivalente utilizando os valores dos resistores como sendo os obtidos pelo código de cores usando a equação teórica obtida no item (a). Anote o resultado na Tab. 3;
- Monte o circuito da Fig. 2. Determine a resistência equivalente, entre os pontos a e b , utilizando o multímetro. Anote o resultado na Tab. 3.
- Calcule o erro percentual entre a resistência equivalente calculada e medida.

TABELA 3. Valor calculado e medido para a R_{eq} da associação em paralelo.

| Resistência Equivalente - Paralelo | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------|
| Calculada (Ω) | Multímetro (Ω) | Erro, %E |
| | | |

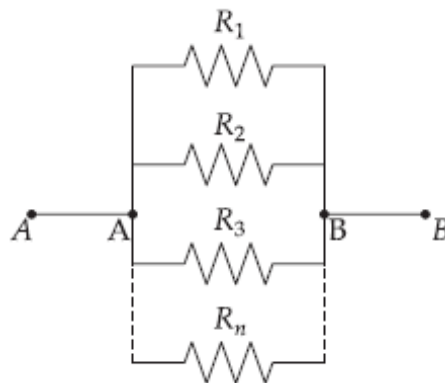


FIGURA 2. Associação em Paralelo de quatro resistores.

ASSOCIAÇÃO MISTA DE RESISTORES.

1. OBJETIVOS

- Verificar a validade das equações teóricas para associações mista de resistores.

2. MATERIAL UTILIZADO

- Matriz com resistores (ou protoboard);
- Cabos de conexão;
- Multímetros digital

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Quando há uma associação de resistores em um circuito podemos substituir essa combinação por um *resistor equivalente* – ou seja, um único resistor que possui a mesma resistência que a combinação de resistores do circuito. Com tal substituição, podemos simplificar o circuito possibilitando soluções mais fáceis para grandezas desconhecidas do circuito.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PARTE 1 – LEITURA NOMINAL DAS RESISTÊNCIAS

- Determine a resistência de cada resistor utilizando o código de cores. Anote na Tabela 1
- Meça a resistência com o multímetro e calcule o erro percentual. Anote na Tabela 1.

TABELA 1 – Valores nominais e com o multímetro de cada resistor. Valores nominais e com o multímetro de cada resistor.

| Resistores | Código de Cores (Ω) | Multímetro (Ω) | Erro (%) |
|------------|------------------------------|-------------------------|----------|
| R_1 | | | |
| R_2 | | | |
| R_3 | | | |
| R_4 | | | |
| R_5 | | | |
| R_6 | | | |

PARTE 2 – CIRCUITO 1

- Monte o circuito da Figura 1 abaixo no protoboard com quatro resistores;
- Determine a resistência equivalente, utilizando o multímetro. Anote o resultado na Tab. 2.
- Calcule a resistência equivalente. Anote o resultado na Tab. 2;
- Calcule o erro percentual entre a resistência equivalente calculada e medida.

TABELA 2. Valor calculado e medido para a R_{eq} da associação em série.

| | R_{eq} |
|----------------------------------|----------|
| Medido | |
| Calculado (com valores nominais) | |
| Simulado | |
| Erro (%) | |

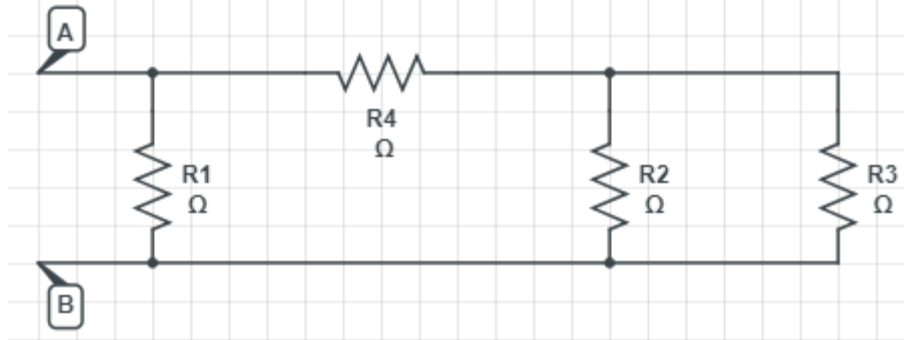


FIGURA 1. CIRCUITO 1 da associação mista de quatro resistores.

