



**INSTITUTO DE FÍSICA**

---

**Guia e roteiros para Laboratório de  
Eletricidade e Magnetismo**

---

Prof. Dr. Mauricio Foschini  
Prof. Dr. Cristiano Alves Guarany  
Prof. Dr. Wellington Akira Iwamoto  
Prof. Dr. Alexandre Marletta

---

---

**1ª edição**

**Uberlândia, 24 de Agosto de 2016.**

## Sumário

1. NORMAS DE SEGURANÇA DO LABORATÓRIO	iv
2. USO DO MULTÍMETRO	1
INTRODUÇÃO	1
OHMÍMETRO	1
VOLTÍMETRO	2
AMPERÍMETRO	3
ROTEIRO	6
1º Montagem (Medindo resistência elétrica).	6
2º Montagem (Medindo Tensão DC.).	6
3º Montagem (Medindo corrente contínua).	6
EXERCÍCIO COMPLEMENTAR	7
3. USO DO OSCILOSCÓPIO	1
INTRODUÇÃO	7
CLASSIFICAÇÃO DOS OSCILOSCÓPIOS	7
CONTROLES DE UM OSCILOSCÓPIO	7
MEDIDA E LEITURA DE TENSÃO COM O OSCILOSCÓPIO	11
MEDIDA E LEITURA DE FREQUÊNCIA COM O OSCILOSCÓPIO	11
4. CARGA E MATÉRIA	13
INTRODUÇÃO	13
A MATÉRIA	13
TIPOS DE ELETRIZAÇÃO	13
ROTEIRO	16
1º Experimento (Balança Elétrica)	16
2º Experimento (Gerador de Van de Graaff)	18
ANÁLISE EXPERIMENTAL	19
5. POTENCIAL ELÉTRICO E CAMPO ELÉTRICO	21
INTRODUÇÃO	21
ROTEIRO	22
1º Experimento (Óleo de rícino e semolina)	22
2º Experimento (Cuba Eletrolítica)	23
6. CAPACITOR VARIÁVEL E DIELETRICOS	26
INTRODUÇÃO	26

ROTEIRO _____	27
1° Experimento (Permissividade elétrica do Ar) _____	27
2° Experimento (Constante dielétrica do papelão e do EVA) _____	28
7. CARGA E DESCARGA DE CAPACITORES _____	29
INTRODUÇÃO _____	29
ROTEIRO _____	29
1º Montagem (Carga do capacitor) _____	30
2º Montagem (Descarga do capacitor) _____	31
ANÁLISE EXPERIMENTAL _____	31
8. LEI DE OHM E RESISTIVIDADE _____	35
INTRODUÇÃO _____	35
ROTEIRO _____	36
1° Experimento (Dependência da resistência elétrica com a diferença de potencial) _____	37
2° Experimento (Resistividade de um condutor) _____	37
9. CIRCUITOS ELÉTRICOS _____	41
INTRODUÇÃO _____	41
ROTEIRO _____	42
10. RESISTÊNCIA INTERNA DE UMA FONTE _____	44
INTRODUÇÃO _____	44
ROTEIRO _____	45
11. BALANÇA MAGNÉTICA - LEI DE AMPÈRE E FORÇA DE LORENTZ _____	49
INTRODUÇÃO _____	49
EXPLICAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DA BALANÇA ANALÓGICA. _____	52
ROTEIRO 01: Força de Lorentz _____	53
ANÁLISE EXPERIMENTAL _____	54
ROTEIRO 02: APLICAÇÃO DA LEI DE AMPÈRE UTILIZANDO UM FATOR EMPÍRICO _____	55
ANÁLISE EXPERIMENTAL _____	56
12. CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR BOBINAS EM SEU EIXO DE SIMETRIA _____	57
INTRODUÇÃO _____	57
ROTEIRO _____	59
Mapeando do campo de uma única espira _____	59
Mapeando do campo de duas espiras _____	60
ANÁLISE EXPERIMENTAL _____	60
13. MEDIDA DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA _____	61

INTRODUÇÃO	61
ROTEIRO	62
ANÁLISE EXPERIMENTAL	63
Declinação Magnética	64
14. MOMENTO DE DIPOLO MAGNÉTICO E TORQUE MAGNÉTICO	65
INTRODUÇÃO	65
ROTEIRO	66
Torque com a balança de torção:	67
A) Determinação do momento magnético de espiras com corrente $i$ fixa e áreas diferentes:	67
B) Determinação do momento magnético de uma espira com a variação do campo aplicado:	68
C) Determinação do torque em função do ângulo $\phi$ da espira em relação ao campo magnético aplicado:	68
ANÁLISE EXPERIMENTAL	68
15. TRANSFORMADORES	69
INTRODUÇÃO	69
ROTEIRO	69
ANÁLISE EXPERIMENTAL	70
16. APÊNDICES	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
APÊNDICE A: MULTÍMETRO E INTRODUÇÃO A CIRCUITOS	1
INTRODUÇÃO	1
AMPERÍMETRO	1
VOLTÍMETRO	3
OHMÍMETRO	4
MULTÍMETRO DIGITAL	4
APÊNDICE B: ESQUEMA DAS TRILHAS DE UM PROTOBOARD	34
_____	34
_____	34
REFERÊNCIAS	71

## 1. NORMAS DE SEGURANÇA DO LABORATÓRIO

---

1) O uso de Bermudas, chinelos ou calçados abertos e camisetas regatas são proibidos no laboratório. Os usuários devem utilizar no mínimo calçados fechados, calça comprida e camiseta com manga.

---

2) Não é permitido entrar com garrafas de água no laboratório.

---

3) O consumo de bebidas ou alimentos dentro do laboratório é proibido.

---

4) É vedado o uso de celulares.

---

5) Não mexa em nenhum equipamento disposto na bancada sem antes receber instruções e orientações do professor.

---

6) Não é permitido brincadeiras durante o experimento.

---

7) A tolerância máxima para entrar no laboratório é de 10 minutos após o início da aula.

---

8) Não insira qualquer objeto que não seja um plug de energia nas tomadas.

---





## 2. USO DO MULTÍMETRO

### INTRODUÇÃO

O multímetro é um instrumento de parâmetros elétricos, que permite fazer medidas tais como tensões elétrica (ddp), intensidade de corrente e resistência elétrica com um único instrumento. Multímetros mais modernos permitem ainda realizar medidas de outras grandezas como capacitância, indutância, frequência, temperatura entre outras. Podem-se encontrar multímetros analógicos, que possuem o mostrador de leitura composto por um indicador de ponteiro sobre uma escala graduada, e os digitais, onde a leitura é indicada por meio de um display LCD ou LED.

O modo de usar o multímetro, independentemente de ser digital ou analógico, é sempre muito semelhante, bastando para isso entender o seu princípio básico de leitura. Um multímetro possui duas pontas de provas, uma vermelha e uma preta. A preta deve ser conectada no ponto do multímetro indicado com GND ou COM (este é chamado de “terra” ou comum). A ponta de prova vermelha pode ser ligada em outras duas entradas, mas para a maioria das medidas realizadas, a ligação é feita no ponto indicado como V- $\Omega$ -mA.

A grandeza elétrica a ser medida é selecionada no multímetro por meio de uma chave rotativa selecionado **V** para tensão elétrica,  **$\Omega$**  para resistência elétrica e **mA** para corrente elétrica. A chave rotativa também é usada para selecionar a medição de tensões em AC (corrente alternada) ou DC (corrente contínua). Alguns multímetros possuem um único conjunto de escalas para tensão e uma chave adicional para escolher entre AC e DC. Para cada grandeza elétrica a ser medida existem várias escalas, que devem ser selecionadas de acordo com o valor da leitura observado.

**Nota-** É importante salientar que o uso dos termos **voltagem** e **amperagem** são incorretos, vistos que **volts** e **ampère** são unidades e não grandezas físicas o termo correto é **tensão elétrica** e **corrente elétrica** respectivamente. Alguns textos utilizam erroneamente o termo **voltagem** derivado da tradução errônea do termo em inglês.

Dividiremos o multímetro em três partes distintas: ohmímetro, voltímetro e amperímetro. Cada uma destas partes será estudada separadamente.

### OHMÍMETRO

O ohmímetro é um instrumento utilizado para fins de medida de resistência elétrica. Para a medida de resistência elétrica devemos colocar a chave rotativa na posição  $\Omega$ , escolhendo o menor fundo de escala. Chamamos de fundo de escala o limite máximo de uma grandeza que o instrumento pode medir. Em seguida conectamos as pontas de prova preta e vermelha nas entradas GND e V- $\Omega$ -mA respectivamente, (ver Figura). As outras extremidades das pontas de prova serão levadas para o componente ou dispositivo que se deseja medir, colocando sempre as pontas de provas em paralelo com a resistência elétrica como ilustra a Figura 1.2.



Figura 2.1: Multímetro configurado como ohmímetro para leitura de resistência elétrica. As escalas para média de resistência elétrica estão destacadas em coração mais escura. As pontas de provas devem ser ligados nos terminais COM e V- $\Omega$ -mA para realizar a medida.

**Nota-** O ohmímetro é um equipamento que mede a grandeza resistência elétrica, não confundir com outra grandeza denominada de resistividade, que é uma característica intrínseca do condutor elétrico analisando. Em experimentos futuros iremos estudar melhor a resistividade dos condutores.

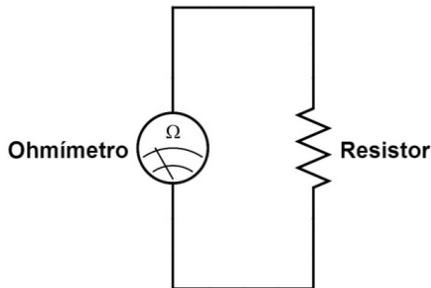


Figura 1.2: Circuito para medição de resistência elétrica de um resistor. Os terminais do multímetro devem ser ligados em paralelo com o componente a ser medido.

Se o mostrador não indicar nenhum valor e mostra um número 1 no canto esquerdo do visor é sinal que a grandeza medida está com um valor acima da escala escolhida, deve-se então girar a chave para uma escala superior.

Ao se realizar medidas de resistência elétrica deve-se evitar tocar as extremidades da ponta de prova com ambas as mãos simultaneamente, pois ao fazer isso você coloca a resistência elétrica do seu corpo em paralelo com a resistência elétrica medida, influenciando no valor correto da medida. A Figura 2.2 ilustra o modo correto de se fazer a leitura de resistência.

Muitos multímetros possuem ao lado da escala de resistência, uma escala que emite um beep através de um pequeno alto falante em caso de resistência elétrica baixa. Desta forma é possível confirmar as ligações realizadas sem ter que olhar para o display do multímetro. Esse recurso muitas vezes é chamado de detector de continuidade.



Figura 2.2: Leitura da resistência elétrica de um resistor. As mãos não devem tocar simultaneamente as duas pontas de prova.

## VOLTÍMETRO

A diferença de potencial, ddp, é a diferença de energia potencial elétrica entre dois pontos. Temos dois tipos de tensões, contínua e alternada que são representados por VDC (DCV) e VAC (ACV) respectivamente e selecionadas pela chave rotativa como indica a Figura 2.3.



Figura 2.3: Multímetro configurado para leitura de tensão. A imagem da esquerda a chave seletora está posicionada para realizar medidas de tensão contínua e a imagem da direita selecionada para medida de corrente alternada.

As medidas de ddp tanto contínuas como alternada, são feitas conectando o voltímetro em paralelo, como ilustrado pelo circuito da Figura 2.4. As pontas de prova são colocadas entre os pontos os quais se deseja medir a ddp. Para não interferir no valor da tensão analisada do circuito o voltímetro ideal deve possuir resistência elétrica interna infinita para não interferir no circuito.

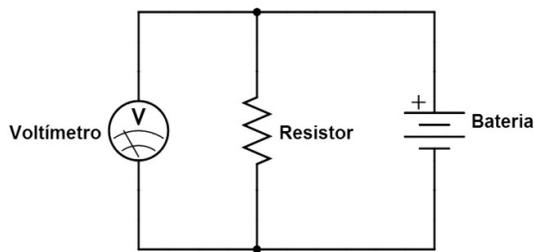


Figura 2.4: Circuito com um voltímetro medindo a tensão aplicada a um resistor. O voltímetro está ligado em paralelo com o resistor.

O voltímetro também apresenta diferentes escalas para medidas de tensão, as quais dever ser selecionadas adequadamente para fornecer uma medida o mais precisa possível. Sempre que se for fazer uma medida de tensão desconhecida é recomendado iniciar a medição colocando o multímetro na escala com o maior fundo de escala possível, pois se medirmos uma tensão muito elevada usando uma escala baixa corre-se o risco de danificar o aparelho. Também é recomendado sempre estimar qual o potencial máximo que poderá aparecer no circuito. Ao realizarmos a leitura devemos então ajustar a escala do voltímetro para obter uma melhor leitura. Isto é feito mudando a chave para posições de fundo de escalas menores, sempre tomando o cuidado de não escolhermos uma escala inferior em limite ao valor sendo medido. Uma boa conduta para preservação do multímetro é sempre que for mudar a escala ou o tipo de grandeza a ser medido, desconectar o aparelho do circuito, fazer os ajustes necessários e só depois conectá-lo novamente ao circuito.

Para exemplificar, a Figura 2.5 ilustra um voltímetro padrão mostrando o valor de medida para mesma tensão, em escalas diferentes no lado esquerdo da figura o fundo de escala está ajustado para 1000 V, já no lado direito da figura o fundo de escala é de 20V. Como pode se perceber o valor da tensão tem maior resolução quando ajustado adequadamente para escala mais conveniente de leitura. Quando o voltímetro está na escala de 20 V a tensão

medida é de 11,72 V enquanto na escala de 1000 V é registrado 12 V.



Figura 2.5: Multímetro configurado como voltímetro para medida de tensão. A imagem à esquerda mostra leitura realizada com o fundo de escala para 1000 V e a imagem da direita a leitura para a mesma valor de tensão só que com um fundo de escala de 20 V, onde é possível observar uma maior resolução da medida.

No caso de medidas de corrente continua é necessário ter atenção a polaridade de conexão. Quando um multímetro digital é ligado com as polaridades invertidas ele irá indicar um sinal negativo na frente da leitura efetuada. Neste caso deve-se inverter a posições das pontas de prova para uma leitura correta da tensão.

### AMPERÌMETRO

Corrente elétrica, é o movimento ordenado de cargas elétricas. Sua unidade é o ampère (A) e tem como múltiplos:

- Miliampere (mA) → 1 mA =  $10^{-3}$  A
- Microampere ( $\mu$ A) → 1  $\mu$ A =  $10^{-6}$  A
- Nanoampere (nA) → 1 nA =  $10^{-9}$  A
- Picoampere (pA) → 1 pA =  $10^{-12}$  A

Existem duas categorias de correntes: contínua e alternada, conforme características na sua geração. A medida de corrente é feita inserindo as pontas de prova do amperímetro em série no circuito como ilustra a Figura 2.6. Por essa razão o amperímetro deve ter uma resistência elétrica interna muito pequena, para que a corrente a ser medida não se altere. O amperímetro ideal é

aquele que possui resistência elétrica interna nula, não influenciando no circuito a ser medido. Na prática, o amperímetro possui resistência elétrica interna de baixo valor, conforme características de sua estrutura.

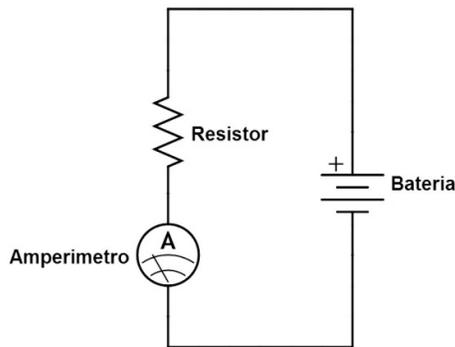


Figura 2.6: Circuito para medida da corrente que circula por um resistor. O amperímetro é ligado em série com o resistor.

A medida de corrente é a medida onde se deve ter o maior cuidado na hora de realização, pois uma ligação incorreta do multímetro pode ocasionar desde a completa queima do equipamento até mesmo danificar o circuito ao qual se está avaliando.

Quando se vai iniciar uma medida de corrente elétrica deve-se primeiro colocar o amperímetro de tal forma que a chave seletora indique a maior corrente de fundo de escala. Na maioria dos equipamentos esta escala é de 10A. No entanto, para medida de corrente nesta escala as pontas de prova devem estar em bornes específicos do instrumento, como ilustra a Figura 2.7. Uma ponta de prova deve ficar no terminal COM ou GND, e a outra no terminal específico para corrente de 10A e a chave rotativa seletora também deve estar posicionada na escala de 10A.

Deve-se ressaltar que a ligação do multímetro na configuração de amperímetro no circuito elétrico é diferente das configurações utilizadas anteriormente. Para se medir a corrente é preciso fazer uma interseção no circuito de tal forma que a corrente passe pelo instrumento. Caso o amperímetro seja ligado em paralelo isso

irá provocar um curto-circuito, que irá danificar o instrumento e poderá afetar o circuito elétrico.



Figura 2.7: Multímetro configurado como amperímetro para leitura de corrente elétrica com fundo de escala de 10 A.

Caso a corrente média seja inferior a 0,2 A (200 mA) pode-se mudar a chave rotativa para uma outra posição a fim de se ter uma leitura com maior resolução. Neste caso, a ponta de prova que estava anteriormente no terminal de 10 A deverá voltar para o terminal V-Ω-mA e a chave seletora posicionada no fundo de escala de 200 mA como ilustrado na Figura 2.8.



Figura 2.8: Multímetro configurado como amperímetro para leitura de corrente elétrica com fundo de escala de 200 mA.

Integrando esse capítulo, Multímetros e introdução a circuitos encontra-se uma explicação dos princípios básicos de funcionamento do multímetro no Apêndice A.



---

---

## ROTEIRO

### OBJETIVO

- Realizar medidas de diferentes grandezas utilizando o multímetro.

### EQUIPAMENTOS

- Multímetro MD-300 INSTRUTHERM (Escala de 200mA);
- Fonte Simétrica (Limitação de corrente de 150mA);
- Resistores ( $1k\Omega$ ,  $4,7k\Omega$  e  $10k\Omega$ ) (kit phywe);
- Lâmpada 12V (kit phywe);.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 1º Montagem (Medindo resistência elétrica).

Para este procedimento será necessário além do multímetro um componente ao qual se deseja medir sua resistência elétrica. Vamos utilizar três resistores e uma lâmpada. Ajuste a chave seletora para a posição de ohmímetro. Conecte as pontas de prova no multímetro como indicado na Figura 0 e conecte as outras extremidades das pontas de prova no componente a ser medido. Anote os valores de resistência elétrica da lâmpada e dos resistores.

#### 2º Montagem (Medindo Tensão DC.).

Para a medida de tensão elétrica iremos utilizar uma fonte de tensão contínua. A fonte disponível permite ajustar a tensão desejada por meio de botões em seu painel (ajustes de tensão e corrente – sendo que a da corrente estará fixada em 150 mA). Ajuste a tensão para que o mostrador (V) da fonte indique um valor de 10 V. Conecte o multímetro nos terminais positivo e negativo, vermelho e preto respectivamente, observando a polaridade dos terminais do multímetro. Faça a leitura da tensão anote e compare com o valor indicado pela fonte, ajuste a escala do voltímetro para melhor leitura. Repita esse procedimento para mais três valores

distintos de tensão contínua solicitada pelo professor e sempre compare o valor mostrado no mostrador da fonte com o valor lido no multímetro.

#### 3º Montagem (Medindo corrente contínua).

Neste procedimento é necessário muito cuidado ao realizar a medida para não provocar nenhum dano ao equipamento. Para medida de corrente elétrica será necessário montar um circuito elétrico com uma lâmpada. O circuito a ser montado deve ser como representa a 2.7 substituindo o resistor por uma lâmpada. Com a fonte ainda desligada, gire totalmente o botão de ajuste de tensão da fonte totalmente em sentido anti-horário, de tal forma que a tensão inicial ao ligar o equipamento seja 0 V. Monte o circuito com o amperímetro conectado corretamente na maior escala (tomando o cuidado de estimar a corrente do circuito e não superado a escala máxima). Por fim, ligue a fonte e ajuste com cuidado o botão até ele indicar uma tensão de 12 V em seu mostrador, observe que durante o procedimento de ajuste de tensão, a lâmpada vai alterando seu brilho.

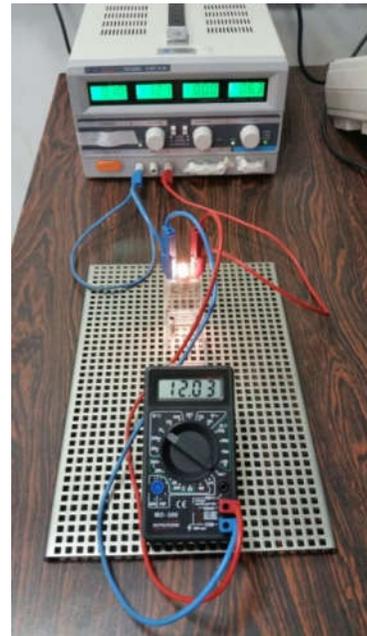


Figura 2.9: Montagem elétrica do circuito para acender uma lâmpada.

Meça a corrente elétrica que passa pelo circuito ajustando adequadamente a escala de corrente, tomando o cuidado de não colocar escala inadequada. CUIDADO AO DESLIGAR O EQUIPAMENTO, para desligar o equipamento é necessário desligar primeiramente a fonte e

somente após a corrente elétrica ser zero é que deverá desligar o amperímetro. Observe que para desligar o amperímetro é necessário girar o botão de seleção em escalas de correntes menores.

### EXERCÍCIO COMPLEMENTAR

Para se medir tensão máxima, a corrente elétrica e a resistência elétrica, é comum utilizar o multímetro (multímetro), porém é necessário conhecer o básico do instrumento de medida.

Abaixo estão representados 9 multímetros com escalas corretas e inapropriadas para a medição efetuada. Para o multímetro em na escala correta, faça a leitura e coloque o tipo de medida que está sendo realizada e sua precisão, para os multímetros em escala inapropriada, explique o porquê está aparecendo esta leitura e o que deverá ser feito para realizar a leitura corretamente.