PARTE 3 – CIRCUITO 2

- Monte o circuito da Figura 2 abaixo no protoboard com quatro resistores;
- Determine a resistência equivalente, utilizando o multímetro. Anote o resultado na Tab. 3.
- Calcule a resistência equivalente. Anote o resultado na Tab. 3;
- Calcule o erro percentual entre a resistência equivalente calculada e medida

TABELA 3. Valor calculado e medido para a R_{eq} da associação em paralelo.

| | R_{eq} |
|----------------------------------|----------|
| Medido | |
| Calculado (com valores nominais) | |
| Simulado | |
| Erro (%) | |

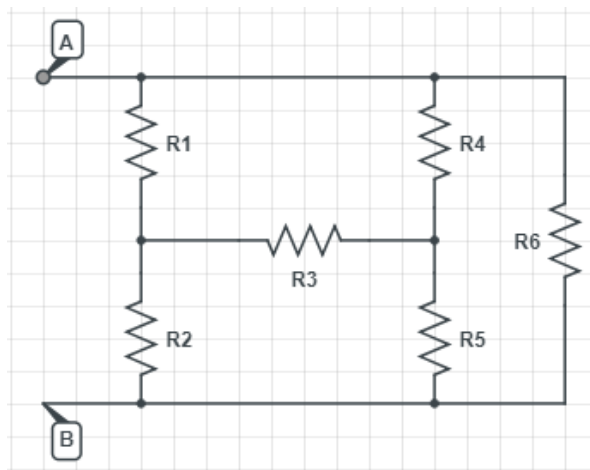
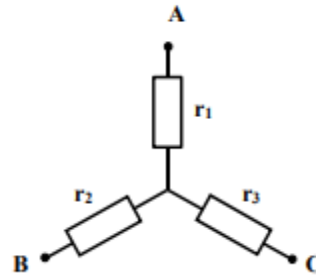
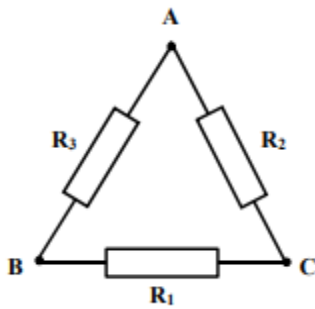


FIGURA 2. CIRCUITO 2 da associação mista de quatro resistores.

Transformação triângulo-estrela (Δ -Y): consideremos as associações triângulo e estrela abaixo:



Para que as duas associações sejam equivalentes entre si é necessário que a resistência vista entre dois pontos quaisquer (AB, BC e AC) seja a mesma em ambas as associações.

Na associação triângulo, temos:

$$R_{AB} = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{BC} = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{AC} = \frac{R_2(R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Na associação estrela, temos:

$$R_{AB} = r_1 + r_2$$

$$R_{BC} = r_2 + r_3$$

$$R_{AC} = r_1 + r_3$$

Igualando as equações correspondentes, temos:

$$\frac{R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = r_1 + r_2 \quad \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = r_2 + r_3 \quad \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = r_1 + r_3$$

Resolvendo o sistema de equações acima, obtemos as relações de transformação, a seguir:

Transformação Triângulo-Estrela:

$$r_1 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_2 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Transformação Estrela-Triângulo:

$$R_1 = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3}{r_1}$$

$$R_2 = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3}{r_2}$$

$$R_3 = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3}{r_3}$$

REGRAS DE KIRCHHOFF

1. OBJETIVOS

- Verificar experimentalmente as regras de Kirchhoff;
- Obter as ddp's teóricas no circuito;
- Obter as ddp's experimentais no circuito;
- Calcular o erro percentual entre os valores de ddp's.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- a) Protoboard (ou Matriz Kirchhoff);
- b) Cabos de conexão;
- c) Fontes de tensão contínua (pilhas ou fontes);
- d) Três resistores;
- e) Multímetro.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Ao projetarmos circuitos elétricos mais complexos, constituídos de várias malhas, em geral usamos elementos conhecidos (Ex.: resistores, baterias e outros). Frequentemente o problema então consiste em determinar a corrente em um elemento particular do circuito. Duas regras, chamadas regras de Kirchhoff, em homenagem ao físico alemão *Gustav Robert Kirchhoff* (1824-1887), guia-nos na determinação dessas correntes. Essas regras são conhecidas como *regra das malhas* e a *regra dos nós*:

- ❑ **REGRA DAS MALHAS:** A soma algébrica das variações de potencial encontradas ao longo de uma malha fechada de qualquer circuito deve ser nula.
- ❑ **REGRA DOS NÓS:** A soma das correntes que chegam a qualquer nó deve ser igual à soma das correntes que saem daquele nó.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- A) Familiarizar com as regras de Kirchhoff;
- B) Usar as regras de Kirchhoff (no circuito da Fig. 1) para obter as equações para o cálculo das ddp's no circuito abaixo
- C) Escolher três resistores;
- D) Fazer a leitura nominal das resistências e com o multímetro. Anote na tabela 1;
- E) Calcule o erro percentual entre a leitura nominal e o Multímetro.

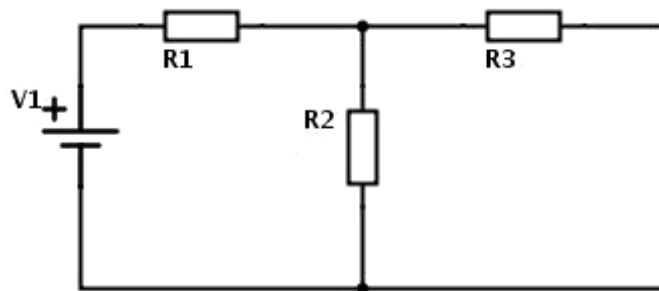


FIGURA 1 Circuito simples.

TABELA 1 Valores das resistências.

| | Leitura Nominal (código de cores) | Multímetro | Erro, %E |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------|----------|
| Resistor R ₁ (Ω) | | | |
| Resistor R ₂ (Ω) | | | |
| Resistor R ₃ (Ω) | | | |

- F) Escolher uma fonte de tensão (entre 5 e 10 V);
- G) Fazer a leitura da ddp das fontes com o multímetro (**com o seletor em 20 V**) e nominal (na própria bateria, pilha ou fonte de tensão). Anote na Tabela 2;
- H) Calcule o erro percentual entre a leitura nominal e a leitura com o multímetro.

TABELA 2 Leitura das fontes de tensão.

| Fontes de Tensão | Leitura Nominal (V) | Multímetro (V) | Erro, %E |
|------------------|---------------------|----------------|----------|
| V1 | | | |

- I) Utilizando as regras de Kirchhoff calcular as correntes V_1 , V_2 e V_3 sobre os resistores. Anote os valores na tabela 3.
- J) Montar o circuito da Fig.1;
- K) Medir com o voltímetro as ddp's V_1 , V_2 e V_3 . Anote os valores na tabela 3.
- L) Calcule o erro percentual entre a leitura feita com o voltímetro e os resultados obtidos pelas Regras de Kirchhoff;

Tabela 3 - Correntes Elétricas.

| ddp's | Multímetro (V) | Kirchhoff (V) | Erro, %E |
|-------|----------------|---------------|----------|
| V1 | | | |
| V2 | | | |
| V3 | | | |

CIRCUITO RC: DESCARGA DO CAPACITOR

1. OBJETIVOS

- Usar a configuração de resistores chamada de *ponte de Wheatstone* para medir as resistências desconhecidas;

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- Matriz Wheatstone (ou Protoboard);
- Cabos de conexão com pino “banana”;
- Fonte de tensão contínua variável: 10 VDC;
- Dois resistores conhecidos de 1/8 W: 1,0 kΩ e 390 Ω;
- 10 (dez) resistores de resistências desconhecidas;
- Multímetro digital;
- Década Resistiva.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Na Fig.8.1, a resistência R_V (**Resistência variável**) deve ter seu valor ajustado na década resistiva até que os pontos “c” e “b” sejam trazidos para o mesmo potencial. Testa-se esta condição, ligando-se um voltímetro sensível entre os pontos “c” e “b”. Se estes pontos estiverem no mesmo potencial, o voltímetro marcará zero e dizemos que a **ponte está em equilíbrio**. Quando o ajuste é feito, a seguinte relação é válida:

$$R_x = R_V \left(\frac{R_1}{R_2} \right)$$

Uma resistência desconhecida R_x pode ser medida em termos de uma resistência padrão R_V usando-se este dispositivo, que é chamado **Ponte de Wheatstone** em homenagem ao físico inglês **Charles Wheatstone** (1802-1875).