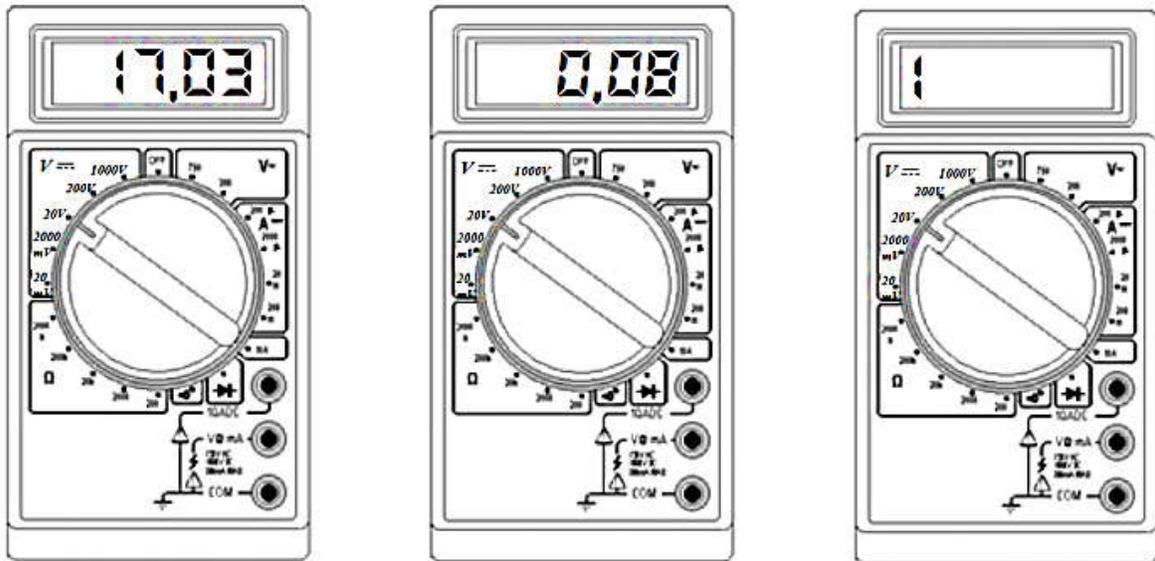


Figura 2.11: Primeiro conjunto de Multímetros.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---







## APÊNDICE A: MULTÍMETRO E INTRODUÇÃO A CIRCUITOS

### INTRODUÇÃO

Em qualquer medida realizada no dia a dia com instrumentos de medidas a base de dispositivos eletrônicos mede-se a diferença de potencial elétrico ou a corrente elétrica, seja sensor de temperatura, sensor de luz, pressão, fluxo e etc. Esses aparelhos são baseados em sensores com transdutores que convertem o sinal físico para um sinal elétrico. É simples entender este processo quando se pensa em um sensor de temperatura, que na realidade, mede a variação da temperatura em função da variação da resistência elétrica ou em função da diferença de potencial (d.d.p.) gerado em um termopar.

### MEDIÇÕES ELÉTRICAS (VOLTÍMETRO, OHMÍMETRO E AMPERÍMETRO)

O multímetro é o instrumento de medida mais presente em laboratórios de pesquisa, sejam laboratórios de química, física ou eletrônica. Este equipamento é o principal instrumento de teste, reparos e medições em circuitos eletrônicos. Os multímetros podem ser do tipo analógico ou digital (*Figura 16.1a* e *Figura 16.1b*), diferenciando de sua eletrônica base, porém com o mesmo princípio de sua funcionalidade.



Figura 16.1: a) foto de um multímetro a) analógico e b) digital.

As medidas mais comuns realizadas pelos multímetros são no modo amperímetro, voltímetro e ohmímetro, sendo que o multímetro analógico utiliza apenas de

eletrônica analógica simples (resistências, capacitores, bateria e um galvanômetro) e o multímetro digital utiliza tanto de eletrônica analógica quanto eletrônica digital (mostrador de cristal líquido, resistências, capacitores, bateria, conversores analógico/digital e microcontroladores).

A maneira de efetuar as medidas e os cuidados de medir as grandezas físicas em ambos os multímetros são idênticos. Desta forma, será tratado neste roteiro apenas o princípio de funcionamento do multímetro analógico, se estendendo a aplicabilidade para um multímetro digital a ser utilizado nas futuras práticas.

O princípio de funcionamento de um multímetro analógico (*Figura 16.1a*) é a medida da corrente por um galvanômetro ligado em circuitos que contenham resistências elétricas em série ou em paralelo através de uma chave seletora de circuitos, podendo ainda incluir ou não uma fonte de tensão (bateria interna). Com três tipos de arranjos experimentais utilizando o galvanômetro junto com resistências elétricas diversificadas e uma bateria é possível montar um medidor de corrente com diversas escalas de medida (Amperímetro), um medidor de potencial com diversas escalas de medida (Voltímetro) e um medidor de resistência elétrica (Ohmímetro) também com diversas escalas de medida. As escalas marcadas nos multímetros indicam o máximo que poderá ser medido na posição desejada, seja em medidas de corrente, resistência elétrica ou potencial elétrico.

### AMPERÍMETRO

O amperímetro é um instrumento utilizado para fazer a medida da intensidade no fluxo da corrente elétrica que passa através da seção transversal de um condutor, devendo ser colocado em série com o circuito. A unidade da medida realizada é o Ampère (A), podendo utilizar escalas em mili ou microampère (*mA* ou  $\mu A$ ).

O Amperímetro é o circuito mais básico de um multímetro, utilizando apenas o galvanômetro e resistências em paralelo, que podem ser selecionada por uma chave de mudança de escala.

**ATENÇÃO:** Apesar de ser o circuito mais fundamental de um multímetro, o amperímetro é o circuito que requer mais atenção ao ligá-lo no circuito em que se deseja medir a corrente. Se efetuar um erro na seleção da escala poderá danificar o equipamento irreversivelmente. A melhor maneira de se evitar este tipo de acidente como equipamento é compreender o seu princípio de funcionamento.

O principal componente de um amperímetro é o galvanômetro que é responsável pela medida de corrente elétrica que passa pelo fio. O galvanômetro é composto de uma bobina enrolada em um eixo móvel entre dois ímãs permanentes, como ilustrado na *Figura 16.2*. Ao passar uma corrente nesta bobina, a corrente elétrica irá gerar um campo magnético que irá se alinhar com o campo magnético dos ímãs, resultando em um torque que defletirá o ponteiro preso a bobina (Os conceitos do torque sobre uma espira serão tratados com detalhes no experimento de momento magnético de uma espira). A deflexão gerada tem dependência direta com a corrente que passa pelo fio da bobina assim, a deflexão máxima será equivalente a uma corrente máxima no galvanômetro ( $I_{GMax}$ ). Caso ocorra uma passagem de corrente superior a  $I_{GMax}$ , o ponteiro irá defletir até o final e colidirá com a parede interna da escala do instrumento. Se a corrente for muito superior ao seu limite de corrente, este equipamento correrá o risco de fundir o fio da bobina interna, o qual será danificando permanentemente. Como a bobina é um pedaço de fio enrolado, o galvanômetro terá uma impedância baixa, ou seja, terá uma baixa resistência elétrica ( $R_G$ ).

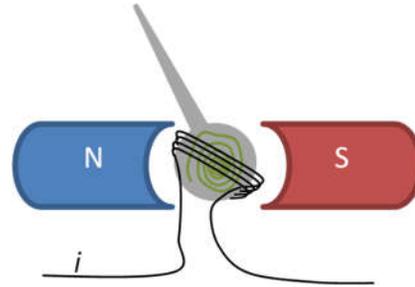


Figura 16.2: esquema interno de um galvanômetro.

O Galvanômetro tem o limite de corrente muito baixo e medições diretas de correntes maiores que  $I_{GMax}$  tornam-se impossíveis sem adição de um circuito em paralelo. Desta forma são introduzidas resistências elétricas conectadas em paralelo com o galvanômetro de maneira que apenas uma fração da corrente elétrica passará pelo galvanômetro e o restante irá fluir pela resistência elétrica selecionada ( $R_S$ ) como esquematizado na *Figura 16.3*. Assim, o amperímetro é o arranjo de resistências elétricas ligadas em paralelo a um galvanômetro e a resistência elétrica equivalente total do equipamento será muito baixa, se comportando como conectar um fio ao circuito. Por este motivo **não pode-se medir diretamente uma fontes de tensão em modo de Amperímetro**. Isto será como curto-circuitar a fonte, podendo danificar o Amperímetro caso a fonte forneça uma corrente maior que o limite da escala selecionada, ou ainda queimar a fonte se o limite dela for inferior à escala selecionada no amperímetro. Outra observação importante é **nunca desligar o amperímetro com a fonte ligada**, pode-se observar que para efetuar este procedimento, a chave seletora do amperímetro irá passar pelas escalas de menor corrente, o que irá ocasionar a queima do aparelho.

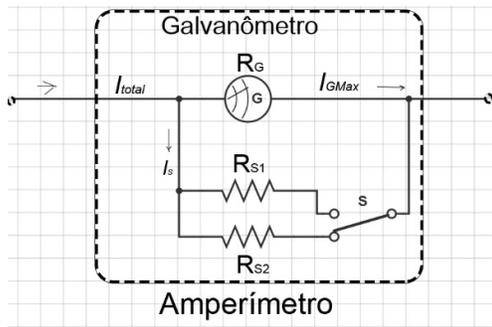


Figura 16.3: Esquema de um circuito elétrico de um amperímetro analógico com duas escalas.

Desta forma devem-se seguir alguns procedimentos para realizar medidas com multímetro no modo de amperímetro.

1. Analisar previamente a ordem de grandeza da corrente que passará pelo equipamento.
2. Desligar as fontes de alimentação do circuito.
3. **Ligar o amperímetro em série** com o circuito a ser analisado, já na escala máxima, mesmo que a corrente prevista seja baixa.
4. Ligar a fonte de alimentação já com o potencial ajustado.
5. Realizar a leitura do amperímetro e saber se poderá reduzir para uma menor escala para que tenha maior precisão.

Lembrando que a lei de Ohm é dada por:

$$V = RI \quad 16.1$$

Onde  $V$  é a d.d.p. do circuito,  $R$  é a resistência elétrica e  $I$  é a corrente. Ao aplicar a lei das malhas (lei de Kirchhoff) no circuito do amperímetro, obtém-se:

$$R_S \cdot I_S - R_G \cdot I_{GMax} = 0 \quad 16.2$$

Assim,

$$I_S = \frac{R_G \cdot I_{GMax}}{R_S} \quad 16.3$$

Também pode-se observar que a corrente total que flui no circuito é o somatório das

correntes que passa em  $R_S$  e  $R_{GMax}$ , como descrito na equação 16.4:

$$I_T = I_S + I_{GMax} \quad 16.4$$

Substituindo a equação 16.3 na equação 16.4 obtém-se a corrente máxima que o circuito poderá realizar de leitura com a resistência elétrica  $R_S$  selecionada.

$$I_T = \frac{R_G \cdot I_{GMax}}{R_S} + I_{GMax} = I_{GMax} \left( 1 + \frac{R_G}{R_S} \right) \quad 16.5$$

Assim, como exemplo, um amperímetro com galvanômetro na escala máxima de  $3,5 \text{ mA}$ ,  $R_G=11\Omega$  e  $R_{S1}=11\Omega$  poderá medir correntes de até  $7 \text{ mA}$ . Ao trocar a resistência elétrica  $R_{S1}$  pela  $R_{S2}=22\Omega$ , o amperímetro conseguirá medir uma corrente máxima de  $5,25 \text{ mA}$ .

## VOLTÍMETRO

O voltímetro é um aparelho que realiza medições de diferença de potencial elétrico em um circuito, com a unidade em volt ( $V$ ) e suas frações mili ou microvolts ( $mV$  ou  $\mu V$ ).

A Figura 16.4 mostra o esquema de um voltímetro com duas escalas, que pode ser selecionada  $R_{S1}$  ou  $R_{S2}$  com a chave  $S$ .

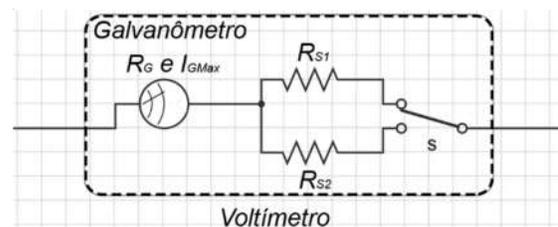


Figura 16.4: Esquema do circuito de um Voltímetro analógico.

O circuito de um voltímetro é menos problemático que o Amperímetro, pois se inicia as medidas com a escala apropriada para a fonte que está sendo utilizada no circuito. Somente após chegar o seu valor, utiliza-se escalas menores caso seja necessário.

A base de funcionamento do circuito é fazer a leitura do galvanômetro como potencial, e

limitar a corrente máxima do galvanômetro para um determinado potencial da escala a ser criada, através da resistência elétrica colocada em série ao galvanômetro. Assim pode-se calcular facilmente a resistência elétrica a ser acrescentada em série utilizando a lei de Ohm.

$$V = (R_G + R_S) \cdot I \quad 16.6$$

Portanto a corrente que irá passar pelo galvanômetro será:

$$I = \frac{V}{(R_G + R_S)} \quad 16.7$$

A corrente  $I$  não pode ultrapassar o valor de  $I_{GMax}$ , desta maneira, deve-se utilizar a resistência elétrica  $R_S$  de forma que a leitura seja facilitada no Galvanômetro, correspondendo a tensão aplicada.

Um exemplo simples é construir um voltímetro com o Galvanômetro de  $R_G = 11 \Omega$  e escala máxima de  $3,5 \text{ mA}$ . Ao adicionar uma resistência elétrica  $R_{S1} = 1 \text{ k}\Omega$ , poderá aplicar até  $3,5 \text{ V}$  de tensão. Onde se lê Ampère no Galvanômetro, será lido como tensão máxima, assim ao selecionar  $R_{S2} = 10 \text{ k}\Omega$ , poderá medir tensões de até  $35 \text{ V}$ .

### OHMÍMETRO

Um ohmímetro é um instrumento que mede a resistência elétrica, ou seja, a oposição à passagem da corrente elétrica por um percurso. A possibilidade de medir a passagem da corrente elétrica em um percurso torna o ohmímetro fundamental em laboratórios, que diretamente são usados para checar contatos elétricos de amostras e cabos de equipamentos.

A medição efetuada por um ohmímetro baseia-se na aplicação direta da Lei de Ohm no circuito, utilizando uma fonte de alimentação (bateria interna), o galvanômetro e a resistência elétrica  $R_S$ , todos conectados em série (Figura 16.5). Ao fechar o curto circuito das saídas, a corrente no galvanômetro deverá ser máxima. Ao incluir uma resistência elétrica desconhecida na saída (em

série no circuito) limitará a corrente no Galvanômetro, possibilitando calcular a resistência elétrica desconhecida.

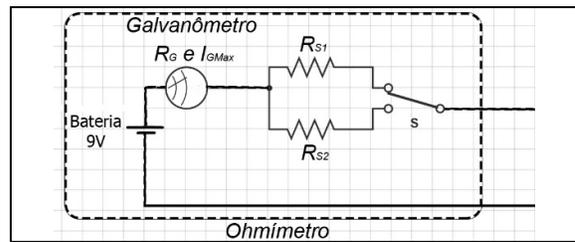


Figura 16.5: Esquema do circuito de um Ohmímetro analógico.

De acordo com a Lei de Ohm, tem-se:

$$V_B = (R_x + (R_G + R_S)) \cdot I \quad 16.8$$

onde,  $V_B$  é a diferença de potencial da bateria (d.d.p.),  $R_x$  é a resistência elétrica a ser determinada.

Como  $V_B$  pode ser escrito em função de  $I_{GMax}$  ao fechar o curto circuito do ohmímetro, tem-se:

$$V_B = (R_G + R_S) \cdot I_{GMax} \quad 16.9$$

Substituindo a equação 16.8 na 16.9, obtém:

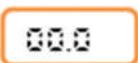
$$R_x = (R_G + R_S) \cdot \left( \frac{I_{GMax}}{I} - 1 \right) \quad 16.10$$

Com o tipo de resultado obtido nas equações é fácil de perceber que para medir uma resistência elétrica, inicia-se sempre na menor escala, ao contrário do voltímetro e amperímetro que exige começar com maior escala e estimar a tensão máxima ou a corrente máxima que o circuito irá fornecer.

### MULTÍMETRO DIGITAL

Internamente no multímetro digital há um microcontrolador responsável pela conversão da leitura realizada pelo instrumento a um valor já transformado em potencial, corrente ou resistência elétrica para ser visualizado no cristal líquido. Assim, avisos importantes são transmitidos pelo visor no caso de efetuar medidas erradas. Os sinais mais comuns podem ser descritos na tabela 16.1.

Tabela 16.1: Sinal mostrado no visor para cada tipo de erros cometidos durante a medida.

	Sinal no visor	Erro cometido
<b>Voltímetro (DC)</b> Escalas: 1000V; 200V; 20V; 2000 mV; 200mV; 20mV		CUIDADO: esta escala foi errada e o potencial a ser medido está superior à escala utilizada. Poderá queimar o equipamento. Procedimento: Desligue rapidamente o circuito ou retire o multímetro do circuito. Coloque na escala apropriada, que seja superior a da fonte para iniciar a medida.
		O valor medido poderá ser zero, ou escala selecionada é muito grande ou o circuito está desconectado (fio cortado ou mau contato).
<b>Amperímetro (DC)</b> Escalas: 10A (conectar o fio na posição de medidas de 10A); Fio na posição comum: 200mA; 20mA; 2 mA; 200µA; 20µA.		CUIDADO: esta escala foi errada e a corrente ultrapassou o $I_{GMax}$ . Poderá queimar o equipamento. Procedimento: Desligue rapidamente o circuito ou retire o multímetro do circuito. Estime a corrente que passará no circuito e coloque em uma escala superior para iniciar a medida.
		O valor medido poderá ser zero ou o fusível do multímetro está queimado ou a escala selecionada é muito grande ou o circuito está desconectado (fio cortado ou mau contato). Caso o circuito não ligue ao introduzir o amperímetro em série, isto significa que o multímetro está com o fusível queimado.
<b>Ohmímetro</b> Escalas: 200, 20k, 200k, 2000, 20k, 200k, 20mV		A escala é muito pequena ou o circuito está aberto.
		A resistência elétrica é muito pequena, deve diminuir a escala. Inicie a medida na menor escala.

Os cuidados para efetuar as medidas com o multímetro digital serão os mesmos com o multímetro analógico e os procedimentos para realizar as medidas são:

Amperímetro:

1. Será ligado em série ao circuito com a fonte de alimentação ainda desligado.
2. A corrente deverá ser estimada para saber se escala máxima do multímetro ainda irá suportar.
3. O amperímetro deverá ser ligado com a escala no máximo.
4. Será ligada a fonte de alimentação do circuito e para efetuar as medidas com maior precisão será reduzida a escala caso seja necessária.

Voltímetro:

1. Será ligado em uma escala superior a da fonte de alimentação antes de conectar ao circuito.
2. Será ligado em paralelo ao circuito em que se deseja medir a diferença de potencial.
3. Para efetuar as medidas com maior precisão deverá reduzir a escala caso seja necessário.

Ohmímetro:

1. O Ohmímetro deverá ser ligado na menor escala.
2. O componente a ser medido deverá estar desconectado da fonte.
3. Caso não inicie nenhuma leitura, deverá elevar a escala até quanto seja necessário.



### 3. USO DO OSCILOSCÓPIO

#### INTRODUÇÃO

O osciloscópio é um instrumento que permite a verificação da forma de onda de sinais elétricos assim como medir a tensão pico a pico ( $V_{pp}$ ), a frequência e fase destes sinais. A principal característica de um osciloscópio que se leva em consideração na hora de comprar é: **a máxima frequência que ele pode medir com precisão**. Desta forma temos osciloscópios de 10, 20, 40, 60, 100 ou mais MHz.

Um osciloscópio apresenta grandes vantagens em comparação a um simples multímetro, porém seu custo é muito superior e em determinadas aplicações não se justifica sua aquisição. O preço de um equipamento deste é da ordem de US\$ 800,00 sendo encontrado no mercado osciloscópios com preços muito superiores a este.

A escolha do equipamento depende do tipo de aplicação a que se destina, por isso é aconselhável estudar todas as possibilidades futuras antes da aquisição de um osciloscópio.

#### CLASSIFICAÇÃO DOS OSCILOSCÓPIOS

**POR TIPO** - *Analógicos*, cujas funções são controladas por chaves e potenciômetros e os *digitais*, controlados por teclas. Alguns têm saída para ligação no PC. Assim podemos guardar no computador as formas de ondas obtidas em determinados circuitos e também imprimi-las;

**POR TRAÇO** - *Traço simples*, com um único canal ou *duplo traço* com dois canais (CH1 e CH2) que permitem a verificação de dois sinais ao mesmo tempo e até sobrepor um ao outro. Atualmente é o tipo de osciloscópio que mais se encontra no mercado;

**POR VISOR** - *TRC* (tubo de raios catódicos) usa um tubo de imagem redondo ou quadrado com fósforo verde que têm dentro dois pares de placas de deflexão (a deflexão do tubo de TV é magnética) e o *LCD* (display de cristal líquido),

que usa uma tela de cristal líquido. Estes últimos modelos são bem mais caros que os de TRC.

#### CONTROLES DE UM OSCILOSCÓPIO

Os osciloscópios têm vários ajustes e funções, porém a quantidade varia de um modelo para o outro. Mas os ajustes básicos são os mesmos e para esta explicação usaremos um osciloscópio disponível no laboratório ilustrado na Figura 3.1.



Figura 3.1: Osciloscópio digital de duplo canal para medida de sinais elétricos alternados de até 70 MHz.

O botão de liga desliga do osciloscópio é ilustrado na Figura 3.1a. Na Figura 3.1b é possível observar a tela do equipamento bem como seu painel de controle, com destaque para os controles Vertical e Horizontal que servem para ajustes e leituras de parâmetros como amplitude e frequência de um sinal elétrico. A tecla Run/Stop serve para ativar a leitura em tempo real, neste caso a tecla fica acesa em verde, ou para congelar a leitura, situação em que a tecla fica acesa em vermelho. O botão Menu On/Off ira ativar ou desativar os menus laterais da tela de leitura. O potenciômetro Multipurpose (multifunção) serve para selecionar opções dos menus de configurações, girando esse botão é possível escolher as opções disponíveis em cada menu de configuração e pressionando no meio do botão é confirmada a seleção.

## SELETOR DO CANAL

Esta chave permite selecionar qual o canal será visualizado na tela. Na posição A ou CH1 observaremos o sinal aplicado ao canal 1 do osciloscópio. Na posição B ou CH2 observaremos o sinal aplicado ao canal 2 do osciloscópio. Na posição DUAL podemos visualizar os sinais aplicados nos dois canais ao mesmo tempo. Na posição ADD pode-se obter a soma dos dois sinais aplicados no osciloscópio. Veja abaixo:



Figura 3.2: Controles verticais para os canais de entrada 1 (em amarelo) e 2 (em azul). Entradas pontas de prova são conectores do tipo BNC de 50Ω.

## SELETOR DE ENTRADA AC/DC

Seleciona o tipo de tensão a ser aplicada à entrada do osciloscópio. Na posição GND a entrada do canal fica desligada e aparece apenas um traço no meio da tela. Em AC podemos visualizar uma tensão alternada aplicada e em DC podemos visualizar uma tensão contínua ou um sinal que varie, porém mantenha um eixo de CC como referência. Veja abaixo:

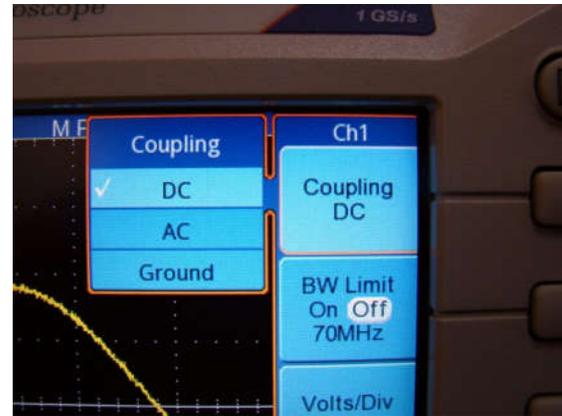


Figura 3.3: Detalhes do menu de configurações do canal de entrada, onde pode-se escolher o tipo de acoplamento de entrada do canal.

## ESCALAS DE TENSÃO

Para cada canal do osciloscópio há uma chave seletora de tensão. A tensão é lida no eixo vertical da tela (Y). Veja o exemplo de uma chave de tensão abaixo:

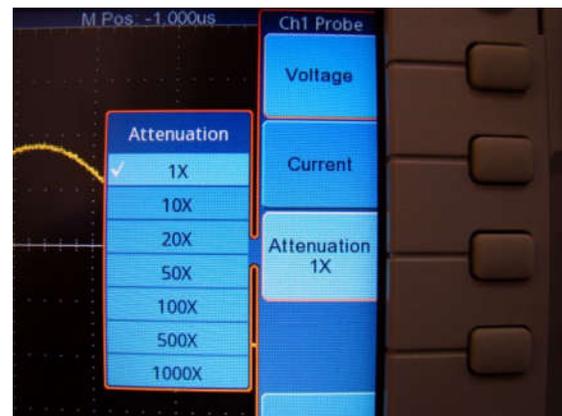


Figura 3.4: Detalhes do menu de configurações do canal de entrada, onde pode-se escolher a atenuação de sinal entrada do canal, observar que essa função é somente para se poder fazer a correta leitura de amplitude do sinal a atenuação efetiva se encontra na ponta de prova.



Figura 3.5: Informações das respectivas escalas utilizadas para realizar a leitura do sinal de entrada são indicadas

pelos receptivos números dos canais seguidos pelo valor da escala. Os valores de escalas estão indicados pelas duas setas.

Como vemos na Figura 3.5, a escolha da escala de tensão funciona de forma semelhante à do multímetro. Cada posição da chave indica o valor de cada divisão para cima ou para baixo do eixo central. Observe que cada divisão possui 5 subdivisões. O valor máximo de tensão que o osciloscópio pode medir é indicado da seguinte forma: a maior escala multiplicada por 8 (número de divisões total) x10 (fator de redução máximo da ponta de prova).

**Exemplo:** Se a maior escala do osciloscópio é de 5 V fica  $5 \times 8 \times 10 = 400 \text{ V}$ .

**ATENÇÃO:** Se não se sabe o valor da tensão do sinal que vai ser medida, comece com a maior escala e use o fator x10 da ponta de prova. Após vá abaixando a escala até se conseguir uma leitura precisa do valor. Se a tensão for muito maior que a escala pode danificar o osciloscópio.

### ESCALAS DE FREQUÊNCIA

No osciloscópio, a frequência é lida no eixo horizontal (x). Porém não é a frequência que vem indicada e sim o período do sinal. **Frequência** é o número de vezes que um sinal muda de sentido (ciclo completo) por segundo. **Período** é o tempo necessário para o sinal completar um ciclo. Estas grandezas são inversamente proporcionais:  $F = 1/T$ . Por exemplo a frequência da rede elétrica é 60 Hz e o seu período é:  $T = 1/60 = 0,016 \text{ s}$  ou 16,6 ms. Veja a seguir o botão que seleciona o tempo para cada divisão no eixo horizontal:

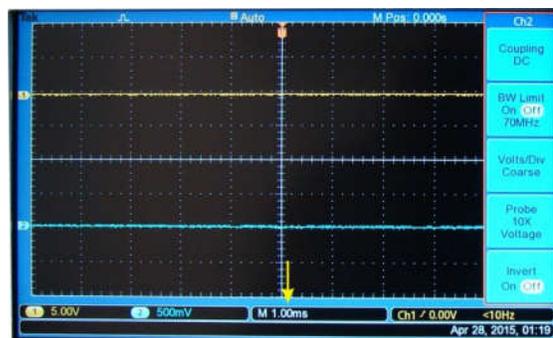


Figura 3.6: O valor da escala de tempo é indicado na tela do osciloscópio como destacado pela seta indicativa.

Observe como a chave é dividida em tempos de milissegundos (ms) para frequências mais baixas e microssegundos ( $\mu\text{s}$ ) para frequências mais altas. Para facilitar, fazemos o seguinte: Quando a chave estiver em ms, dividimos o número 1.000 pela indicação para sabermos a frequência e quando a chave estiver em  $\mu\text{s}$ , dividimos 1.000.000 pela indicação para sabermos a frequência.

A escolha da escala de tempos do osciloscópio pode começar nos ms ou  $\mu\text{s}$  e ir girando a chave para um lado ou outro até obtermos uma boa visualização do sinal (dois ou três ciclos do mesmo). A seguir contamos quantas divisões (e subdivisões) ocupa um ciclo completo do sinal e multiplicamos pela escala que estiver à chave do tempo, obtendo um tempo T. Se a chave estiver em ms, fazemos  $1.000/T$  e se a chave estiver em  $\mu\text{s}$ , fazemos  $1.000.000/T$  e teremos a frequência. Veja a seguir um exemplo:



Figura 3.7: Detalhes para leitura do período e determinação da frequência do sinal alternado. As setas indicam o intervalo que deve ser considerado para leitura de um ciclo completo do sinal de entrada.

## POSICIONAMENTO DO SINAL NA TELA

O osciloscópio dispõe de dois controles para movimentar o sinal indicado na tela. Um deles movimenta para cima e para baixo, sendo útil para posicionar o sinal numa divisão inteira de leitura da tensão. O outro movimenta para os lados, sendo útil para posicionar o ciclo do sinal no início de uma divisão horizontal para a leitura do período e por consequência, da frequência do mesmo. Veja abaixo:



Figura 3.8: Detalhes do controle horizontal e do sistema de gatilho de sinal do osciloscópio.

## TRIGGER (GATILHAMENTO)

O trigger ou gatilhamento é um sinal usado para sincronizar o osciloscópio de modo a mostrar a forma de onda estável na tela. O sinal de trigger pode ser aplicado por um cabo externo ou pode ser usado o próprio sinal a ser medido para sincronizar o osciloscópio. Normalmente há duas chaves no painel do osciloscópio que escolhe o tipo e a fonte de trigger para sincronizar a imagem. Veja abaixo:



Figura 3.9: Escolha do tipo e fonte do Trigger



Figura 3.10: Sub menu do trigger, ilustrado a opção Slope.

**Auto** - O osciloscópio mostra o traço mesmo quando não há sinal aplicado no canal selecionado. Produz imagens estáveis quando o sinal aplicado varia entre 50 Hz e 20 MHz. Este modo é um dos mais usados;

**Normal** - Não aparece o traço na tela. Apenas acende a tela quando for aplicado o sinal a ser verificado. Este modo também oferece uma boa estabilidade para o sinal mostrado na tela;

**H TV** - Usa o sincronismo horizontal de TV para gatilhar a forma de onda mostrada na tela;

**V TV** - Usa o sincronismo vertical de TV para gatilhar a onda mostrada na tela;

**A** - Seleciona o próprio sinal aplicado no canal 1 (CH1) para o trigger. Deve ficar na mesma posição da chave que seleciona o canal do osciloscópio a ser usado para visualizar o sinal;

**B** - Seleciona o próprio sinal aplicado no canal 2 (CH2) para o trigger. Deve ficar na mesma posição da chave que seleciona o canal do osciloscópio a ser usado para visualizar o sinal;

**EXT** - Seleciona um sinal externo (extra) para o trigger;

**Potenciômetro LEVEL** - Ajusta o melhor ponto de sincronismo para imagem mostrada na tela. Ao girar todo para um lado a forma de onda começa no meio ciclo positivo e para o outro lado o meio ciclo negativo. Deve ficar na posição na qual a forma de onda mostrada na tela fique parada para uma correta leitura. Na maioria dos

osciloscópios há outro potenciômetro para ajuste fino desta função.

Se o potenciômetro estiver desajustado ou a entrada do sinal trigger selecionada não for adequada ao sinal a ser mostrado, a imagem ficará "rolando" na tela, como visto abaixo:

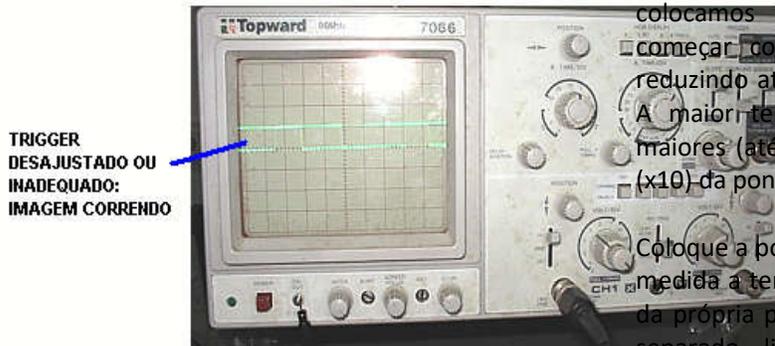


Figura 3.11: Trigger desajustado.

### MEDIDA E LEITURA DE TENSÃO COM O OSCILOSCÓPIO

Conforme já explicado, a leitura de tensão no osciloscópio é feita no eixo vertical (y). O procedimento para a medida de tensão basicamente é o seguinte:

Selecione o canal a ser usado (CH1 ou CH2). A ponteira deve estar ligada na entrada do canal escolhido;

Coloque a chave seletora em DC ou AC dependendo se a tensão a ser medida é contínua ou alternada;

Ligue o osciloscópio e ajuste o brilho e o foco para melhor visualização do traço;

Coloque a chave "time" na posição de ms (se a frequência da tensão for até 1 KHz) ou em  $\mu\text{s}$  (se a frequência for maior que 1 KHz). Esta chave pode ser ajustada depois para melhor visualização;

Coloque a chave seletora de entrada do trigger em CH1 ou CH2 de acordo com o canal selecionado;

Coloque a chave seletora do trigger em Normal (não aparecerá o traço até que o sinal a ser

medido seja aplicado) ou H TV (aparece o traço mesmo quando não há sinal aplicado na ponta de prova);

Selecione a tensão V/cm: Divida a tensão a ser medida por 8 e coloque na escala mais próxima acima até a maior escala que normalmente é 5. Por exemplo: Se for medir 6 V:  $6/8 = 0,75$ ; colocamos na escala de 1 V/cm. Podemos começar com a maior escala (5 V/cm) e ir reduzindo até chegar numa leitura mais precisa. A maior tensão a ser medida é 40 V. Para maiores (até 400 V) usamos o fator de redução ( $\times 10$ ) da ponta de prova;

Coloque a ponta preta no terra do aparelho a ser medida a tensão. Pode ser usado o terra que sai da própria ponta viva do osciloscópio ou um fio separado ligado no terminal de terra do osciloscópio;

Coloque a ponta viva no local onde vai ser medida a tensão. Assim que aparecer a forma de onda na tela, atue nos controles: time, V/cm, posição H e V até obter uma leitura mais precisa possível. Ajuste a posição V até colocar a forma de onda começando numa divisão maior no eixo y para uma leitura mais fácil da tensão. Os procedimentos descritos acima podem variar um pouco de acordo com a marca e modelo do osciloscópio usado.

### MEDIDA E LEITURA DE FREQUÊNCIA COM O OSCILOSCÓPIO

O procedimento para os ajustes são os mesmos explicados na medida de tensão. Porém a leitura da frequência é diferente. O osciloscópio tem uma chave chamada "time" que indica os períodos dos sinais. Tempo necessário para ele completar um ciclo. Posicionamos a chave time de forma a aparecer um ou dois ciclos apenas do sinal. Contamos quantas divisões no eixo x um ciclo do sinal ocupa e multiplicamos pela escala que estiver a chave time obtendo um período T. Se a chave estiver em ms, fazemos  $1.000/T$  e se estiver em  $\mu\text{s}$  fazemos  $1.000.000/T$  para termos a frequência em Hz.

**CUIDADO: O osciloscópio é um equipamento extremamente sensível por isso, o cuidado com equipamento é essencial para não provocar uma descalibragem do aparelho ou mesmo danificá-lo. Evite contar as divisões com canetas, lapiseiras e ou chaves de fendas, pois estes objetos podem riscar a tela do osciloscópio causando prejuízos ao mesmo. Sempre verifique a tensão máxima do equipamento antes de ligá-lo a tomada e na hora de guardar não enrole as pontas de provas, pois com o tempo elas podem se danificar.**

Para aprender a realizar a leitura de um sinal elétrico utilizando o osciloscópio, ajuste o gerador de funções para um valor aleatório de amplitude e frequência e realize a medida com o osciloscópio. Repita esse procedimento para mais cinco valores distintos de frequência e amplitude do sinal elétrico. Anote para cada ocasião os valores das escalas vertical e horizontal utilizadas para leitura.

## 4. CARGA E MATÉRIA

### INTRODUÇÃO

#### A MATÉRIA

A carga elétrica é uma propriedade intrínseca da matéria. O questionamento a respeito da constituição da matéria teve início na Grécia Antiga com o debate de sua divisão até chegar à uma partícula não divisível, chamada de átomo.

Os modelos atômicos evoluíram durante os últimos séculos, sendo os principais modelos o: modelo de Thompson (torta com uva passas); o modelo de Bohr e o modelo de Rutherford. É muito comum que o modelo atômico atual seja ensinado que os átomos são constituídos pelas três partículas fundamentais (prótons, neutros e elétrons), sendo que os elétrons possuem a carga fundamental negativa ( $-1,602 \times 10^{-19}$  C) de massa muito pequena e que se movem em nuvens eletrônicas ao redor do núcleo atômico e os prótons ( $+1,602 \times 10^{-19}$  C) e nêutrons. Também se define que o número de prótons no átomo se chama número atômico e que cada elemento se caracteriza por possuir um número de elétrons que se distribuem em diferentes níveis de energia do átomo correspondente denominados pelos símbolos K, L, M, N, O, P e Q, sendo que os elétrons da camada mais externa são responsáveis pelo comportamento químico do elemento (denominados elétrons da camada de valência). Ainda neste modelo atômico, sabe-se que os átomos são eletricamente neutros, por possuírem números iguais de elétrons e prótons. Também é conhecido à possibilidade deste átomo perder elétrons, carregando-se positivamente (íons positivos ou cátions) ou receber elétrons tornando-os negativos (íon negativo ou ânion). E por fim, conhecer os tipos de interações entre as partículas constituintes deste átomo, sendo classificada por três diferentes processos: processos eletromagnéticos que são interações entre partículas com carga elétrica presente nas estruturas atômicas; processos fracos que são

interações entre quaisquer partículas fundamentais, incluindo as sem cargas e processos fortes que são as interações apenas entre quarks e subpartículas.

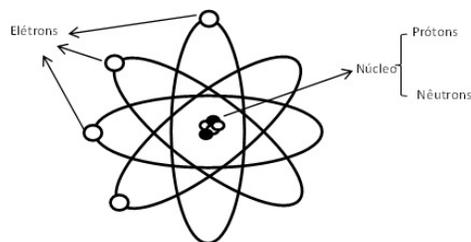


Figura 4.1: Representação tradicional de um átomo

Sabemos atualmente da existência de subpartículas que constituem um átomo, sendo mais de cem partículas conhecidas e são classificadas em relação a sua massa, do ponto de vista estatístico e ou pelas suas interações. As subpartículas classificadas pela sua massa são chamadas de bárions para partículas pesadas e mésons/léptons para partículas leves. Todos os bárions com exceção o próton são instáveis e tem spin semi-inteiros. Todos os mésons são instáveis e de spin inteiros. As subpartículas classificadas do ponto do comportamento coletivo em um agregado de partículas (via classificação estatística) são classificadas como bóson e férmions. Por fim as classificações quanto ao tipo de interação, partículas que sofrem interações fortes são classificadas como hádrons e as que têm interações fracas são classificadas como léptons.

#### TIPOS DE ELETRIZAÇÃO

O presente experimento será tratado apenas a conservação da carga pela retirada ou adição de cargas nas camadas mais externas dos átomos (elétrons de valência), o qual será observado somente os efeitos físicos macroscópicos da matéria.

A matéria no seu estado de neutralidade possui o mesmo número de elétrons e prótons, mas pode ser modificado com a chamada eletrização. Eletrizar um corpo significa torná-lo portador de carga elétrica líquida, seja positiva ou negativa,

sendo o corpo um condutor de eletricidade ou isolante.

Os condutores são os materiais que as cargas elétricas podem se movimentar livremente pelo material, enquanto nos isolantes as cargas quase não têm mobilidade, e de certa forma, a maneira de eletrizar cada um destes corpos, dependerá da sua condutividade e de sua afinidade de receber ou perder um elétron. Assim, há três tipos de eletrização existentes: eletrização por atrito, eletrização por contato e eletrização por indução.

**ELETRIZAÇÃO POR ATRITO (EFEITO TRIBO ELÉTRICO):**

Quando dois corpos são atritados entre si, os átomos mais externos de cada corpo entram em contato intenso e podem trocar carga elétrica, mesmo que eles sejam isolantes. Esse fenômeno é conhecido como efeito tribo elétrico. Foi descoberto através de experimentos que o vidro ao ser atritado com lã sempre adquiria carga positiva, enquanto a lã sempre adquiria carga negativa. Dessa forma, foi possível construir a série tribo elétrica de alguns materiais mostrada na tabela 4.1. Quando dois corpos dessa lista são atritados, o que aparece primeiro ganhará carga positiva, enquanto o último ganhará carga negativa.

Tabela 4.1: Tribo elétrica, mais positiva na parte superior.

Pele humana
Couro
Vidro
Quartzo
Cabelo humano
Nylon
Seda
Alumínio
Papel
Madeira
Âmbar
Metais (alumínio, cobre, prata, ouro)
Plásticos
Teflon

O primeiro tipo de eletrização é obtido quando um material é atritado com outro e os elétrons de um material se transferem para outro com este atrito, isto depende de qual material tem maior facilidade em doar os elétrons (Figura 4.2).

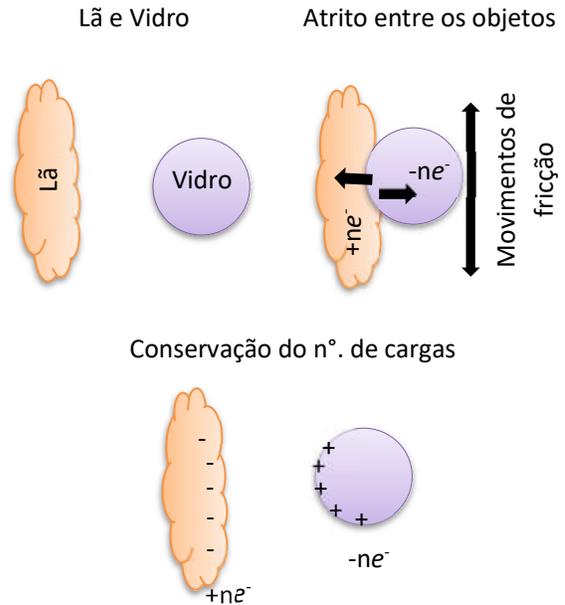


Figura 4. 2: Eletrização por Atrito

O contato é o segundo tipo de eletrização que ocorre com um corpo carregado toca outro neutro ou com outra distribuição de carga que faz com que os elétrons sejam transferidos de um corpo para outro, dependendo de qual corpo possui maior número de elétrons para doar. Em esferas metálicas idêntica, esta divisão será de tal forma a obter cargas iguais nas duas esferas, como pode-se observar na Figura 4.3.

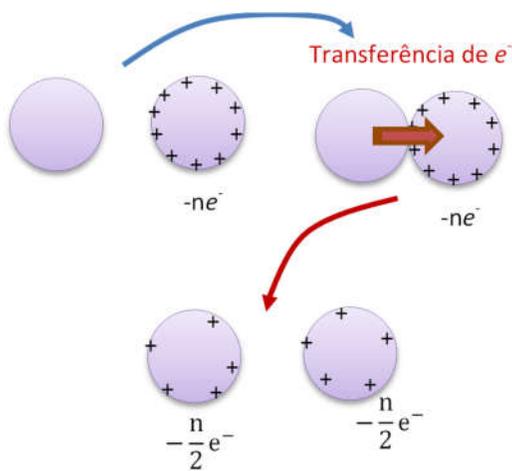


Figura 4. 3: Eletrização por contato

Por último, a eletrização por indução existe quando se aproxima um corpo carregado de outro que tenha facilidade em movimentar os elétrons, ou seja, um material condutor. E esta movimentação permita que isole este corpo com adição ou subtração de elétrons, modificando assim o estado inicial.

A Figura 4.4 representa um processo de eletrização por indução. No caso ao aproximar duas esféricas metálicas idênticas, uma com distribuição de carga e a outra neutra, as distribuições de cargas serão modificadas de tal forma que o campo interno do metal seja nulo. Ao conectar a um fio ligado ao terra, haverá uma troca de carga entre a terra e está esfera, neste caso da Figura 4.4, irá atrair cargas negativas da terra para proximidades das cargas positivas. Ao desconectar o fio terra, esta esfera antes neutra, estará com carga oposta à da esfera que a induziu.

No material condutor os elétrons têm a capacidade de se moverem livremente pelo mesmo, no entanto nos materiais isolantes os elétrons não têm tal mobilidade, por isto quando se eletriza um material isolante, tal eletrização permanece no local onde foi inserida. Servindo de exemplo de isolantes temos materiais como vidro, a borracha e a Lucite. Quando estes materiais são carregados em alguma região, a

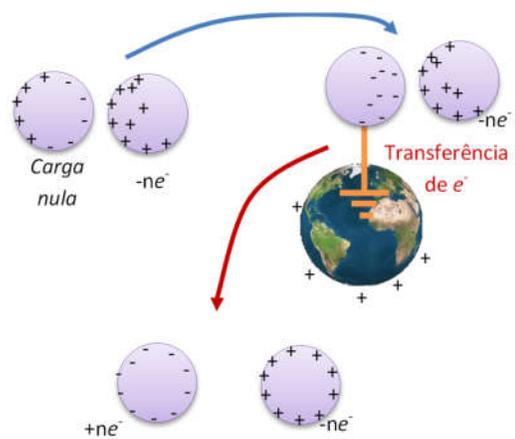


Figura 4. 4: Eletrização por indução

carga distribui-se prontamente sobre toda superfície do material.

### FORÇA ELETROSTÁTICA

O fenômeno mecânico da força eletrostática é observado ao interagir dois ou mais corpos carregados. De forma que existe repulsão quando as cargas são iguais (positivo com positivo ou negativo com negativo) e existe atração quando essa interação acontece em corpos de cargas diferentes (negativo e positivo). De modo mais amplo um corpo carregado produz um campo elétrico que consegue interagir com um segundo corpo carregado, dando origem a uma força de atração ou repulsão. Por volta de 1785, através de observações em uma balança de torção, Charles Augustin de Coulomb conseguiu encontrar o valor dessa força e criando assim a lei de Coulomb. E sua formula é representada a seguir:

$$\vec{F} = \kappa \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \hat{r} \quad 4.1$$

Onde  $\kappa$  é a constante de Coulomb e vale  $8.99 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ ,  $q_1$  e  $q_2$  representam o valor das cargas e a letra  $d$  é a distância entre as cargas estudadas.

Assim, com o efeito de atração e repulsão, podem-se criar equipamentos que detectam a presença de cargas elétricas.

O eletroscópio é um equipamento utilizado para saber se um corpo está ou não carregado eletricamente. Entretanto descobrir se tal material está carregado positivamente (falta de elétrons) ou negativamente (excesso de elétrons) depende de um corpo carregado com uma carga previamente conhecida.

---

---

## ROTEIRO

### OBJETIVOS

- Relembrar os conceitos fundamentais da matéria e a existência de carga elétrica;
- Analisar experimentalmente as possíveis maneiras de eletrizar os corpos metálicos ou isolantes (efeito tribo elétrico);
- Detectar os tipos de cargas elétricas existentes;
- Relembrar conceitos da gaiola de Faraday;
- Aprender a manusear os eletroscópios e o eletrômetro.