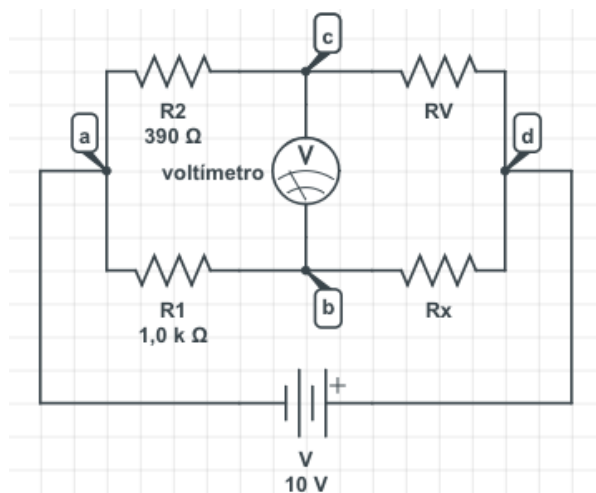


FIGURA 1 Matriz da Ponte de Wheatstone.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

CIRCUITO RC: DESCARGA DO CAPACITOR

1. OBJETIVOS

- Estudar os chamados circuitos RC, formados por uma resistência R e um capacitor C, e determinar a constante de tempo capacitiva $\tau = RC$.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

- | | |
|--|------------------------|
| a) Matriz RC; | d) Resistor; |
| b) Cabos de conexão com “pino banana”; | e) Multímetro digital; |
| c) Capacitor eletrolítico; | f) Cronômetro digital; |

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A equação teórica para a ddp de descarga do capacitor é

$$V_c = V_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

em que $\tau = RC$ é uma constante chamada de *constante de tempo capacitiva* do circuito e t é o tempo medido a partir do instante zero. Na carga, essa constante é igual ao tempo necessário para que a carga atinja aproximadamente 63% de seu valor final (de equilíbrio). Na descarga, representa 37% da carga inicial.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PARTE 1 – MEDIDA DAS CONSTANTES

- Obtenha com o código de cores a resistência R e faça a leitura nominal da capacitância C. Anote o resultando na tabela 1;
- Em seguida, calcule a constante de tempo capacitiva: $\tau = RC$;

TABELA 1 - Constantes.

| R (Ω) | C (F) | τ (s) |
|----------------|-------|------------|
| | | |

PARTE 2 – CARGA DO CAPACITOR

- Montar o circuito da Fig.12.1, com a **fonte de tensão desligada**, no protoboard;
- Ajustar a fonte de tensão (DCV) para 14 V;
- Mantenha a chave (Ch) ligada no ponto “a” para que o capacitor carregue através do resistor até que atinja sua carga próxima de $\cong 12$ V.
- Ligue a chave (Ch) no ponto “b” para fazer a descarga do capacitor, simultaneamente, acione o cronômetro. Anote na tabela os valores das ddp’s para os tempos da Tabela 1 (sem desativar o cronômetro).

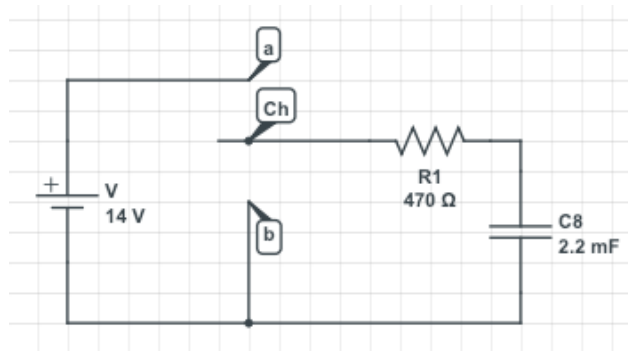


FIGURA 1 Representação do circuito.