### EQUIPAMENTOS

- Suporte;
- Agulha de alta sensibilidade;
- Dois bastões de polipropileno (carrega-se negativamente quando atritado com papel);
- Um bastão de acrílico (carrega-se positivamente quando atritado com papel);
- Grampo de metal;
- Placa de metal;
- Folha de acetato;
- Placa de policarbonato;
- Papel.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 1º Experimento (Balança Elétrica)

**Primeiro procedimento:** Encaixe o grampo no centro do bastão de polipropileno, atrite uma das duas metades com uma folha de papel e prenda-o no eletroscópio como mostrado na

Figura 4.5, sem tocar na parte eletrizada, evitando assim que o bastão fique neutro. O bastão deve ficar perpendicular ao grampo do eletroscópio e horizontal. Desta forma é montada uma “balança elétrica”, com a qual se pode demonstrar a existência das cargas elétricas, pois o extremo carregado irá ser atraído ou repelido por objetos carregados.

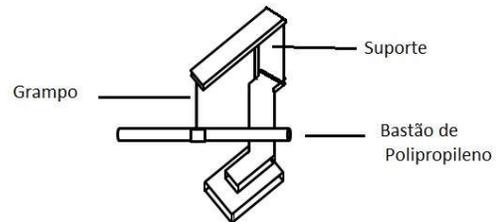


Figura 4.5: Balança formada com bastão e suporte.

Coloque a folha de acetato sobre a placa de policarbonato e atrite-a com papel, faça movimentos com força e em apenas uma direção evitando assim danificar o material e aperfeiçoar o experimento. Separe a folha da placa e aproxime uma por vez, da “balança elétrica”, como mostrado na Figura 4.6, anote o que foi observado.

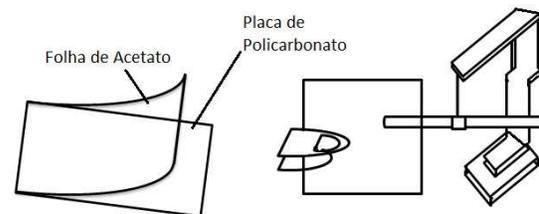


Figura 4.6: Atritando e aproximando da balança.

Atrite agora o outro bastão de polipropileno com papel e o aproxime da “balança elétrica”, como mostrado na Figura 4.7, anote o que foi observado.

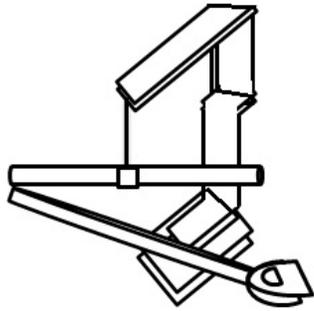


Figura 4.7: Atritar com bastão.

Repita o procedimento anterior, agora para o bastão de acrílico, anote o que foi observado.

Prenda a placa de metal em uma das extremidades do bastão de polipropileno, mas antes o descarregue segurando entre as mãos. Aproxime a placa de metal ao extremo do bastão no eletroscópio que se encontra descarregado, e em seguida no extremo carregado, como mostrado na Figura 4.8, anote o que foi observado.

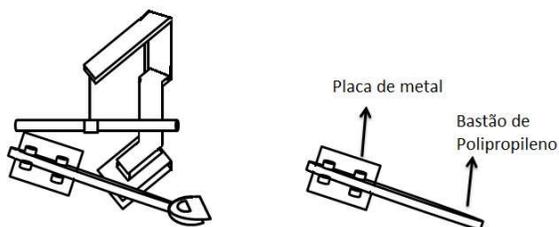


Figura 4.8: Aproximando a placa de metal.

Aproxime seu dedo, primeiro ao extremo descarregado e depois do carregado do bastão de polipropileno, anote o que foi observado.

**Segundo Procedimento:** Retire o grampo e o bastão de polipropileno do eletroscópio. Coloque a agulha no eletroscópio como mostra a Figura 4.9. A agulha passa pelo orifício central e encaixando no eixo. Um dos extremos da agulha é mais longo, por isto mais pesado, esse extremo deve ficar para baixo. A agulha é fabricada com chapa metálica muito fina e por isto deve-se ter

muito cuidado ao manuseá-la para que a mesma não quebre. A agulha deve ficar livre e vertical.

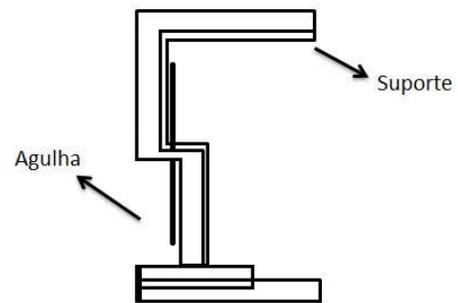


Figura 4.9: Agulha no eletroscópio.

Atrite um bastão de polipropileno com papel e passe o extremo carregado em cima do eletroscópio, como mostrado na Figura 4.10, girando o bastão longitudinalmente, observe a agulha e anote o ocorrido.

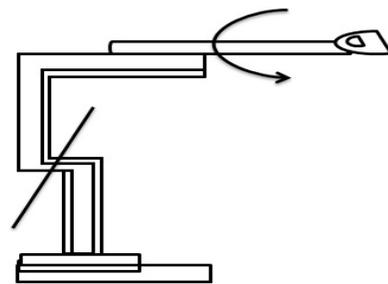


Figura 4.10: Bastão carregado no eletroscópio.

Ponha a mão no eletroscópio observando a agulha outra vez.

Atrite com papel o bastão de acrílico e proceda como no item anterior.

Descarregue o eletroscópio tocando com a mão. Ponha a folha de acetato sobre a placa de policarbonato e atrite-a com papel. Ponha a folha e a placa sem separá-las, entre as palmas das mãos, e aperte fortemente. Coloque a placa e a folha sem separá-las, em cima do eletroscópio, com a folha voltada para cima. Separe a folha da placa e observe a agulha, como mostrado na Figura 4.11. Volte a colocar lentamente a folha e observando a agulha.

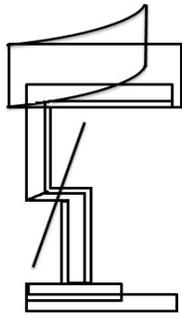


Figura 4.11: Capa e folhas separadas.

## 2º Experimento (Gerador de Van de Graaff)

Os geradores de cinta servem para produzir altas tensões contínuas com uma intensidade de corrente relativamente baixa. O físico norte-americano Van de Graaff o desenvolveu por volta de 1930 e constituíram as primeiras fontes de tensão apropriadas na física atômica para os fins de investigação. Seu princípio de funcionamento se baseia de que quando um condutor eletrizado estabelece contato interno com um segundo condutor oco, entrega a este toda a sua carga, por mais elevado que seja o potencial do mesmo. O gerador existente no laboratório é auto excitante e seu esquema de funcionamento é ilustrado através da Figura 4.12.

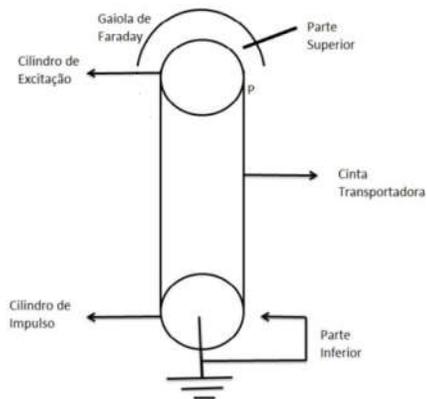


Figura 4.12: Gerador de Van de Graaff.

Uma cinta de borracha gira entre dois cilindros (Excitação e Impulso). O cilindro de impulso é metálico, mas o de excitação é de um material isolante. Os dois pentes conduzem a carga elétrica da cinta. O condutor em forma de gaiola

de Faraday acumula as cargas. O condutor e o cilindro de excitação são isolados cuidadosamente do cilindro de impulso, e o pente superior comunica com o condutor. O cilindro de impulso comunica com o pente inferior e é posto a terra.

O gerador de Van de Graaff produz alta tensão como se segue: girando-se o cilindro de impulso, gira a cinta, que ao desprender-se do cilindro no ponto P gera cargas pelo atrito. Deste modo se carregam com sinais opostos o cilindro e a cinta pela sua parte interna. No caso presente o cilindro de excitação eletriza-se negativamente e por seguinte a cinta, positivamente.

A carga positiva fica aderida superiormente à face interna da cinta que desce e, passando nas proximidades do pente inferior atrai elétrons da Terra, que sobem. Estes se distribuem para o cilindro de impulso, onde neutralizam a carga positiva da cinta e, para o pente inferior. Como o campo elétrico nas regiões de ponta é intenso o ar próximo se torna condutor facilitando o salto de elétrons do pente para a face externa à cinta que, portanto sobe carregada negativamente. Esta carga ao passar nas vizinhanças do pente superior induz aí o aparecimento de carga positivas que torna o ar circundante ionizado e permitindo, pois que elétrons saltem da cinta para o condutor. Desta forma se produz na gaiola de Faraday um excesso de cargas negativas que vão acumulando-se em sua superfície externa. Este processo se repete ao seguir a cinta em marcha, o excesso de cargas negativas é cada vez maior e o potencial do condutor vai aumentando. Entretanto a tensão é limitada pelo poder isolante do material e a rigidez dielétrica do ar.

Tal equipamento é extremamente sensível à umidade do ar e a limpeza.

Ligue o gerador e deixe-o funcionando por um tempo.

Aproxime uma esfera metálica da gaiola de Faraday e observe o que acontece.

Aproxime o eletroscópio do gerador e observe o que ocorre com as folhas.

### **ANÁLISE EXPERIMENTAL**

Para cada experimento anterior, analise e comente de forma clara o que pôde ser observado. Utilize a teoria para explicar os fenômenos ocorridos.



## 5. POTENCIAL ELÉTRICO E CAMPO ELÉTRICO

### INTRODUÇÃO

Diz-se que um é corpo carregado eletricamente quando ocorre um desbalanceamento de cargas positiva com a negativa. Assim, o corpo carregado eletricamente poderá atrair ou repelir outro corpo também eletricamente carregado. A atração ocorre quando os dois corpos em questão possuem cargas de diferentes sinais e repulsão, esta ocorre quando ambos os corpos possuem cargas de mesmo sinal. Esquemáticamente temos a Figura 5.1 que mostra exemplos de força atrativa e repulsiva (Halliday e Resnick, 2013).

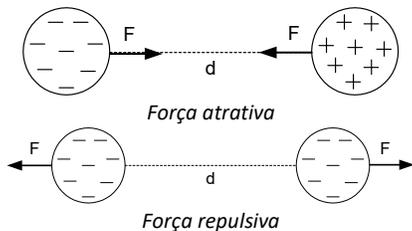


Figura 5.1: Força de atração e repulsão entre corpos com cargas de sinais opostos e cargas de mesmo sinal respectivamente.

Pode-se dizer que o espaço em torno de um corpo carregado fica preenchido por algo invisível, algo que corresponde à ação de natureza elétrica sobre os corpos que também estejam carregados. Podemos explicar este algo pela presença de uma entidade chamada “Campo elétrico (E)”, não podemos vê-lo, mas podemos medi-lo. Para representá-lo usamos linhas imaginárias, denominadas linhas de campo. Convencionou-se que as linhas serão orientadas no sentido de saírem dos corpos carregados positivamente e chegarem nos corpos carregados negativamente, como mostra a Figura 5.2. As linhas de campo nunca se cruzam e são mais concentradas quando estão perto da fonte de carga, ou seja, quanto mais afastado da carga, existe uma menor concentração de linhas

de campo e, conseqüentemente, o campo elétrico está se tornando enfraquecido.

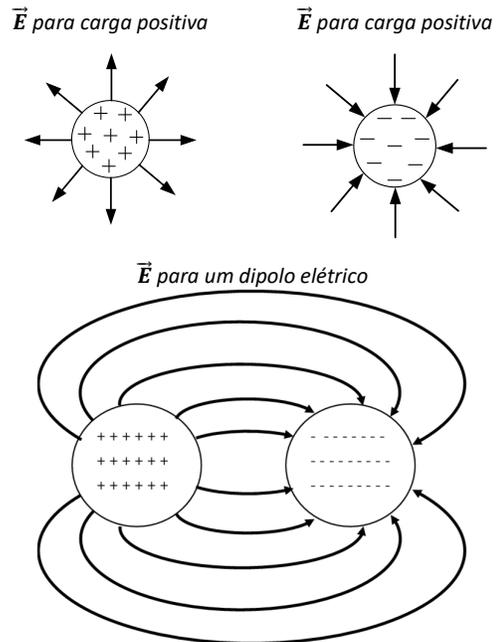


Figura 5.2: Linhas de campo de uma carga positiva, uma carga negativa e um dipolo, respectivamente.

Uma das possíveis maneiras de obtermos o campo elétrico experimentalmente é através das superfícies equipotenciais, tais superfícies, são lugares geométricos onde os pontos possuem o mesmo potencial elétrico. Além disso, o campo elétrico exerce uma força conservativa e constante sobre a carga  $q(+)$ , dada por  $\vec{F} = q\vec{E}$ . A energia potencial elétrica é uma grandeza escalar e pode ser definida como sendo o trabalho necessário para levar uma carga de prova ( $q_0$ ) de uma superfície equipotencial para outra, ou seja:

$$\Delta U = U_{final} - U_{inicial} = -W_{elétrico}(i \rightarrow f) = q\vec{E}\vec{r}_f - q\vec{E}\vec{r}_i \quad 5.1$$

Por exemplo, seja um campo elétrico uniforme, conforme ilustrado na Figura 5.3, pode-se determinar a diferença de energia potencial entre dois pontos (inicial e final), com a carga de prova está indo de A para B.

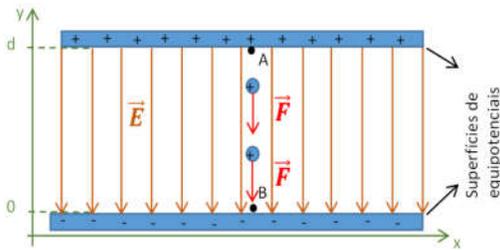


Figura 5.3: O campo elétrico realiza trabalho sobre uma partícula carregada de carga (+).

Assim, o trabalho realizado para retirar a carga de um ponto inicial até o ponto final é dado por:

$$W = q_0 \int_d^0 \vec{E} \cdot d\vec{y}$$

$$W = q_0 \int_d^0 E \cos(0^\circ) dy$$

$$W = -q_0 Ed [J] \quad 5.2$$

Pela equação 5.1, teremos que a diferença da energia potencial será:

$$U_{final} - U_{inicial} = q_0 Ed \quad 5.3$$

E como a diferença de potencial é dado por:

$$\Delta V = V_{final} - V_{inicial} = \frac{\Delta U_{elétrico}}{q_0} \quad 5.4$$

Então a diferença de potencial elétrico medido entre equipotenciais elétrico é dado por:

$$\Delta V = V_{final} - V_{inicial} = \frac{q_0 Ed}{q_0} = Ed [V] \quad 5.5$$

Ou seja, a diferença de potencial está relacionada com o campo elétrico e a distância entre as superfícies equipotenciais sob análise.

## ROTEIRO

### OBJETIVO

Estudar o campo elétrico gerado por dois elementos condutores com uma diferença de potencial aplicada entre os mesmos. Para isto, teremos que nos familiarizar com grandezas

como potencial elétrico e campo eletrostático. Como não podemos medir diretamente campo elétrico (ou linhas de força), serão feitas as curvas equipotenciais. Logo utilizaremos para o mapeamento uma cuba eletrolítica, que nos permitirá desenhar as curvas equipotenciais (e as linhas de força) e, finalmente determinar o campo elétrico gerado em um ponto P entre duas superfícies equipotenciais, através da diferença de potencial.

### EQUIPAMENTOS

- Cuba Eletrolítica;
- Fonte de Tensão DC;
- Fios de Ligação;
- Multímetro empregado como voltímetro;
- Água;
- Gerador de tensão 7KV DC;
- Proteção de 50MΩ na saída da fonte.
- Retro projetor;
- Amplificador de medida de corrente contínua
- Tipos variados de eletrodos metálicos;
- Semolina;
- Óleo rícino;
- Suportes para os eletrodos;
- Cuba suporte para o óleo.

### 1º Experimento (Óleo de rícino e semolina)

Montagem:

**CUIDADO!** Mantenha a fonte de alta tensão inicialmente desligada para a montagem da experiência, esta fonte é de corrente contínua e torna-se perigosa no caso utilizo inadequado.

Coloque a cuba com suporte sobre o projetor, insira uma fina lâmina de óleo rícino juntamente com a semolina. Conecte os eletrodos metálicos na fonte de alta tensão, inserindo uma resistência elétrica de 50MΩ na saída da fonte como proteção. Monte os eletrodos de acordo com o representando em um dos 4 arranjos da Figura 5.4. Ligue o projetor e focalize a imagem no quadro de projeção. Com cuidado e

mantendo-se afastado dos fios de conexão, ligue a fonte de alta tensão. Aguarde um tempo até que a semolina se alinhe e observe neste período a movimentação da semolina. Após a semolina ter se alinhado, desligue a fonte de alta tensão e somente se aproxime do experimento após ter certeza de que a fonte esteja desligada. Observe as figuras formadas com o alinhamento das sementes. Observe a relação da intensidade do campo com o número de linhas, o ângulo que as linhas de campo saem dos eletrodos, a relação das pontas, relação de cargas de natureza idênticas ou opostas, a relação do número de linhas com a distância entre os eletrodos. Faça um esboço do desenho formado pelas sementes em cada arranjo da Figura 5.4.

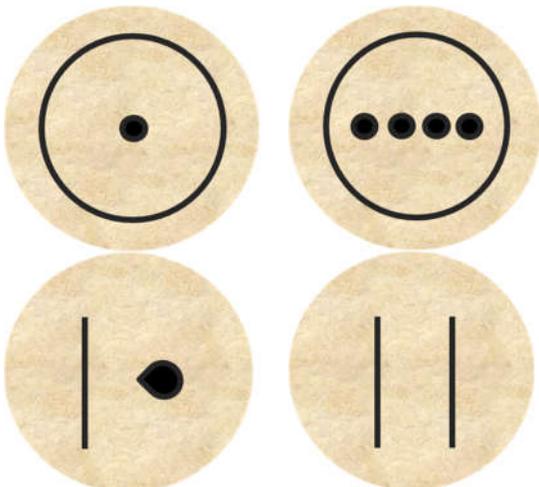


Figura 5.4: Cuba com óleo e semolina com eletrodo ao centro preso ao suporte.

## 2º Experimento (Cuba Eletrolítica)

**Montagem 1:** Em uma cuba eletrolítica contendo água da torneira (contém sais minerais), são introduzidos dois eletrodos metálicos (placas retangulares) A e B distantes de  $d$ . Uma fonte de tensão de corrente contínua (V) é conectada aos eletrodos. Uma ponta de prova do voltímetro é conectada ao eletrodo com potencial zero (eletrodo A) e a outra fica livre para se movimentar (Figura 5.5).

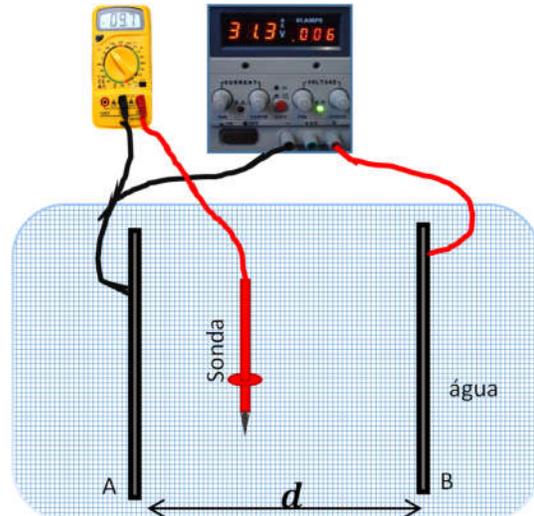


Figura 5.5: Cuba eletrolítica com uma solução aquosa com dois eletrodos (placas retangulares) A e B, uma fonte de tensão DC e um voltímetro com alta impedância de entrada.

OBS: Por se tratar de um experimento utilizando água nas cubas eletrolíticas, ao invés de solução aquosa contendo sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), deve-se utilizar um multímetro com alta impedância de entrada no modo de voltímetro (impedância mínima de  $10\text{M}\Omega$ ).

### PROCEDIMENTO:

Com uma ponta de prova do voltímetro ligado em A (referência) e a outra livre para movimentar-se, é possível medir a diferença de potencial em função da posição. Ligue o multímetro em modo voltímetro na escala de 20V CC. Primeiramente distancie os eletrodos A e B entre 15 e 25 cm (escolha da distância feita pelo professor). Ajuste a fonte para aplicar uma diferença de potencial entre 5 e 15 volts (a escolha do professor). Anote as posições dos eletrodos em relação às marcações da cuba eletrolítica. Anote a precisão dos equipamentos utilizados. Coloque água na cuba eletrolítica.

Mergulhe a ponta de prova com a normal da superfície da água contida na cuba. Posicione a ponta de prova em um local entre os dois eletrodos escolhendo um valor de equipotencial a ser seguida com o voltímetro. Ao escolher uma equipotencial, meça 5 pontos movendo a ponta

de prova dentro da solução eletrolítica e mantendo a mesma diferença de potencial no voltímetro. Faça uma tabela para os deslocamentos  $x$  e  $y$  da cuba eletrolítica. Repita o procedimento para mais 4 equipotenciais entre os dois terminais.

Após o término das medidas, aproxime a ponta de prova das interfaces dos eletrodos. Meça o valor bem próximo aos eletrodos (sem tocar a ponta de prova na superfície metálica do eletrodo). Meça o valor dos potenciais aplicados nos eletrodos tocando a ponta de prova nos eletrodos. Anote o observado e explique a diferença encontrada.

**Montagem 2:** Na mesma cuba eletrolítica da montagem anterior, retire as placas planas e coloque um cilindro maciço na posição do eletrodo A (eletrodo com equipotencial zero) e um anel como eletrodo B, de tal forma que estes fiquem igualmente centralizados no eixo  $Y$  da cuba eletrolítica e separados por uma distância de 20 cm em relação aos seus centros no eixo  $X$ . Conecte a fonte de tensão aos eletrodos e aplique 10 V. Uma ponta de prova do voltímetro (potencial zero) é conectada ao eletrodo maciço (Eletrodo A) e a outra fica livre para se movimentar entre os eletrodos como mostra a Figura 5.6.

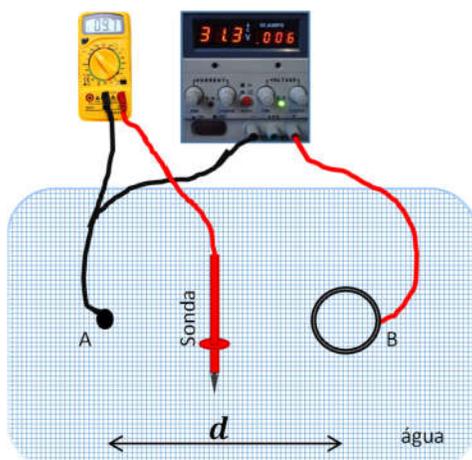


Figura 5.6: Cuba eletrolítica com uma solução aquosa com dois eletrodos A e B (placas cilíndrica maciça e um anel), uma fonte de tensão DC e um voltímetro com alta impedância de entrada.

Coloque a ponta de prova no interior do anel e meça o valor das tensões em vários pontos internos a este anel. Compare os resultados e discuta sobre os valores observados.

Meça 3 equipotenciais com 5 valores de coordenadas  $X$  e  $Y$ , sendo uma equipotencial próxima ao eletrodo A, uma próxima ao eletrodo B e uma no centro entre os anéis (10 cm do centro dos eletrodos).

**Montagem 3:** Mantendo a montagem da Figura 5.6, coloque novamente a ponta de prova internamente ao anel e reduza a diferença de potencial da fonte até que o valor medido pelo voltímetro seja igual ao valor da equipotencial central medida no experimento anterior. Substitua o eletrodo em formato de anel pelo eletrodo plano e posicione o eletrodo plano no local da equipotencial central da medida anterior como mostra a Figura 5.7.

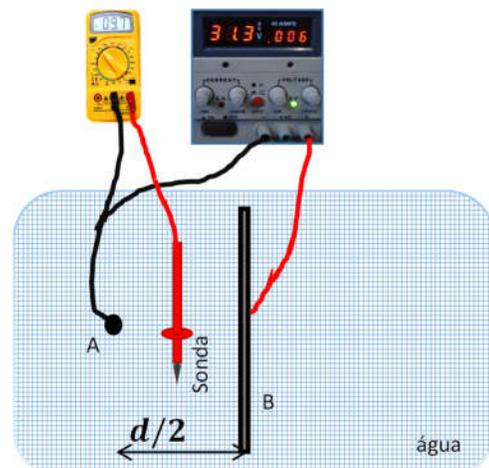


Figura 5.7: Cuba eletrolítica com uma solução aquosa com dois eletrodos (placas cilíndrica maciça e um anel) A e B, uma fonte de tensão DC e um voltímetro com alta impedância de entrada.

Meça novamente as coordenadas do mesmo valor da equipotencial próxima ao eletrodo A da medida anterior.

Compare os resultados obtidos e descreva a relação das superfícies metálicas com as equipotenciais elétricas.

## **ANÁLISE EXPERIMENTAL**

### **Para a montagem do 1º experimento:**

Comente o que foi observado nos desenhos da semolina, lembrando das observações realizadas em relação da intensidade do campo com o número de linhas, o ângulo que as linhas de campo saem dos eletrodos, a relação das pontas, relação de cargas de natureza idênticas ou opostas, a relação do número de linhas com a distância entre os eletrodos e o desenho formado pelas sementes.

### **Análise do 2º experimento, montagem 1:**

Faça o gráfico das curvas de equipotenciais utilizando as coordenadas X e Y dos pontos medidos. Faça um esboço das equipotenciais medidas e da posição dos eletrodos no gráfico. Relacione as equipotenciais com as linhas de campos observadas no experimento 1.

Faça um gráfico da diferença de potencial em função do valor médio das distâncias da coordenada X de cada equipotencial. Determine através do gráfico o valor do campo elétrico. Observe os valores de potencial máximo e mínimo em que a reta cruza as posições dos eletrodos no eixo X. Explique a diferença de potencial encontrada em cada interface em relação à diferença de potencial aplicada entre os eletrodos.

### **Análise do 2º experimento, montagem 2 e 3:**

Interprete o efeito físico observado para as medidas de equipotencial interno ao anel do eletrodo B.

Faça um gráfico das curvas de equipotenciais utilizando as coordenadas X e Y dos pontos sobrepondo as medidas da montagem 2 com a 3. Compare as curvas obtidas para a equipotencial próximo ao eletrodo A obtido para a montagem 2 e 3. Explique a relação da superfície de equipotencial com a interface dos eletrodos metálicos.

## 6. CAPACITOR VARIÁVEL E DIELÉTRICOS

### INTRODUÇÃO

O capacitor é um dos componentes eletrônicos mais fundamentais em circuitos elétricos, como a resistência e a indutância.

Os capacitores são constituídos de duas placas condutoras separadas por materiais isolantes. As placas metálicas dos capacitores são carregadas com cargas opostas e com o mesmo valor em módulo, criando o campo elétrico saindo da placa carregada positivamente e indo para a carregada negativamente, com uma diferença de potencial entre as placas e as equipotenciais perpendiculares ao campo elétrico e entre as placas metálicas (Figura 5.1). As placas metálicas de área  $A$  são separadas por uma distância  $d$  de forma que o valor de  $d$  é muito menor que o comprimento e largura das placas. Com esta consideração, pode-se desprezar os efeitos de borda do capacitor.

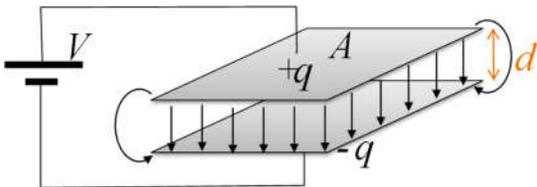


Figura 6.1: Esquema simplificado das linhas de campo formada entre as placas de um capacitor plano de placas paralelas.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad 6.1$$

onde  $\sigma$  é a densidade superficial de carga e  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica no vácuo. Como a densidade de carga é a quantidade de carga por área, pode-se reescrever a equação 6.1 da seguinte maneira:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad 6.2$$

Lembrando que a diferença de potencial entre as placas será:

$$V \equiv V_+ - V_- = \int_{placa+}^{placa-} \vec{E} \cdot d\vec{s} = E_0 d \quad 6.3$$

Portanto, juntando a equação 6.2 com a 6.3 teremos que:

$$V \equiv E_0 d = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d = \frac{d}{\epsilon_0 A} q = \frac{1}{C_0} q \quad 6.4$$

Cuja constante de proporcionalidade entre a diferença de potencial com a carga das placas metálicas é dependente das características geométricas das placas e da distância. Assim, o inverso desta constante de proporcionalidade é chamada de capacitância (C).

Desta forma, para capacitores de placas planas e paralelas, a capacitância está expressa na equação 6.5.

$$C_0 = \frac{A\epsilon_0}{d} \quad 6.5$$

Sendo a unidade de medida para capacitância chamada de Faraday (F), onde

$$[1F] = \frac{[1C]}{[1V]} \quad 6.6$$

Na prática são usados múltiplos de faraday, sendo pF, nF,  $\mu$ F e mF são os mais empregados.

Entre as placas do capacitor pode ser inserido um isolante que contenha dipolos elétricos, chamados de dielétricos. Ao submeter os dipolos elétricos a um campo externo, induz o alinhamento destes dipolos formando uma densidade superficial de carga que irá criar um campo elétrico interno ( $\vec{E}_{int}$ ) se opondo ao campo o que gerou ( $\vec{E}_0$ ).

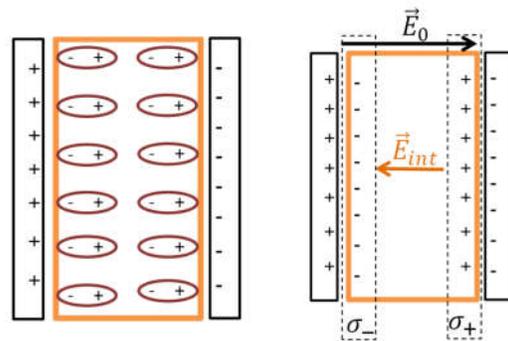


Figura 6.2: Esquema de um capacitor com dielétrico entre as placas metálicas a) esquema demonstrativo do alinhamento de dipolo, b) formação das densidades superficiais de carga e o campo elétrico interno gerado.

Neste caso o campo elétrico resultante é:

$$E = E_0 - E_{int} = \frac{E_0}{k} \quad 6.7$$

Onde  $k$  é a constante dielétrica do material empregado.

A partir da equação 6.3 pode ser reescrita em termos do campo elétrico resultante entre as placas, assim, a equação será:

$$V = Ed = \frac{E_0 d}{k} \quad 6.8$$

E como  $V = \frac{q}{C}$ , pode-se substituir na equação 6.8, obtendo-se:

$$V = \frac{q}{C} = \frac{V_0}{k} \quad 6.9$$

Assim a capacitância com dielétrico será dado por:

$$C = k \frac{q}{V_0} = kC_0 = k\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad 6.10$$

Possibilitando obter a permissividade do dielétrico deste capacitor.

---



---

## ROTEIRO

### OBJETIVOS

- Estudar as propriedades intrínsecas de capacitores;
- Determinar a dependência da capacitância em função da distância (variação da capacitância em função da adição de dielétricos entre as placas metálicas).

### EQUIPAMENTOS

- Capacitor variável com escala de distância (Leybold didactic)
- Capacitímetro digital;
- Discos de cartolina;
- Discos de Espuma Vinílica Acetinada (EVA) (etileno acetato de vinila);
- Cabos de conexão;
- Papel milimetrado.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 1º Experimento (Permissividade elétrica do Ar)

#### **OBSERVAÇÃO:**

**NUNCA FORCE A ROSCA SEM FIM DO PACAPITOR VAIÁVEL CASO OCORRA O ENDURECIMENTO DO MESMO.**

**O Capacitor variável tem um parafuso lateral de possibilita deslizar a placa móvel em relação ao corpo deslizante. O ENDURECIMENTO significa que a rosca do suporte móvel chegou ao seu limite. Deve-se retornar um pouco a rosca sem fim e soltar o parafuso lateral, após, empurre o disco até encostar no outro disco, e finalize com o aperto do parafuso lateral novamente.**

**Caso haja alguma dúvida, pergunte ao professor ou ao técnico do laboratório.**

**ATENÇÃO: CUIDADO COM O MAL CONTATO NOS TERMINAIS DO CAPACITÍMETRO, este poderá ocasionar erros de medida.**

Inicialmente, meça a área do capacitor variável antes de ligar qualquer equipamento no mesmo.

Após, conecte o capacitor variável ao capacitímetro (multímetro em modo de capacitímetro) na escala de 2nF como representado na Figura 6.3.

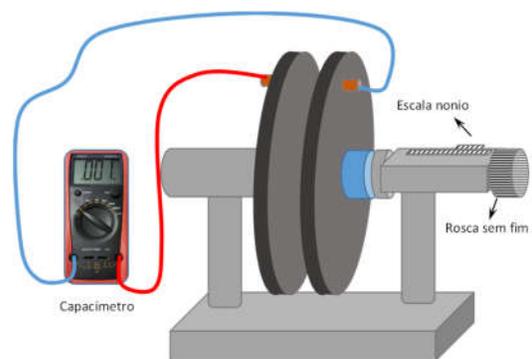


Figura 6.3: Esquema de ligação do capacitor variável ao capacitímetro.

Varie a distância das placas do capacitor e meça a capacitância do mesmo. Construa uma tabela com os resultados obtidos.

Faça um gráfico da capacitância em função da distância das placas e discuta o gráfico obtido.

Com os resultados obtidos no primeiro experimento, faça a linearização da curva e obtenha a permissividade elétrica do Ar.

## 2º Experimento (Constante dielétrica do papelão e do EVA)

Para efetuar as medidas, repita procedimento do experimento 1, mas adicionando as lâminas de dielétricos entre as placas do capacitor como ilustrado na **Figura 6.4**.

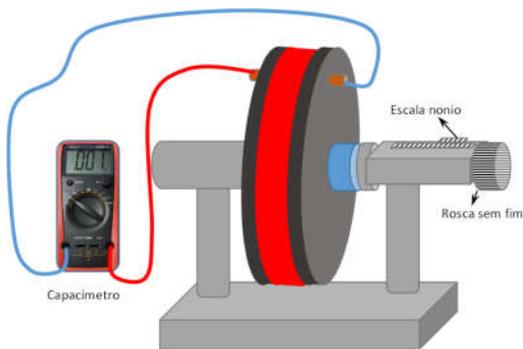


Figura 6.4: Esquema de ligação do capacitor variável com dielétrico entre as placas metálicas.

Monte uma nova tabela para os resultados obtidos para o capacitor com o papel entre as placas metálicas e outra tabela utilizando o EVA.

Faça a linearização dos resultados obtidos e determine as constantes dielétricas do papel e do EVA.

Compare com a Tabela 6.2 e discuta a diferença entre os resultados obtidos e tabelados.

Tabela 6.2: Constante dielétrica, rigidez dielétrica de materiais diversificados.

Material	Constante dielétrica	Rigidez dielétrica (KV/mm)	Estado da matéria
Ar	1,00054	0,8	Gás
Acetato de celulose	3,3 a 3,9	9,8 a 23,6	Sólido
Vidro	7,6 a 8	7,8 a 9,8	Sólido
Mica	5,4	150 a 220	Sólido
Papel	3	7,8	Sólido
Parafina	2,1	?	Sólido
Poliestireno	2,6	>20	Sólido
Porcelana	5,1 a 5,9	1,6 a 4	Sólido
Quartzo	3,8	39,4	Sólido
Teflon	2,1	>40	Sólido
Vácuo	1	infinito	n/a
Água	76,5 a 80		Líquido
Policarbonato	2,9-3,2	15-70	Sólido
Policloreto de vinila (PVC)	s/ dado	18	Sólido
Polietileno de alta densidade	2,28	>22	Sólido
Polietileno de baixa densidade	2,28	>20	Sólido
Vinil	2,8 a 4,5	?	Sólido
Etileno acetato de vinila	2,8	21	Sólido

## 7. CARGA E DESCARGA DE CAPACITORES

### INTRODUÇÃO

O capacitor é um dispositivo capaz de armazenar energia elétrica sob a forma de um campo eletrostático. Ao ligar um capacitor a uma fonte de energia o mesmo leva um tempo para adquirir o mesmo potencial elétrico da fonte, esse tempo pode ser alterado se adicionar em série ao capacitor uma resistência elétrica, como ilustrada na Figura 7.1.

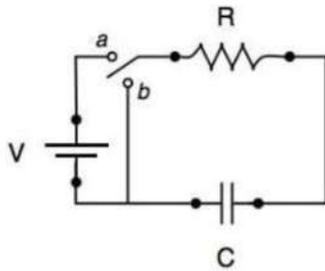


Figura 7.1: Circuito de Carga e Descarga para um capacitor.

Inicialmente o capacitor C está descarregado e ao ligarmos o circuito no instante  $t=0s$  passando a chave para a posição “a” veremos que a carga “q” no capacitor não se estabelece instantaneamente, levando um tempo t para atingir o máximo valor V. O tempo necessário para isso ocorrer é dado pela relação descrita na Equação 7.1:

$$V_c = V(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad 7.1$$

Onde  $V_c$  é a tensão no capacitor, V a tensão máxima aplicada, t o tempo de carga, R o valor da resistência elétrica e C a capacitância do capacitor.

Depois de totalmente carregado se passarmos a chave para a posição “b” o capacitor irá dissipar toda a energia armazenada no resistor, porém essa energia será consumida em um intervalo de tempo t. O tempo necessário para descarregar o capacitor é dada pela Equação 7.2:

$$V_c = Ve^{-\frac{t}{RC}} \quad 7.2$$

O produto entre os valores de RC e chamado de constante de tempo do circuito RC ou também tempo de relaxação ( $\tau$ ). O tempo de relaxação para o processo de carga de um capacitor é determinado por;

$$\begin{aligned} V_c(\tau) &= V(1 - e^{-\frac{\tau}{RC}}) = \\ &= V(1 - e^{-\frac{RC}{RC}}) = 0,63 \cdot V \end{aligned} \quad 7.3$$

Ou seja, é quando o capacitor atinge 63% do valor da tensão máxima aplicada ao mesmo, já para o processo de descarga  $\tau$  é encontrado quando a tensão no capacitor cai 37% do seu máximo, obtido pela equação 7.4.

$$\begin{aligned} V_c(\tau) &= Ve^{-\frac{\tau}{RC}} = Ve^{-\frac{RC}{RC}} = \\ &= 0,37 \cdot V \end{aligned} \quad 7.4$$

### ROTEIRO

#### OBJETIVOS

- Determinar o tempo de relaxação  $\tau$  de um circuito RC;
- Determinar o valor do capacitor utilizado no circuito (Figura 7.2).

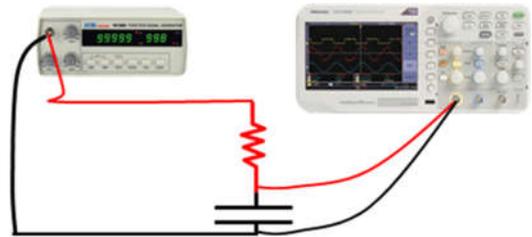


Figura 7.2: Circuito RC em série para determinação das curvas de carga e descarga de um capacitor.

#### EQUIPAMENTOS

- Fonte geradora de tensão – ISTRUTHERM GF – 320;
- Osciloscópio – TEKTRONIX TBS 1072B;
- Capacitor;
- Resistências;

- Protoboard;
- Cabos de ponta de prova sem atenuação (10x).

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O circuito da Figura 7.2 irá desempenhar o mesmo papel do circuito da Figura 7.1, porém não haverá a chave deste último circuito. O gerador de funções configurado com uma forma de onda quadrada será responsável para realizar o processo de carga e descarga do capacitor, dispensando o uso da chave.

### PROCEDIMENTO PARA MEDIR A FORÇA ELETROMOTRIZ

Ligar o osciloscópio na posição onde estão as garras do gerador de função (Figura 7.3b) e medir a força eletromotriz aplicada.

#### 1º Montagem (Carga do capacitor)

O circuito RC deverá ser montado na placa Protoboard como ilustra a Figura 7.3a. A explicação para a utilização das trilhas do Protoboard se encontra no apêndice B, no final desta apostila.

Após essa etapa configure o gerador de funções para uma onda quadrada de 50 Hz, para isso pressione a tecla Wave até aparecer o número 2 no lado esquerdo do display maior em seguida pressione a tecla Ranger até aparecer o número 3 no lado direito do display maior. Pressione Run e ajuste a frequência para 50 Hz. Agora ajuste a amplitude do sinal para 5 Vp. Conecte o cabo BNC-Jacaré no gerador de funções e ligue-o no circuito como ilustra a Figura 7.3b. Agora ligue o osciloscópio no circuito para medir a tensão em cima do capacitor, para isso conecte a ponta de prova do osciloscópio como ilustra a Figura 7.3c.

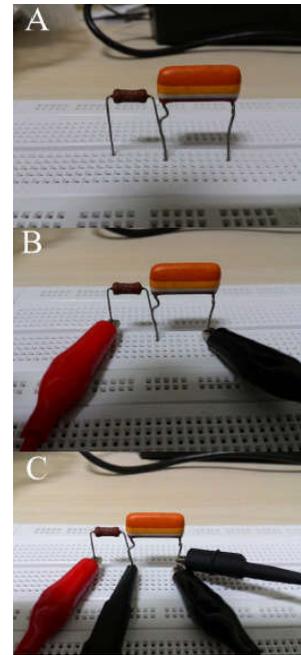


Figura 7.3: Montagem do circuito RC na placa de Protoboard

Para medir o sinal com o osciloscópio configure o canal 1 para acoplamento AC e a ponta de prova para X10, ajuste as escalas vertical e horizontal e posicione o sinal para uma visualização como ilustra a Figura 7.4.

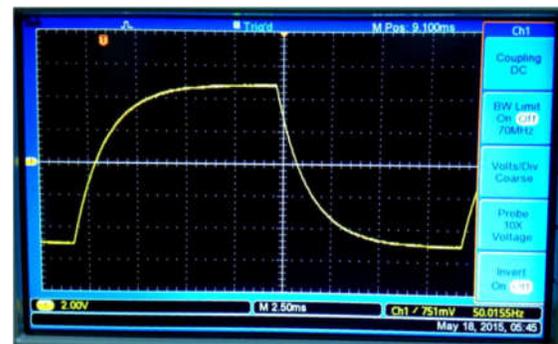


Figura 7.4: Sinal ajustado para exibição de um ciclo completo de carga e descarga do capacitor.

A seguir pressione a tecla Cursor no osciloscópio e um menu lateral irá aparecer, como ilustra a Figura 7.5. Pressione o botão ao lado da opção Type e escolha com o botão Multipurpose a opção Time. Duas linhas verticais irão aparecer, estas linhas são para auxiliar na leitura do tempo e da tensão. Pressione o botão ao lado da opção Cursor1, ver Figura 7.6, com o botão

Multipurpose leve a linha vertical até o ponto quando a amplitude do sinal começa a aumentar. Em seguida selecione a opção Cursor 2 e leve essa linha horizontal até a posição da linha Cursor 1. Va movimentando a linha Cursor 2 sob a curva para realizar a leitura de tempo e tensão que são indicadas no menu logo acima da opção Cursor 1. Movimentando a linha do Cursor 2 para direita colete vários pontos para carga do capacitor e anote na Tabela 7.1.

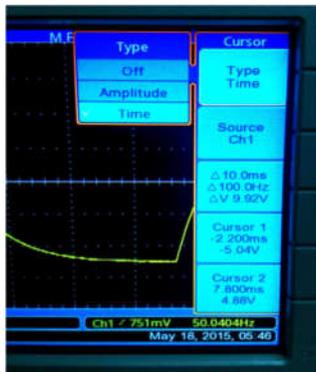


Figura 7.5: Configuração da opção Cursor para medida de tempo e tensão com precisão.

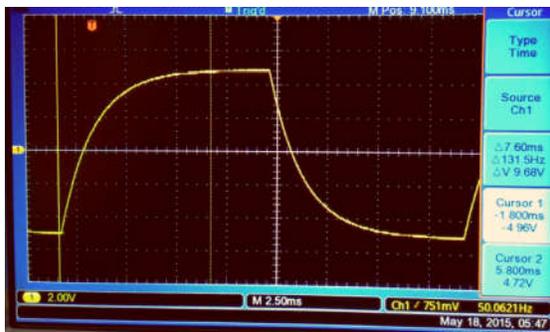


Figura 7.6: Posicionamento dos cursores do osciloscópio para medida precisa de tempo e tensão, Os valores da diferença entre o Cursor 1 e Cursor 2 e mostrado logo acima do mostrador do Cursor 1.

## 2º Montagem (Descarga do capacitor)

Repita todo o processo do parágrafo anterior, só que agora para o intervalo de descarga do capacitor, quando a tensão começa a cair novamente. Anote o tempo e a tensão de descarga do capacitor na Tabela 7.2.

## ANÁLISE EXPERIMENTAL

Com os dados da Tabela 7.1 e Tabela 7.2 faça os gráficos de carga e descarga do capacitor (não se esqueçam de incluir as barras de erros para tensão nos gráficos construídos) e ajuste as curvas obtidas com as Equações 7.1 e 7.2 respectivamente.

Determine a capacitância do capacitor utilizado, sabendo que o resistor usado no experimento foi de 4,7 kΩ e tolerância de 5%. Obtenha o valor da constante de relaxação do circuito utilizado no experimento.

Redija o relatório com todas as informações coletadas neste experimento.

Tabela 7.1: Leituras de tempo e tensão para o processo de carga do capacitor.

Tempo (S)	LEITURAS DE TENSÃO			Tensão Média(V)	Desvio Padrão ( $\pm$ V)
	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)		
100 $\mu$					
300 $\mu$					
500 $\mu$					
700 $\mu$					
800 $\mu$					
1,0m					
1,2m					
1,4m					
1,6m					
1,8m					
2,0m					
2,2m					
2,4m					
2,7m					
3,0m					
3,5m					
4,0m					
4,5m					
5,0m					
6,0m					

Tabela 7.2: Leituras de Tempo e Tensão para o processo de descarga do capacitor.