Tabela 1 – Dados experimentais.

| t (s) | ddp (V) | ln(V/V ₀) | τ (s ⁻¹) | t (s) | ddp (V) | ln(V/V ₀) | τ (s ⁻¹) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------|-------|---------|-----------------------|----------------------|
| 0 | | | | 100 | | | |
| 5 | | | | 110 | | | |
| 10 | | | | 120 | | | |
| 15 | | | | 140 | | | |
| 20 | | | | 160 | | | |
| 30 | | | | 180 | | | |
| 40 | | | | 200 | | | |
| 50 | | | | 220 | | | |
| 60 | | | | 240 | | | |
| 70 | | | | 260 | | | |
| 80 | | | | 280 | | | |
| 90 | | | | 300 | | | |

- e) Traçar o gráfico de V_{xt} para observar o comportamento decrescente da ddp no capacitor (gráfico 1).
- f) Fazer um gráfico de V_{xt} em um papel mono-log (V na escala logarítmica e t na escala linear) (gráfico 2).;
- g) Obter a inclinação da reta (A), em seguida determinar a constante de tempo $A = \ln(e)/\tau$. Calcule o erro percentual, %E.

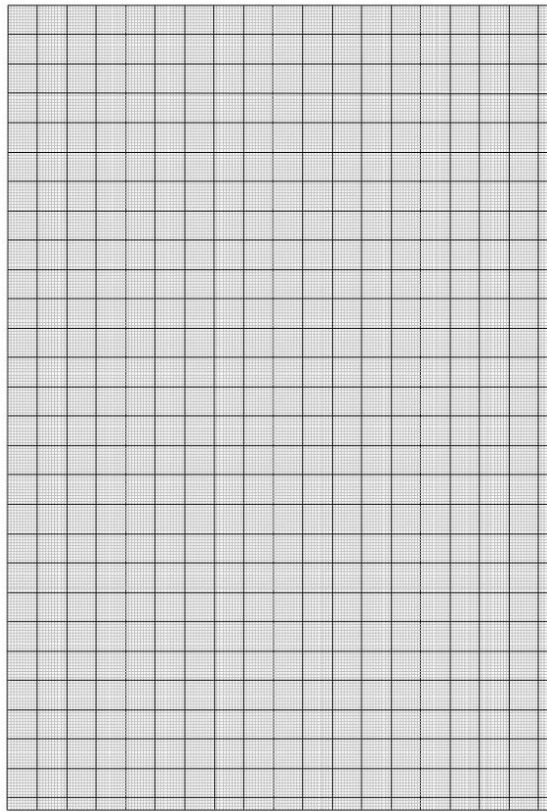


Gráfico 1: tensão versus tempo no papel milimetrado

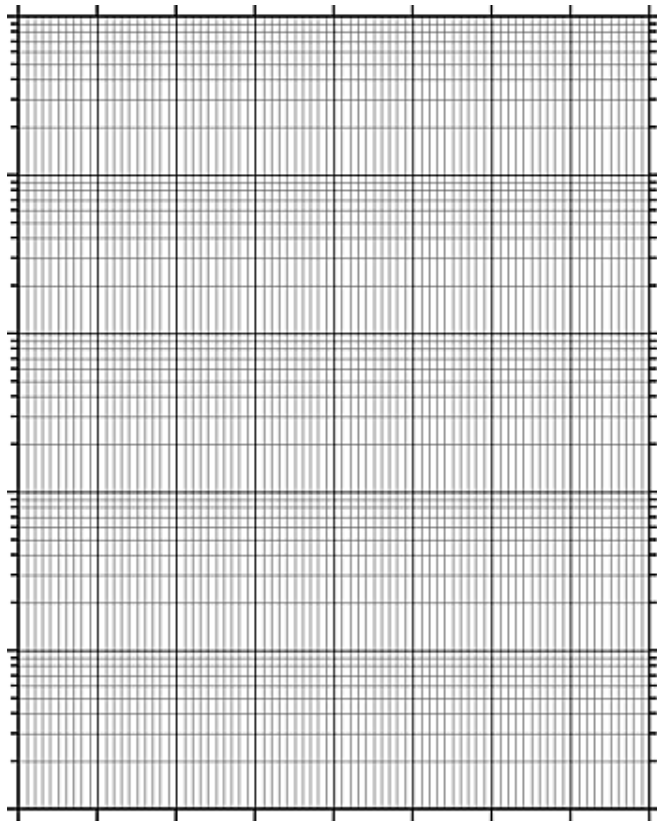


Gráfico 2: tensão versus tempo no papel monolog