Tempo (S)	LEITURAS DE TENSÃO			Tensão Média(V)	Desvio Padrão ( $\pm$ V)
	Tensão 1 (V)	Tensão 2 (V)	Tensão 3 (V)		
100 $\mu$					
300 $\mu$					
500 $\mu$					
700 $\mu$					
800 $\mu$					
1,0m					
1,2m					
1,4m					
1,6m					
1,8m					
2,0m					
2,2m					
2,4m					
2,7m					
3,0m					
3,5m					
4,0m					
4,5m					
5,0m					
6,0m					

## APÊNDICE B: ESQUEMA DAS TRILHAS DE UM PROTOBOARD

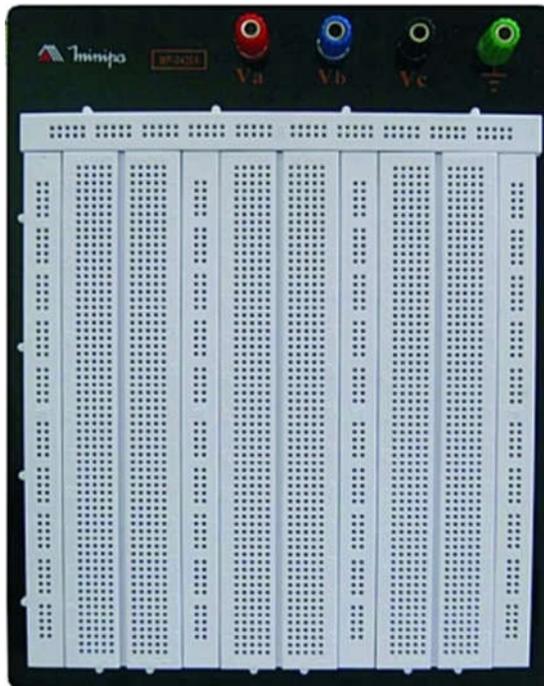
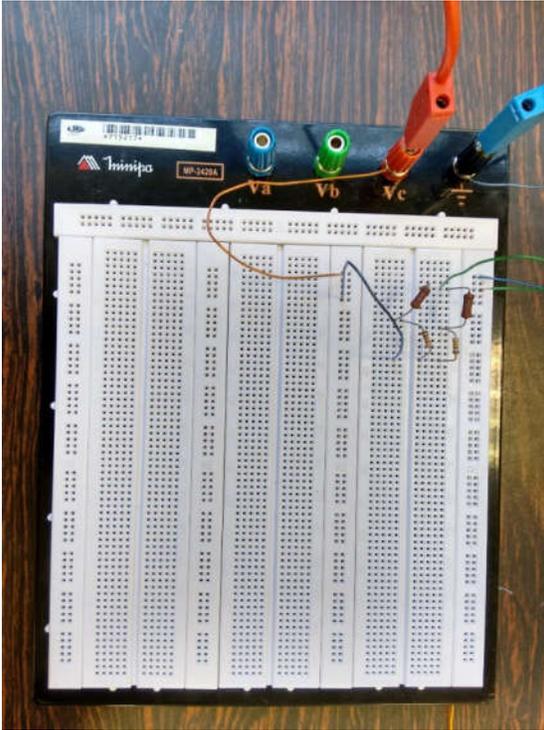


Figura 16.7: Protoboard.

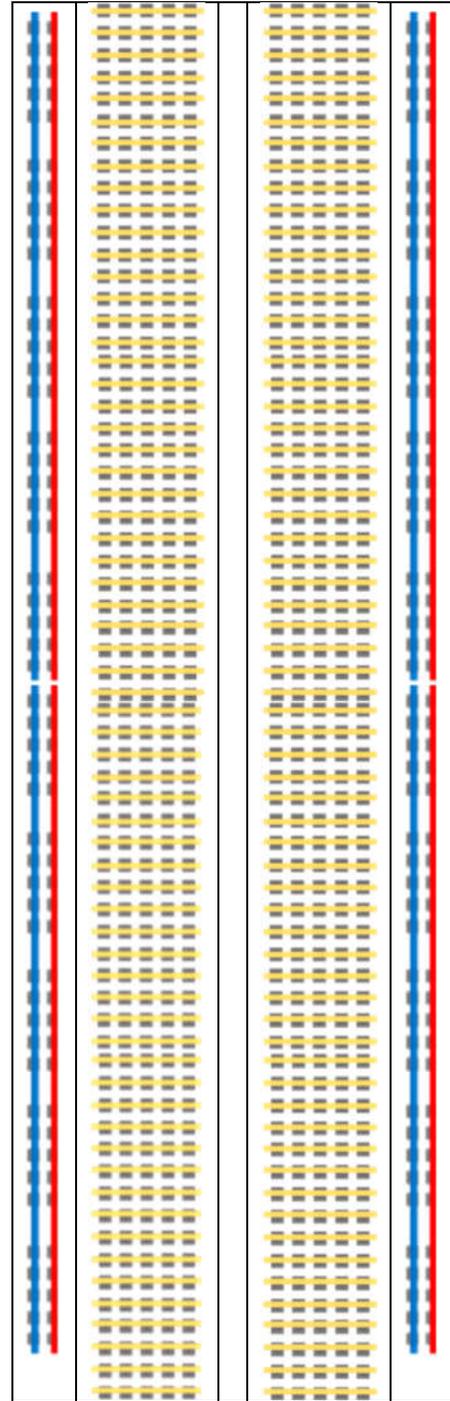


Figura 16.8: Trilhas do Protoboard.

## 8. LEI DE OHM E RESISTIVIDADE

### INTRODUÇÃO

A resistividade elétrica ( $\rho$ ) pode ser entendida como sendo a contrapartida microscópica da resistência elétrica, ou seja, a propriedade intrínseca do material de opor ao fluxo da corrente elétrica que flui nele. Assim, a resistividade é uma propriedade específica de cada substância, atribuída a cada ponto do material.

A diferença de potencial aplicado nos extremos de um condutor gera um campo elétrico interno, que exerce diretamente uma força sobre as cargas livres. As cargas são aceleradas até sofrer uma “colisão”, tendo que ser acelerada novamente, repetindo diversas vezes este processo até percorrer toda a continuidade do fio. Assim, a velocidade média do transporte da carga que é chamada de velocidade de migração ( $v_d$ ), com a densidade de corrente elétrica ( $\vec{J}$ ) dada pela velocidade de migração dos elétrons devido à aplicação de um campo elétrico ( $\vec{E}$ ). Ao variar a intensidade do campo elétrico irá diretamente variar a força atuante sobre os elétrons, variando assim a velocidade de migração dos elétrons. Caso seja deslocamento de carga positiva ou negativa/positiva ou somente negativa, a corrente é definida em relação ao sentido de deslocamento da carga positiva, ou seja, no sentido do campo elétrico (Figura 8.1).

Desta maneira, a quantidade de carga transportada por unidade de tempo é dada por:

$$\Delta q = qnAv_d\Delta t \quad 8.1$$

Sendo  $q$  a carga fundamental,  $n$  a densidade de número de portadores em um metal de secção transversal de área  $A$ . Reescrevendo em

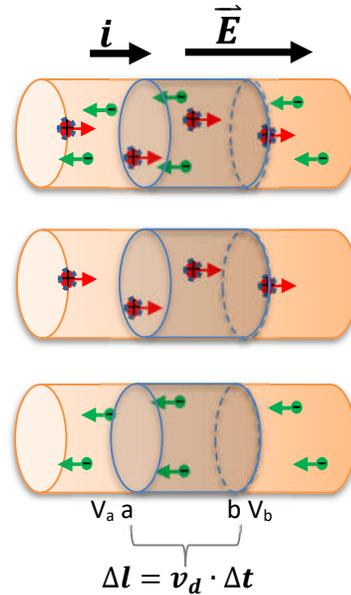


Figura 8.1: transporte de cargas com velocidade de migração em um material que tenha um campo elétrico aplicado.

termos do volume infinitesimal no transporte de carga dentro do condutor, obtém:

$$dq = qnAv_d dt \quad 8.2$$

Podendo ser reescrito na forma,

$$I = \frac{dq}{dt} = qnAv_d \quad 8.3$$

e dividindo pela área, obtém a densidade de corrente dada por (eq. 8.4):

$$J = \frac{I}{A} = qnv_d \quad 8.4$$

Georg Simon Ohm demonstrou experimentalmente que para diversos materiais incluindo a maioria dos metais (materiais isotrópicos à temperatura constante), a razão entre a densidade de corrente e o campo elétrico é proporcional a uma constante, e esta constante independe do campo elétrico que produz a corrente elétrica, ou seja, só depende das propriedades intrínsecas do material (eq. **Error! Reference source not found.**).

$$\sigma = \frac{\vec{J}}{\vec{E}} \quad 8.5$$

onde  $\sigma$  é a condutividade do material.

O recíproco da condutividade é chamado de resistividade (eq. **Error! Reference source not found.**).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad 8.6$$

Assim pode-se reescrever a equação 8.6 da seguinte forma:

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad 8.7$$

Se ao invés de pensar em portadores de cargas negativo se deslocando para esquerda, pode-se pensar diretamente como se fosse cargas positivas deslocando-se para a direita (Figura 8.1). Integrando a equação 8.7 sobre o deslocamento de  $a$  até  $b$ .

$$\int_a^b \vec{E} \cdot \vec{dl} = \rho \int_a^b \vec{J} \cdot \vec{dl} = \rho \frac{I}{A} \int_a^b dl = \rho \frac{l}{A} I \quad 8.8$$

$$= El$$

Como a **queda de potencial** entre os pontos de  $a$  até  $b$  é dado por:

$$V \equiv V_b - V_a = El \quad 8.9$$

Pode-se unir as equações **8.8** e **Error! Reference source not found.** resultando em:

$$V = El = \rho \frac{l}{A} I = \mathbf{RI} \quad 8.10$$

Obtendo assim a lei de Ohm (eq. 8.10).

Onde  $R$  é chamada de resistência elétrica e é proporcional da razão entre a resistividade do material e o comprimento do fio pela área do mesmo.

$$R = \rho \left( \frac{L}{A} \right)_{\theta=constante} \quad 8.11$$

As unidades do SI (Sistema Internacional) para as grandezas físicas envolvidas são: resistência elétrica em ohm ( $\Omega$ ), resistividade (ou resistência elétrica específica) em ohm-metro ( $\Omega \cdot m$ ), comprimento em metro (m) e área da secção transversal em metro quadrado ( $m^2$ ).

Todavia, na prática, é cômodo referir-se à área da secção transversal em milímetros quadrados ( $mm^2$ ) ou em centímetros quadrados ( $cm^2$ ), assim, a resistividade de um dado condutor poderá ser tabelada em  $\Omega \cdot mm^2/m$  (se  $A$  for medido em  $mm^2$  e  $L$  em m) ou em  $\Omega \cdot cm$  (se  $A$  for medido em  $cm^2$  e  $L$  em cm).

Tabela 8.1– Resistividade de alguns condutores.

Material	Resistividade ( $10^{-6} \Omega \cdot m$ )
Constantan Cu:Ni (60%:40%)	50,00
Níquel-Cromo Cu:Cr:Fe (60%:12%:28%)	137,00
Latão Cu:Zn (60%:40%)	8,18
Cobre	1,724

## ROTEIRO OBJETIVOS

- Verificar o comportamento de condutores ôhmicos e não ôhmicos;
- Verificar a dependência da condutividade com o material com o qual o condutor é fabricado.

## EQUIPAMENTOS

- Fonte de alimentação ajustável (Instruterm – FA-3005, 0 ~5A, 0~32V);
- Fonte Simétrica (Limitação de corrente de 150mA);
- 1 Multímetro digital HGL-2000 N;
- 1 Multímetro digital Victor 86D;
- Lâmpada 12 V;

- Resistores (100Ω, 220Ω e 470Ω) (kit phywe);
- Lâmpada 12V (kit phywe);
- Suporte com fios condutores diversificados (níquel-cromo, cobre e ferro).

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 1º Experimento (Dependência da resistência elétrica com a diferença de potencial)

Nesta etapa deverá ser montado o circuito da

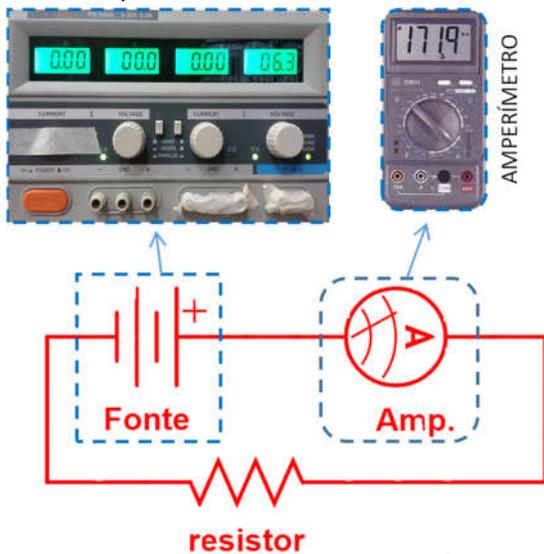


Figura 8.2 com o auxílio de uma fonte de alimentação ajustável e um multímetro na função amperímetro.

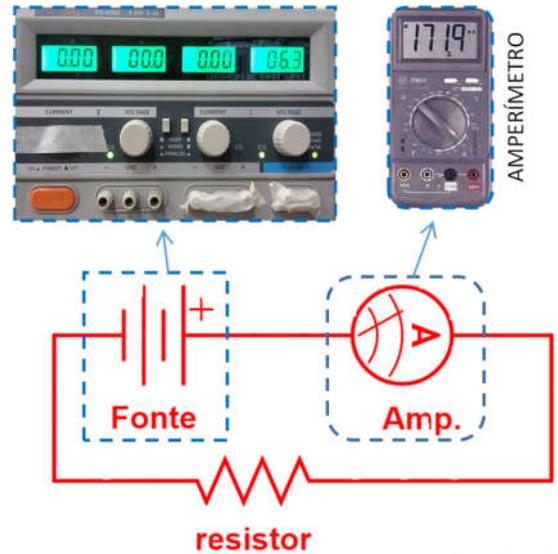


Figura 8.2 - Circuito para determinar a curva característica de um condutor elétrico.

Conecte no circuito o resistor de 8,2 kΩ. Varie a tensão sob o resistor e meça a corrente que passa pelo mesmo, utilize a os valores de tensão contidos na Tabela 8.2 e anote as correspondentes para corrente.

Repita o procedimento do parágrafo anterior para o resistor de 1,5 KΩ e para a lâmpada (cuidado para não ultrapassar a tensão de 12V para não queimar a lâmpada). Com os dados contidos na Tabela 8.2 construa o gráfico de tensão em função da corrente para cada um dos dispositivos caracterizados, identifique qual deles obedecer a Lei de Ohm e nos que obedecer determine o valor da resistência elétrica.

### 2º Experimento (Resistividade de um condutor)

Agora será determinada a resistividade de três condutores distintos, Níquel-cromo, Cobre e Ferro. Para isso utilize a placa que contém os fios condutores esticados sobre a mesma como mostra na Figura 8.3. Com a ajuda de uma fonte de tensão ajustável que contém medidores de tensão e corrente, ajuste a fonte para uma tensão de 0,3 V. Conecte o terminal negativo da fonte no borne do lado esquerdo da placa para um determinado fio com seu respectivo diâmetro (Inicie com o fio de Níquel-Cromo de

0,36mm de diâmetro). O terminal positivo da fonte deve ser conectado no borne seguinte do mesmo fio correspondendo um determinado comprimento deste fio. Para medir a diferença de potencial entre os terminais e eliminar o efeito da resistência elétrica dos fios de conexão, conecte o voltímetro sobre estes mesmos bornes que foram conectados os fios vindo da fonte.

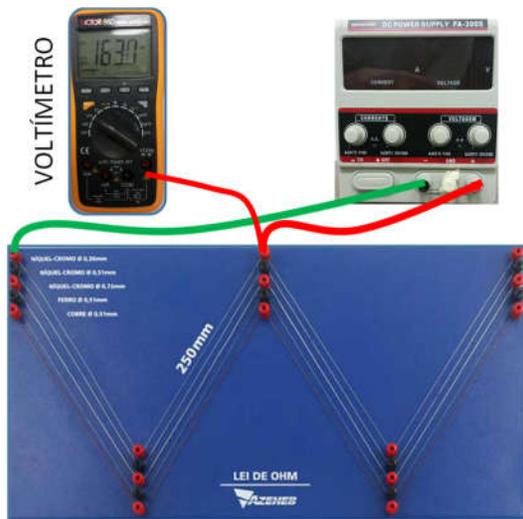


Figura 8.3 - Circuito para determinar a curva característica de um condutor elétrico.

Anote o valor correspondente de corrente lida na fonte de alimentação e a tensão medida no multímetro. Meça a corrente e a tensão para outros comprimentos do fio e monte a Tabela 8.3.

Determine a resistência elétrica para cada seguimento de fio utilizando a equação 8.10. Repita o procedimento descrito para os fios com outros diâmetros e preencha a Tabela 8.3.

Repita o procedimento realizado no fio de níquel-cromo para os fios de cobre e ferro, anote os valores medidos na Tabela 8.4 .

## ANÁLISE EXPERIMENTAL

1° Experimento:

Faça um gráfico da tensão em função da corrente elétrica para cada resistência utilizada. Diga qual dos dispositivos são ôhmicos e quais não são ôhmicos e discuta a respeito de como obteve estas deduções. Determine o valor da resistência elétrica para os dispositivos ôhmicos.

2° Experimento:

Faça um gráfico da resistência elétrica em função do comprimento do fio. A partir dos gráficos obtidos determine a resistividade para cada material medido. Compare a condutividade dos materiais utilizados em cada fio e descreva qual a influência da geometria do fio na resistência elétrica.

Redija um relatório completo com os dados coletados nestes experimentos.

Tabela 8.3 – Tabela para registro da tensão em função da corrente para resistores de 8,2 kΩ, 1,5 kΩ e uma lâmpada.

<b>Resistor 8,2 kΩ</b>		<b>Resistor 1,5 kΩ</b>		<b>Lâmpada</b>	
Tensão (V)	Corrente (mA)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Tensão (V)	Corrente (mA)
1,00		1,00		1,00	
2,00		2,00		2,00	
3,00		3,00		3,00	
4,00		4,00		4,00	
5,00		5,00		5,00	
6,00		6,00		6,00	
7,00		7,00		7,00	
8,00		8,00		8,00	
9,00		9,00		9,00	
10,0		10,0		10,0	
11,0		11,0		11,0	
12,0		12,0		12,0	

Tabela 8.4 – Dados do comprimento em função da corrente e resistência elétrica para fios de níquel-cromo com diferentes diâmetros.

<b>Níquel Cromo</b>						
	<b>Diâmetro 0,36 mm</b>		<b>Diâmetro 0,51 mm</b>		<b>Diâmetro 0,72 mm</b>	
<b>Comprimento (m)</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>Tensão (V)</b>
0,25						
0,50						
0,75						
1,00						

Tabela 8.5 – Parâmetros para determinação da resistividade elétrica de fios de Cobre e Ferro.

<b>Cobre – Diâmetro 0,51 mm</b>	<b>Ferro – Diâmetro 0,51 mm</b>
---------------------------------	---------------------------------

Comprimento (m)	Corrente (A)	Tensão (V)	Comprimento (m)	Corrente (A)	Tensão (V)
0,25			0,25		
0,50			0,50		
0,75			0,75		
1,00			1,00		

## 9. CIRCUITOS ELÉTRICOS

### INTRODUÇÃO

Circuitos elétricos é uma parte importante da tecnologia atual, no entanto para a construção de um dado circuito elétrico ou equipamento eletrônico é necessário saber como os componentes eletrônicos podem ser conectados. Basicamente podemos definir duas formas de se ligar dois ou mais componentes eletrônicos: associação série e associação em paralelo.

### ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Para exemplificamos esse tipo de associação irá se assumir como componentes do circuito os dispositivos resistivos (resistores). Quando os resistores estão associados em série pode ser representado por uma resistência elétrica equivalente que pode ser calculada pela soma das  $n$  resistências em série no circuito. Temos que a corrente que passa por esses elementos é a mesma e a tensão é dividida em cada um de forma que a soma de tensão em cada resistor deve dar a tensão total aplicada, conforme a expressão:

$$R_{eq} = \sum_i^n R_i \quad 9.1$$

### ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Neste tipo de associação os resistores são ligados de forma que a tensão é a mesma em cada um dos elementos como ilustra a Figura 91. A corrente total que passa pelo circuito se divide entre os elementos do circuito.

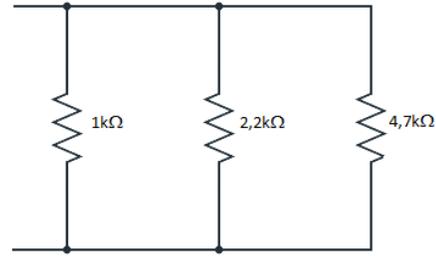


Figura 9.1: Associação em paralelo de Resistores

Da mesma forma que no circuito em série, também é possível determinar uma resistência elétrica equivalente para este tipo de associação e é dada pelo inverso do somatório dos inversos das resistências associadas, conforme a expressão:

$$R_{eq} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right)^{-1} \quad 9.2$$

### CIRCUITOS MISTOS

Chamamos de circuitos mistos quando temos circuitos que apresentam elementos associados em série e paralelo. Nestes casos devemos identificar partes do circuito que contenham somente ligações em série ou paralelo isoladamente e ir determinando a resistências equivalentes em cada etapa até reduzir o circuito a uma única resistência elétrica equivalente.

### LEI DE KIRCHHOFF

A lei de Kirchhoff é baseada no princípio de conservação de carga elétrica. Em um nó, a soma das correntes elétricas que entram no nó é igual à soma das correntes que saem do mesmo, a descrição deste fato é denominada de 1ª lei de Kirchhoff. Outra observação importante em um circuito é que a soma algébrica de todas as tensões em um percurso fechado (malha) é igual a zero, esta constatação é chamada de 2ª lei de Kirchhoff.

## ROTEIRO

### OBJETIVO

- Conhecer as propriedades de circuitos.

### EQUIPAMENTOS

- Resistores ( $1\text{k}\Omega$ ,  $2,2\text{k}\Omega$ ,  $4,7\text{k}\Omega$  e  $1/4\text{W}$ );
- Fonte Simétrica (Limite de  $150\text{mA}$  –com bloqueio de ajuste de corrente);
- Placa Protoboard;
- Cabos de conexão;
- Multímetro;
- Fios.

Verificar no final da apostila a explicação de funcionamento das trilhas do Protoboard no apêndice B.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1 – Monte o circuito misto série paralelo ilustrado na

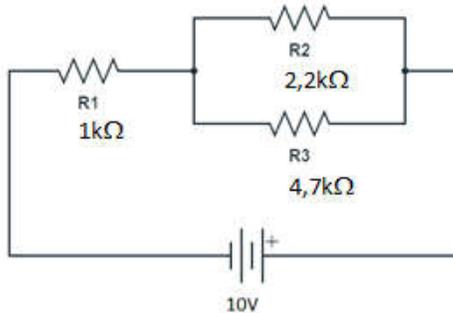


Figura 9.2. Ajuste a fonte de tensão para 10 V.

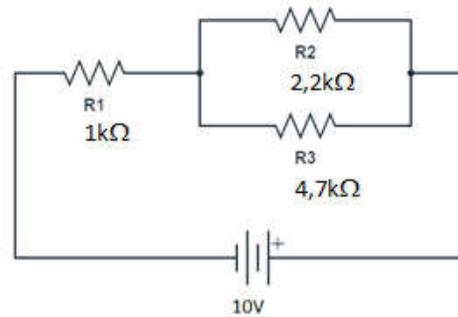


Figura 9.2: Circuito com associação misto série e paralelo.

2 – Meça a tensão corrente, com o auxílio do multímetro, em cada resistor desse circuito.

3 – Desligue a fonte de alimentação e a desconecte do circuito. Meça a resistência total deste circuito.

4 – Calcule a potência elétrica em cada um dos resistores do circuito (faça propagação de erro). Com base nos valores das resistência fornecidas pelo fabricante calcule teoricamente as tensões, correntes e potência elétrica em cada um dos elementos do circuito. Compare os dados obtidos pela leitura direta com os dados calculados teoricamente.

5 – Meça a corrente total que passa pelo circuito.

Redija o relatório de acordo com o guia para redação de relatórios técnicos científicos.

6 - Para verificar as Leis de Kirchoff monte o circuito da

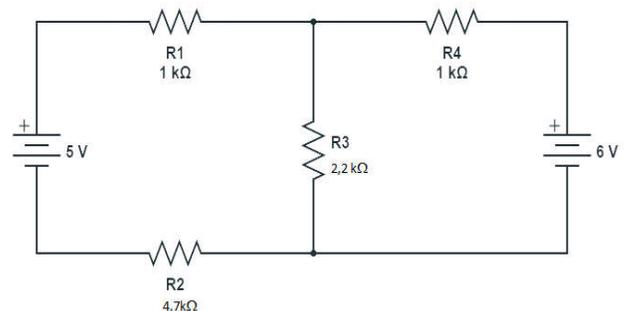


Figura 9.3. Ajuste a fonte simétrica em um canal para 5 V e no outro para 6 V. Preste atenção nas polaridades no momento de conectar a fonte de alimentação ao circuito.

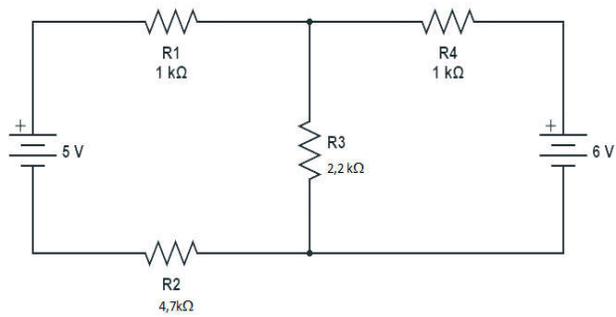


Figura 9.3: Circuito com duas malhas, para verificação das leis de Kirchhoff.

Meça a tensão e corrente, com o auxílio do multímetro, em cada resistor deste circuito. Calculem a potência elétrica em cada um dos resistores do circuito (faça propagação de erro). Com base nos valores de resistências fornecidas pelo fabricante calcule teoricamente as tensões, correntes e potência elétrica em cada um dos elementos do circuito. Compare os dados obtidos pela leitura direta com os dados calculados teoricamente.

Redija o relatório de acordo com o guia para redação de relatórios técnicos científicos.

## 10. RESISTÊNCIA INTERNA DE UMA FONTE

### INTRODUÇÃO

Com o surgimento de equipamentos eletrônicos, tanto de grande porte até de pequeno porte, surgiu também a preocupação com a eficácia na geração e de armazenamento da energia elétrica. Os geradores de energia elétrica são chamados de fontes de força eletromotriz que impõem uma diferença de potencial (ddp) aos seus terminais. As fontes podem ser contínuas (DC /Direct Current), quando a tensão gerada é constante no tempo, ou alternadas (AC/Alternating Current), quando a tensão é sinusoidal em função do tempo.

As fontes de energia tais como os geradores elétricos como dínamos, baterias químicas (pilhas e baterias), células solares ou até células a combustível são consideradas fontes de força eletromotriz. Para uma fonte de força eletromotriz ideal ( $\varepsilon$ ) (Figura 10.2a), a resistência interna é igual a zero, ou seja, significa que ela sempre fornecerá ao sistema uma diferença de potencial (d.d.p.) fixa com corrente ilimitada. Em uma fonte de força eletromotriz real, existe uma resistência interna ( $R_i$ ) que será o limitante de corrente elétrica, conseqüentemente surgirá uma queda da diferença de potencial entre os terminais da fonte.

Um exemplo típico do efeito da resistência interna presente nas fontes pode ser visualizado quando se utiliza máquina fotográfica com flash. Ao comparar a utilização de pilhas comuns e pilhas alcalinas em máquinas fotográficas, ao efetuar o carregamento do capacitor do flash para acionamento durante a fotografia, o circuito elétrico necessitará de uma corrente elétrica mais intensa. Será observado que a pilha comum irá demorar mais para acionar o dispositivo em relação ao tempo necessário para carregamento com a pilha alcalina, ou seja, a resistência interna da pilha comum é maior que a da pilha alcalina, mesmo que ambas as pilhas tem 1,5 V. Assim, ao efetuar diversos disparos

contínuos e em seguida retirar a pilha do compartimento da máquina fotográfica, será observado que a pilha comum aquecerá mais que a pilha alcalina, ou seja, uma parte da energia da pilha será dissipada em forma de calor por causa do efeito joule existente.

Assim, a fonte eletromotriz real é representada com uma resistência interna (Figura 10.2b).



a)

b)

Figura 10.2: Esquema de uma fonte ideal e uma fonte real.

A d.d.p. entre os terminais do gerador, mostrada na Figura 10.2b, é dada por:

$$V = \varepsilon - R_i I \quad 10.12$$

Ao ligar a fonte em um circuito elétrico, este age como uma resistência equivalente  $R$ , ou também chamada de resistência de carga (Figura 10.3) que passará a mesma corrente, sendo que a equação pode ser escrita por:

$$V = \varepsilon - R_i I = RI \quad 10.13$$

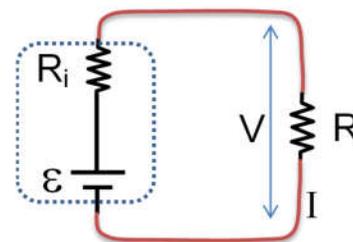


Figura 10.3: Esquema de uma fonte ideal e uma fonte real.

Assim, a corrente do circuito será expressa por:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_i + R} \quad 10.14$$

Ou seja, a corrente que fluirá no circuito dependerá da força eletromotriz da fonte, da resistência interna da fonte e da resistência do circuito. Assim, haverá uma potência consumida

pelo circuito e uma potência dissipada pela resistência interna da fonte, lembrando que a potência do circuito elétrico é:

$$P = VI = RI^2 \quad 10.15$$

Então a potência transferida (potência de carga) será:

$$P = VI = RI^2 = R \left( \frac{\varepsilon}{R_i + R} \right)^2 \quad 10.16$$

E a potência dissipada pela resistência interna da fonte é:

$$P_i = V_i I = R_i I^2 = R_i \left( \frac{\varepsilon}{R_i + R} \right)^2 \quad 10.17$$

Com a expressão da potência transferida, pode-se plotar o gráfico da potência dissipada em função da resistência externa (Figura 10.4a). É fácil de observar que para a resistência de carga, haverá um ponto de máximo para a potência dissipada por ela. Para determinar este ponto de máximo, deve-se derivar a potência em função da resistência externa e igualar a zero (Figura 10.4b).

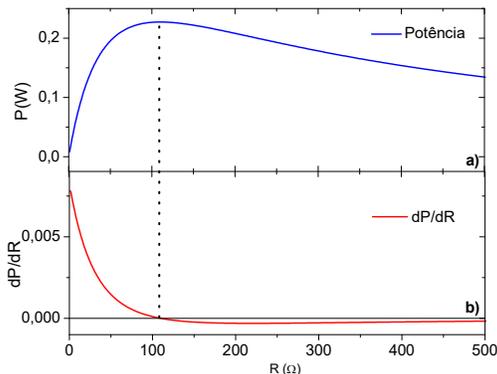


Figura 10.4: a) Potência em função da Resistência de carga (R) e b) derivada da função da potência em função de R.

Pode-se chamar o  $u(R) = R\varepsilon^2$  e  $v(R) = (R + R_i)^2$  e assim  $P(R) = \frac{u(R)}{v(R)}$ , aplicasse a diferencial (eq. 10.18):

$$\frac{dP}{dR} = \frac{u'v - v'u}{v^2} \quad 10.18$$

Obtêm assim a equação 10.19:

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dR} &= \frac{\varepsilon^2(R_i + R)^2 - \varepsilon^2 2R(R_i + R)}{(R_i + R)^4} = \quad 10.19 \\ &= \frac{\varepsilon^2}{(R_i + R)^2} - \frac{2R\varepsilon^2}{(R_i + R)^3} = 0 \end{aligned}$$

Para que a expressão seja igual a zero, é necessário que  $R = R_i$ , ou seja, significa que haverá máxima potência na resistência de carga quando a resistência interna da fonte for igual a ela.

## ROTEIRO

### OBJETIVO

Esta prática tem por objetivo medir a resistência interna de uma fonte usando métodos diferentes e estudar a transferência de potência entre gerador e carga.

### MATERIAL UTILIZADO

- Fonte de tensão contínua regulável – Mod. UFU 2002 com resistência interna alterada (adição de 100Ω de proteção).
- Um amperímetro.
- Um voltímetro.
- Potenciômetro de 0 a 500Ω/4W de filamento (substituição do reostato).
- Cabos para conexões.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

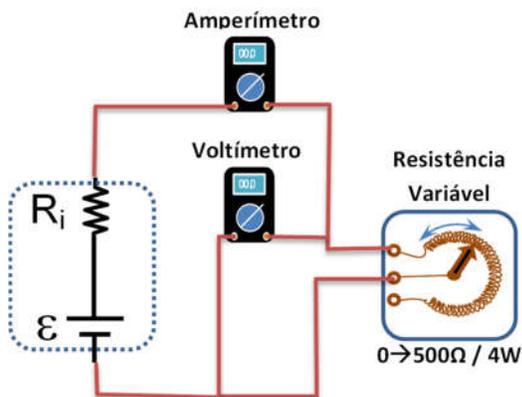
Não esqueça sempre antes de ligar a fonte, ligar o multímetro na escala adequada.

- Conecte o multímetro como voltímetro diretamente na fonte e utilize uma escala acima do potencial indicado na fonte. Caso a fonte tenha potencial máximo de 20 V, inicie a medida em 200 V e após ajuste a escala caso seja necessário.
- Regule a fonte em seu máximo (esta diferença de potencial sem adição de carga será diretamente a força eletromotriz desta fonte).

- Como procedimento de desligar, é necessário desligar inicialmente a fonte e somente após este procedimento, deve-se desligar o multímetro.
- Monte o circuito conforme ilustrado na *Figura 10.5*.
- Antes de ligar a fonte, ligue o amperímetro e o voltímetro usando a escala adequada, estimando a corrente que passará no circuito a partir do valor de uma resistência de  $100\Omega$  adicionada como proteção do equipamento.
- Comece a medir os valores de  $V$  e  $i$ , variando o potenciômetro.

Não se esqueça de colocar as barras de erros nos gráficos.

Comente os resultados obtidos.



*Figura 10.5: Esquema do circuito necessário para medir a resistência interna da fonte.*

Monte uma tabela com os valores medidos e os seus respectivos erros.

Faça um gráfico de  $V$  vs  $i$  sua respectiva regressão linear. O que significa o coeficiente angular desta reta? O que significa o ponto onde essa reta corta o eixo  $V$  (coeficiente linear).

Determine o valor da resistência interna e a força eletromotriz da fonte.

Faça um gráfico  $P$  vs  $R$ . Esta curva deve apresentar um máximo. A que valor de  $R$  corresponde aproximadamente este máximo. A partir desse gráfico determine o valor da resistência interna da fonte e de sua força eletromotriz.





## 11. BALANÇA MAGNÉTICA - LEI DE AMPÈRE E FORÇA DE LORENTZ

OBSERVAÇÃO: LIGUE O GAUSSÍMETRO NO INÍCIO DA AULA PARA QUE ESTABILIZE A TEMPERATURA DO SENSOR HALL ANTES DE EFETUAR A CALIBRAÇÃO.

### INTRODUÇÃO

Podemos perceber no cotidiano a existência de muitos equipamentos que utilizam do princípio da balança magnética; como por exemplo, a bobina de uma campainha de casa que gera a movimentação do embolo quando acionada; o controle de foco de uma lente do leitor de um CD, DVD e ou BluRay; o núcleo de um motor elétrico entre outros dispositivos. Todos estes dispositivos utilizam do princípio de geração de um campo magnético com a passagem de uma corrente elétrica por um fio (Eletroímã) e resulta no deslocamento do dispositivo devido a uma força magnética atuando sobre outro eletroímã ou um imã permanente.

Inicialmente, deve-se relembrar que quando existe um portador de carga elétrica ( $q$ ) que se desloca em um campo elétrico ( $\vec{E}$ ) e campo magnético  $\vec{B}$  com velocidade  $\vec{v}$ , existirá uma força atuando sobre a carga expressa por:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad 11.1$$

Esta expressão é conhecida como Força de Lorentz.

O caso em que o campo elétrico é ausente e somente resta o campo magnético, a equação 11.1, pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B} \quad 11.2$$

Como visto na pratica de resistividade, sabe-se que ao passar uma corrente elétrica em um fio, as cargas elétricas no interior do fio condutor se deslocam com uma velocidade de migração ( $v_d$ ), e que a corrente que flui pelo fio é expressa pela quantidade de carga transportada por unidade

de tempo (eq. 11.3), como pode ser visto na Figura 11.1.

$$i = \frac{dq}{dt} \quad 11.3$$

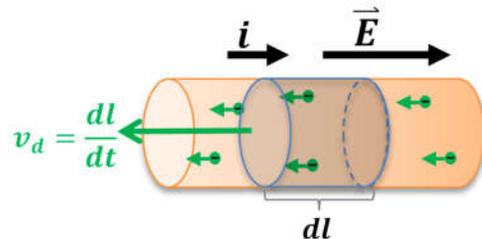


Figura 11.1: Transporte de cargas com velocidade de migração em um fio metálico.

Se adicionar o fio em um campo magnético uniforme, as cargas sofrerão a ação de uma força magnética descrita pela força de Lorentz, resultando em uma força  $\vec{F}_m$  atuando em um seguimento do fio de comprimento  $l$  (Figura 11.2).

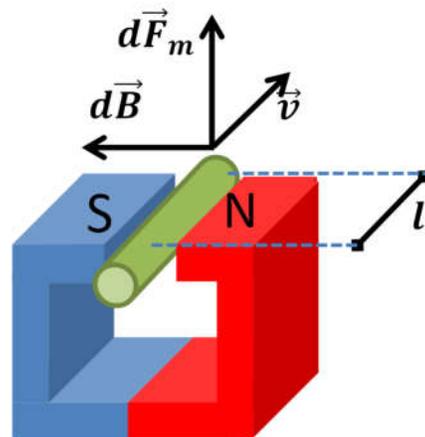


Figura 11.2: Força magnética atuando sobre um fio de comprimento  $l$  que transporta uma corrente  $i$ .

Desta maneira, para um seguimento infinitesimal do fio, a força magnética é dada por:

$$\begin{aligned} d\vec{F}_m &= dq\vec{v} \times \vec{B} = i dt \vec{v} \times \vec{B} \\ &= i dt \frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B} \\ &= i d\vec{l} \times \vec{B} \end{aligned} \quad 11.4$$

Então, a força magnética total para um seguimento de fio reto de comprimento  $l$  imerso em um campo de indução magnética uniforme  $\vec{B}$  e com corrente  $i$  é:

$$\vec{F}_m = i \vec{l} \times \vec{B} \quad 11.5$$

Além da força atuando sobre um fio que passa uma corrente em um campo magnético há ainda a geração de campos magnéticos pelos fios que passa uma corrente elétrica. Este efeito foi observado por Hans Christian Ørsted (físico dinamarquês).

Ørsted observou que ao passar uma corrente em um pedaço de fio grande fixado verticalmente e posicionando uma bússola com seu eixo de rotação paralelo a este fio (com o plano da indicação da bússola perpendicular ao fio), observou que a bússola sofria uma deflexão, cujo sentido tangencia a circunferência perpendicular concêntrica com o fio Figura 11.3.

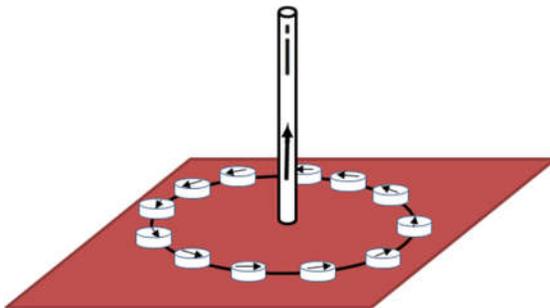


Figura 11.3: Experimento de Hans Christian Ørsted.

Ørsted foi o primeiro pesquisador a relacionar a eletricidade com o magnetismo.

Para o experimento de Ørsted, é possível verificar o sentido convencional do campo magnético utilizando a regra da mão direita, onde o polegar irá apontar a direção da corrente e os demais dedos apontam o sentido do campo magnético.

A partir das investigações realizadas por Ørsted, Jean-Baptiste Bot e Félix Savart fizeram uma expressão para o campo magnético em um ponto no espaço gerado por um seguimento de fio que passa uma corrente  $i$ . Assim, a

contribuição infinitesimal de um seguimento de fio que passa uma corrente  $i$ , gera o campo magnético  $d\vec{B}$  em um ponto  $P$  com uma distância  $r$  (Figura 11.4) do fio. O valor do campo magnético pode ser expressa na equação 11.6.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i d\vec{s} \times \hat{r}}{4\pi r^2} \quad 11.6$$

Esta equação é conhecida como a Lei de Biot-Savart.

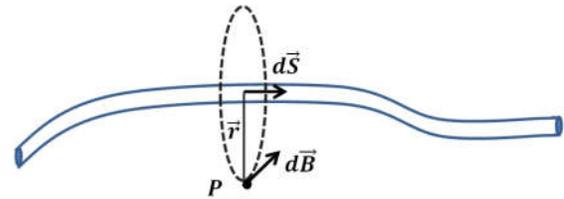


Figura 11.4: Campo magnético gerado por um seguimento de fio no ponto  $P$ .

Sendo que  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética no vácuo ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T.m}{A}$ ).

No caso de um seguimento de fio comprido e reto com simetria idêntico ao descrito na Figura 11.5, a partir da equação de Biot-Savart obtém que o valor do campo magnético em um ponto  $P$  será expresso por:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad 11.7$$

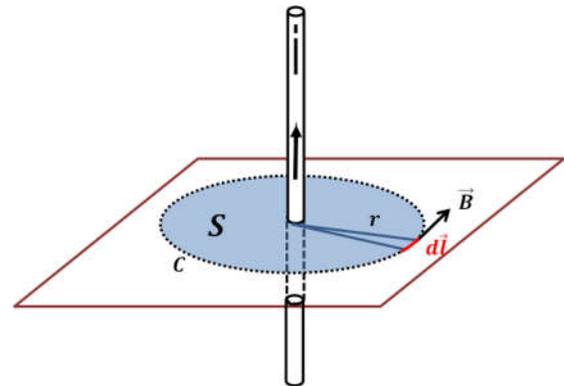


Figura 11.5: Campo magnético gerado por um seguimento de fio em um ponto  $P$  e o perímetro da circunferência de raio  $r$  e de seguimento de arco  $d\vec{l}$ .

Para o campo magnético encontrado a uma distância  $r$  do fio (eq. 11.7), pode-se integrar o campo ao longo do caminho circular de raio  $r$  (curva  $C$ ), que é formado pelo campo magnético ao redor do fio, o que resulta em:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C \frac{\mu_0 i}{2\pi r} d\vec{l} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \oint_C d\vec{l} \quad 11.8$$

$$= \frac{\mu_0 i}{2\pi r} 2\pi r = \mu_0 i$$

Reescrevendo a equação tem-se:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i \quad 11.9$$

Essa equação é conhecida como lei de Ampère, que diz que a soma de todas as componentes tangenciais do campo magnético ao redor de um circuito fechado  $C$  é igual à soma de todas as correntes que cruza a superfície  $S$  descrita por este circuito.

Quando se utiliza um material com propriedades ferromagnéticas no interior da bobina, deve-se substituir a permeabilidade magnética do vácuo pela permeabilidade magnética do material ( $\mu$ ) (Tabela 11.6). Os valores da permeabilidade magnética dos materiais podem ser encontrados em tabelas na forma de permeabilidade magnética relativa, que é a razão entre a permeabilidade magnética do material e a do vácuo. Uma das características de um núcleo de material ferromagnético em um percurso fechado é a propriedade de manter as linhas de campo magnético em seu interior, considerando que não atingiu a saturação magnética do material.

Tabela 11.6: valores de permeabilidade magnética de ligas e materiais (Elmen, 1936).

Material	Permeabilidade magnética inicial do material ( $\mu$ ) [ $T.m A^{-1}$ ]
Ferro	250
78,5 Permalloy (Ni:Fe/78,5:21,5)	10.000
3,8-78,5 Cr-Permalloy (Ni:Fe:Cr/78,5:17,7:3,8)	12.000

3,8-78,5 Mo-Permalloy (Ni:Fe:Mo/78,5:17,7:3,8)	20.000
Permedur (Fe:Co/50:50)	700

Para uma bobina com  $N$  espiras com o núcleo retangular de um material com permeabilidade magnética, a integral do caminho fechado, haverá um comprimento médio do caminho como mostra a Figura 11.6.

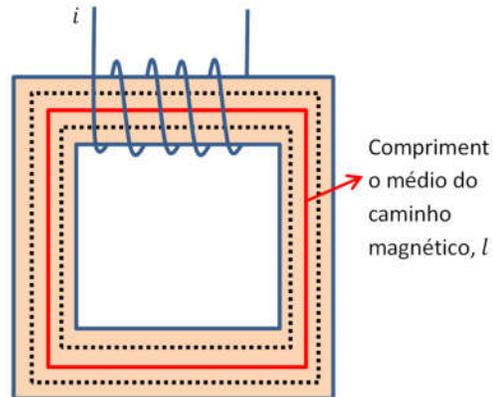


Figura 11.6: Descrição detalhada da balança analógica.

Assim, pela lei de Ampère para a bobina de  $N$  espiras em um núcleo retangular será expresso por:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl = \mu i N \quad 11.10$$

Isolando o campo magnético, obtém:

$$B = \frac{\mu i N}{l} \quad 11.11$$

Para uma bobina de comprimento  $l$  será:

$$B = \mu i n = \frac{\mu i N}{l} \quad 11.12$$

Sendo  $n$  a densidade de número de espiras por comprimento da bobina.

$$B = \frac{\mu i N}{2\pi r} = \frac{\mu i N}{l_r} \quad 11.13$$

Sendo que  $l_r$  é o percurso do campo magnético no interior do toroide.

## EXPLICAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DA BALANÇA ANALÓGICA.

A balança analógica LGN 310 contém um braço móvel que deverá ser equilibrado com o peso adicionado na balança. Para isto, a balança contém a indicação de posição de equilíbrio, um braço móvel com um contrapeso que pode ser posicionado em 0g, 10, 20g, 30g..., uma escala em nônio que permite medir a massa de 0 até 10g com precisão de 0,01g (Figura 11.7).

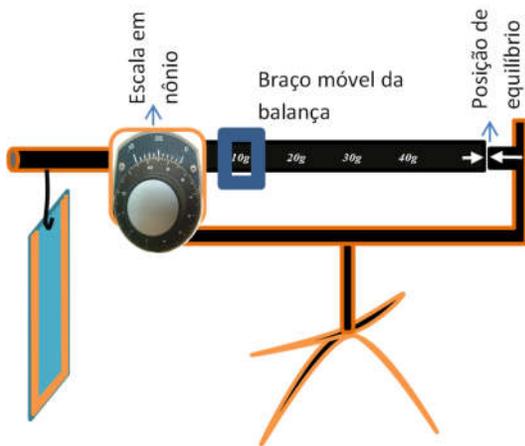
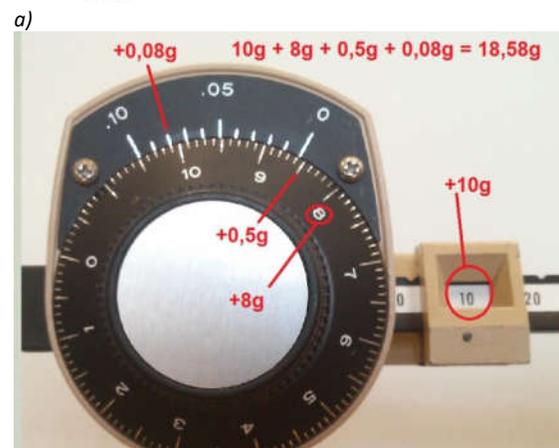
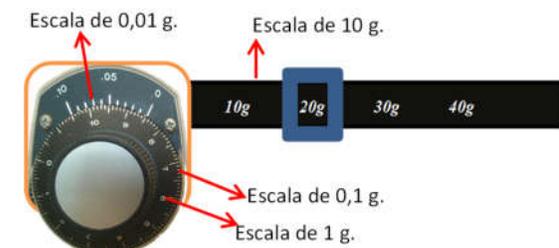


Figura 11.7: Descrição detalhada da balança analógica.

Ao adicionar uma carga na balança, a escala em nônio deve ser girada até que possibilite atingir o equilíbrio. Caso a balança não se desloque para o equilíbrio, deve-se retornar a escala em nônio e deslocar o contrapeso do braço móvel para uma nova posição (exemplo: passar de 10g para a posição de 20g). Retorne o ajuste na a escala em nônio até que atinja o equilíbrio indicado no braço móvel.

Pode observar na Figura 11.8a, que para efetuar a leitura da balança é realizada a soma os valores do braço móvel (escala de 10g), com o valor da escala do tambor central (escala em 1g), com o valor dos décimos da escala do tambor (escala 0,1g) e por fim, o valor de centésimos de grama da escala em nônio (idêntico à leitura do paquímetro) (escala de 0,01g).

Um exemplo detalhado pode ser visto na Figura 11.8b após obter o equilíbrio da balança. Observa-se que o valor no braço móvel está marcando 10g, e no tambor está marcando 8g, antes que encontre o zero da escala em nônio. Assim, soma-se (10+8)g. Para a escala dos décimos, verifica-se qual coincide com o zero na escala do nônio (para este exemplo o valor foi de 0,5g). E por fim, qual risco da escala do nônio que coincide com o risco das escalas do tambor que será a leitura dos centésimos de grama (para o exemplo utilizado o valor é de 0,08g). Somando todos os valores, a massa medida é de 18,58g.



b)

Figura 11.8: Leitura na balança analógica.

---

---

## ROTEIRO 01: Força de Lorentz (balança magnética)

### OBJETIVOS

- Verificação da força de Lorentz aplicada em cargas transportada em um seguimento de fio.
- Aplicação da lei de Ampère utilizando um fator empírico (**opcional**).

### EQUIPAMENTOS

- Balança com precisão de 0,01 g (balança analógica LGN 310);
- Suporte para a balança analítica;
- Suporte para fios suspensos;
- Sondas de comprimento  $l$  diversificado (Circuitos impressos com circuitos retangulares de comprimentos do seguimento do condutor da base variados ( $l_1 = 12,5$  mm,  $l_2 = 25$  mm,  $l_3 = 50$  mm e  $l_4 = 100$  mm));
- Fonte CC com ajuste de corrente e tensão INSTRUTHERM FA-3005 / 5A ;
- Imã permanente em formato de “U”.
- Cabeças largas de ferro doce para o Imã em formato de “U”;
- Fios de ligação;
- 2 Fios maleáveis com conectores;
- 1 Gaussímetro digital;
- 1 suporte para a sonda do gaussímetro;
- 1 Trena;

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### Montagem do aparato experimental

Ligue inicialmente o gaussímetro para que estabilize a temperatura até poder efetuar a medida do campo magnético.

Para montar o esquema mostrado na Figura 11.9, coloque as cabeças de ferro doce nas extremidades do imã permanente em formato de “U”. Fixe uma das sondas na balança analógica analógica, de preferência a com maior comprimento  $L$ . Posicione a balança de maneira que a trilha de cobre da parte inferior da sonda fique no centro entre as cabeças de ferro doce do imã. Prenda os fios maleáveis na sonda e os conecte ao suporte, tomando o cuidado para não cruza-los e que permaneçam completamente suspensos sem tocar na haste metálica do suporte. Por fim, conecte os terminais da fonte com os terminais do suporte do fio maleável.

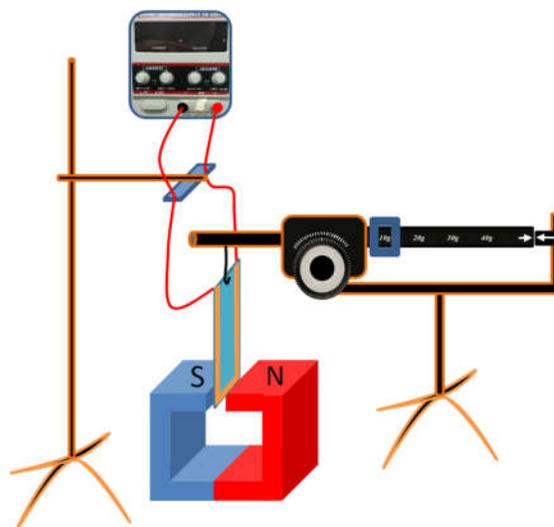


Figura 11.9: Esquema de montagem da balança magnética.

Com a estabilização da temperatura do gaussímetro (~15min.), posicione a sonda longe do imã permanente e com a região sensível perpendicular ao campo magnético terrestre. Zere o valor do campo medido pelo instrumento.

Após a calibração do gaussímetro, meça o campo magnético do imã permanente na região em que a sonda se encontra.

**ATENÇÃO:** Antes de ligar a fonte, verifique se os botões de regulagem de tensão e corrente estejam posicionados no mínimo (sentido anti-horário).

1. Com a sonda de comprimento  $l_n$  preza na balança magnética, mude os valores do braço móvel e da escala de nônio até obter o equilíbrio da mesma (*Figura 11.7*). Anote o valor da massa inicial.
2. Gire lentamente o botão do aumento da tensão da fonte mantendo o botão da corrente em zero. Note que este procedimento não deverá variar nem a tensão e nem a corrente elétrica, mantendo os valores em zero.
3. Ajuste lentamente a corrente desejada e efetue a medida da massa com a balança em seu novo ponto de equilíbrio (**ATENÇÃO: EVITE ULTRAPASSAR 4A DE CORRENTE!**).
4. Monte uma tabela da corrente elétrica utilizada e da variação da massa obtida para cada corrente e calcule a força magnética a partir da força resultante exercida sobre a balança (aceleração da gravidade em Uberlândia é de  $9,785 \text{ m/s}^2$ ).
5. Repita o procedimento 1 até 4 para as sondas com outros comprimentos.
6. Retorne a corrente em zero e coloque a balança em equilíbrio. Ligue novamente a corrente elétrica e observe a direção do movimento do braço.
7. Retorne a corrente em zero, e inverta os fios na saída da fonte.
8. Suba novamente a corrente e verifique o sentido em que o braço da balança será deslocado.
9. Agora inverta os lados do imã permanente e observe o deslocamento do braço da balança. Discuta a relação da força magnética com o sentido da corrente elétrica propagando em um fio imerso em um campo magnético.

Faça um gráfico da força em função da corrente elétrica para cada comprimento de sonda utilizada e determine os coeficientes angulares dos gráficos obtidos. O que significa este coeficiente angular?

A partir dos valores do coeficiente angulares encontrados, determine o campo magnético aplicado pela espira e compare com os resultados obtidos pelo gaussímetro.

### **ANÁLISE EXPERIMENTAL**

Explique o efeito observado entre os itens 6 e 9.

---

---

## ROTEIRO 02: APLICAÇÃO DA LEI DE AMPÈRE UTILIZANDO UM FATOR EMPÍRICO

### OBJETIVOS

- Aplicação da lei de Ampère utilizando um fator empírico.

### EQUIPAMENTOS

- Fonte CC com ajuste de corrente e tensão INSTRUTHERM FA-3005 / 5A ;
- Duas espiras de 900 voltas  $R= 6 \Omega$  ou duas espiras de 1200 voltas com  $12\Omega$  de resistência, ou outras espiras que tenha equivalência de acima de 700 espiras em cada lado, como por exemplo, quatro espiras de 600 voltas de  $6 \Omega$ , sendo duas de cada lado.
- Núcleos de ferro para o kit didático de transformador.
- Cabeças largas de ferro para o núcleo de transformador.
- Fios de ligação.
- 1 Gaussímetro digital.
- 1 suporte para a sonda do gaussímetro.
- 1 Trena.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### Montagem do aparato experimental

Ligue inicialmente o gaussímetro para que estabilize a temperatura antes de efetuar qualquer medida e a calibração do equipamento. Após a estabilização da temperatura do gaussímetro (~15min.), posicione a sonda longe de qualquer ímã ou metal e com a região sensível perpendicular ao campo magnético terrestre. Ajuste o botão de calibração até zerar o valor do campo medido pelo instrumento.

**ATENÇÃO:** Antes de ligar a fonte, verifique se os botões de regulagem de tensão e corrente estejam posicionados no mínimo (sentido anti-horário).

As bobinas de N espiras devem ser ligadas em série com a fonte, tomando o cuidado que a segunda bobina tenha os fios conectados de forma que os campos magnéticos gerados se somam com o campo da primeira bobina (como mostra a Figura 11.9).

**OBSERVAÇÃO:** Não supere a corrente máxima da bobina indicada pelo fabricante.

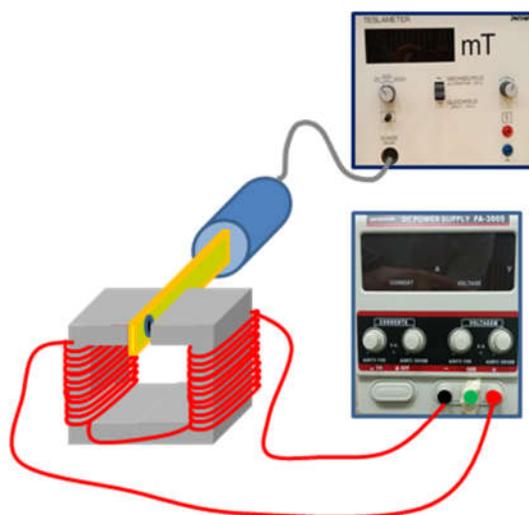


Figura 11.10: Esquema de montagem do experimento da lei de Ampère.

Gire lentamente o botão do aumento da tensão da fonte mantendo o botão da corrente em zero. Note que este procedimento não deverá variar nem a tensão e nem a corrente elétrica da fonte, mantendo os valores em zero.

Inicie a variação da corrente elétrica medindo-se o campo entre as cabeças de ferro do eletroímã.

Monte uma tabela da corrente elétrica e do campo magnético medido.

### **ANÁLISE EXPERIMENTAL**

É fácil observar que as equações (11.11, 11.12 e 11.13) tem dependência da permeabilidade dos materiais envolvidos e do fator geométrico em que as linhas magnéticas estejam. Neste caso, o núcleo terá uma interrupção que passará de uma permeabilidade magnética do metal para a do ar. Além disto, a secção transversal da interrupção do núcleo tem área diferente do restante do núcleo, ocorrendo uma redistribuição de linha de campo magnético nesta abertura. Ainda deve-se levar em conta abertura das linhas de campo no espaço entre as cabeças do núcleo.

Com os fatores geométricos experimentais, o sistema não será mais simétrico, tornando mais difícil aplicar a Lei de Ampère no sistema. Porém a lei de Ampère é válida, mas se torna difícil de ser calculada.

Pode-se fazer uma aproximação da linha de campo central como no circuito de um núcleo inteiro e uniforme, desta maneira, pode-se determinar empiricamente o valor de uma constante que levará em conta dos fatores geométricos e as permeabilidades magnéticas para o núcleo utilizado. Assim, para a equação 11.11, pode ser reescrita para estas condições em função desta constante de proporcionalidade  $k$ , que levará em conta dos fatores geométricos e permeabilidade dos materiais (Equação 11.14).

$$B = kiN \qquad 11.14$$

Portanto, faça um gráfico do campo magnético  $B$  em função de  $iN$  e obtenha a constante  $k$ .

No caso em que possa alterar o número de espiras, o que esperaria encontrar de resultado?

Esta constante é aplicável se alterar a geometria ou os materiais do núcleo?

Faça a comparação do valor obtido experimentalmente com o valor teórico calculado a partir da equação 11.13.

## 12. CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR BOBINAS EM SEU EIXO DE SIMETRIA

OBSERVAÇÃO: LIGUE O GAUSSÍMETRO NO INÍCIO DA AULA PARA QUE ESTABILIZE A TEMPERATURA DO SENSOR HALL ANTES DE EFETUAR A CALIBRAÇÃO DO ZERO.

### INTRODUÇÃO

O campo magnético gerado por bobinas tem aplicações muito comuns em nosso cotidiano. São aplicadas em eletrônica básica como transformadores até em equipamentos sofisticados como tomógrafo por ressonância magnética.

Para cada utilização das bobinas, deve-se primeiramente determinar o sentido e a intensidade do campo magnético gerado pela mesma.

Assim, lembrando que Jean-Baptiste Biot e Félix Savart fizeram uma expressão para determinação do campo magnético em um ponto P no espaço, *possibilita* determinar as propriedades das bobinas de interesse.

Para o fio de comprimento  $L$  e que passa a corrente  $i$ , o ponto P com distância  $r$  do fio haverá uma contribuição infinitesimal do campo magnético  $d\vec{B}$  gerado por um segmento de fio infinitesimal  $d\vec{l}$  do fio (Figura 12.1). O valor do campo magnético é expressa pela equação 12.1.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi r^2} \quad 12.1$$

Esta equação é conhecida como a Lei de Biot-Savart.

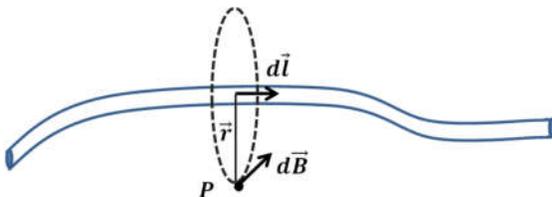


Figura 12.1: Campo magnético gerado por um segmento de fio no ponto P.

Sendo que  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética no vácuo ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ ).

Entre os variados tipos e formas de bobinas utilizadas no cotidiano, as bobinas circulares são as mais comuns. Desta forma, pode-se efetuar um estudo mais aprofundado neste tipo de espira.

### CALCULO DO CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UMA BOBINA CIRCULAR DE N ESPIRAS.

Considerando uma bobina de raio R, com seu eixo de simetria no eixo  $x$  e passando uma corrente  $i$  (Figura 12.2). O campo em seu eixo de simetria é facilmente obtido aplicado a Lei de Biot-Savart.

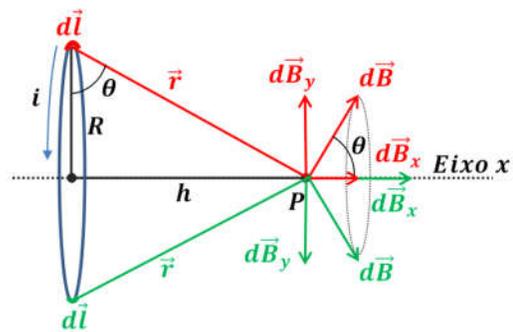


Figura 12.2: Campo magnético o ponto P gerado por um seguimento de uma bobina circular.

Pode-se observar que o campo  $d\vec{B}$  é a soma da componente do campo paralelo ao eixo  $x$  com a componente perpendicular ao eixo de simetria (eq. 12.2).

$$d\vec{B} = d\vec{B}_{Perpendicular} + d\vec{B}_{Paralelo} \quad 12.2$$

Também é simples observar que os campos magnéticos resultantes nos eixos cartesianos  $B_y$  e  $B_z$  serão zero no ponto P em qualquer lugar sobre o eixo de simetria, restando assim, somente a resultante da componente paralelo ao eixo de simetria  $B_x$ , sendo que:

$$dB_x = dB \cdot \cos\theta \quad 12.3$$

Como o campo magnético  $d\vec{B}$  é perpendicular a  $\vec{r}$ , pode-se tomar a expressão da Lei de Biot-Savart (eq. 12.1) como:

$$dB = \frac{\mu_0 i dl}{4\pi r^2} \quad 12.4$$

Observando que  $r = (R^2 + h^2)^{1/2}$  e  $\cos\theta = \frac{R}{r} = \frac{R}{(R^2 + h^2)^{1/2}}$ , pode-se reescrever a componente  $dB_x$  como:

$$dB_x = dB \cdot \cos\theta = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{R}{(R^2 + h^2)^{3/2}} dl \quad 12.5$$

Assim, integrando em toda a curva C da espira, obtém:

$$B_x = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{R}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \int_C dl = \quad 12.6$$

$$\frac{\mu_0 i}{2} \frac{R^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

No centro da espira ( $h = 0$ ), a expressão se reduz a:

$$B_x = \frac{\mu_0 i}{2 R} \quad 12.7$$

E para o caso em que a bobina possuir N espiras, a expressão será:

$$B_x = \frac{\mu_0 Ni}{2} \frac{R^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \quad 12.8$$

### BOBINA DE HELMHOLTZ

A bobina de Helmholtz é o conjunto de duas bobinas circulares idênticas de raio R, mesmo número de espiras, colocadas paralelamente uma com a outra em seu eixo de simetria, separadas pela distância igual ao seu raio e com o fluxo de corrente elétrica no mesmo sentido (Figura 12.3), desenvolvida pelo físico Hermann von Helmholtz. Uma das características mais importante deste conjunto de bobinas é a possibilidade de obter uma região central entre as bobinas com campo aproximadamente constante. Assim, devido a este campo uniforme

em torno da região central entre as bobinas, torna-se possível realizar experimentos com certo diâmetro, considerando o seu campo uniforme.

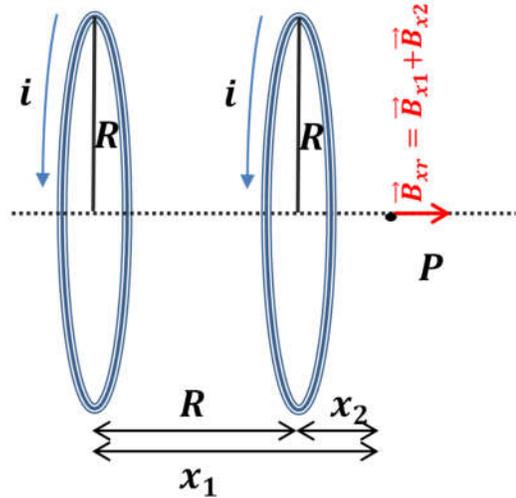


Figura 12.3: Esquema simplificado da bobina de Helmholtz.

O campo em seu eixo de simetria pode ser determinado com o teorema da superposição utilizando a equação 12.8.

No caso para o campo no centro da bobina de Helmholtz, o campo é:

$$B_x = \frac{\mu_0 i N R^2}{\left(R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2\right)^{3/2}} \quad 12.9$$

### BOBINA DE anti-HELMHOLTZ

A bobina de anti-Helmholtz é o conjunto de duas bobinas circulares idênticas de raio R, mesmo número de espiras, colocadas paralelamente uma com a outra em seu eixo de simetria, separadas pela distância igual ao seu raio, diferenciando da bobina de Helmholtz por ter apenas o fluxo de corrente elétrica em sentidos opostos, obtendo uma região central com o campo magnético variando linearmente. Assim, torna-se uma bobina com característica peculiar que possibilita realizar experimentos que necessitem de um campo com gradiente constante.

---

---

## ROTEIRO

### OBJETIVOS

- Estudar o comportamento do campo magnético gerado por espiras em seus eixos de simetria.
- Estudar e verificar da lei de Biot-Savart.
- Mapear o campo magnético gerado por bobinas de Helmholtz em seu eixo de simetria.

### EQUIPAMENTOS

- Fonte CC com ajuste de corrente e tensão INSTRUTHERM FA-3005 / 5A ;
- Um par de Bobinas de diâmetro e número de espiras idênticas (bobina de Helmholtz);
- Fios de ligação;
- 1 Gaussímetro digital;
- Ponta de prova por efeito Hall axial;
- 1 suporte para a sonda do gaussímetro (não pode ser ferromagnético);
- 1 régua e 60 cm.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### Ajuste do Gaussímetro

**OBSERVAÇÃO:** ligue o gaussímetro no início da aula para que estabilize a temperatura do sensor hall antes de efetuar a calibração do zero.

Coloque a sonda Hall em uma região da bancada que não haja fontes de campo magnético.

Direcione a sonda de forma a ficar perpendicular ao campo magnético terrestre.

Posicione a chave seletora de escala do gaussímetro no seu valor mais sensível.

Coloque o botão de ajuste fino na posição central.

Utilize o botão de ajuste grosseiro para que o gaussímetro marque o campo próximo de zero.

Zere o gaussímetro utilizando o ajuste fino.

Com o auxílio de apenas uma bobina passando uma corrente elétrica de 2 A, posicione a ponta do sensor Hall na região central da bobina observando o valor medido. Gire a bobina em 180° de forma que a ponta de o sensor Hall permaneça na mesma posição em relação ao centro da espira e compare com o valor inicial. Caso o valor obtido após o giro da bobina seja diferente do obtido antes da rotação, utilize o ajuste fino para que os valores com a inversão do campo seja o mesmo.

Atenção: este procedimento não é calibração da sonda Hall e sim, somente o ajuste do zero do gaussímetro).

#### Utilização da Fonte Simétrica

Será utilizado apenas um lado da fonte simétrica.

Por motivos da resistência elétrica da bobina ser pequena, a fonte estará praticamente em curto circuito. Desta forma a fonte deverá ser ligada com os ajustes de corrente e tensão em seu mínimo.

Suba primeiramente a tensão da fonte.

Após, suba lentamente a corrente até que atinja o valor desejado.

**ATENÇÃO: 1)** Por utilizar um valor alto de corrente elétrica e por tempo prolongado, a fonte irá auto-ligar a refrigeração. Quando finalizar o experimento, reduza o potencial e a corrente para zero sem desligar a fonte. Cheque se a refrigeração está ligada ou desligada. Se a refrigeração estiver ligada, espere que o equipamento se refrigere adequadamente e desligue-o somente após o desligamento da refrigeração.

#### **Mapeando do campo de uma única espira**

Marque um referencial no eixo de simetria da bobina como demonstrado na *Figura 12.4*.

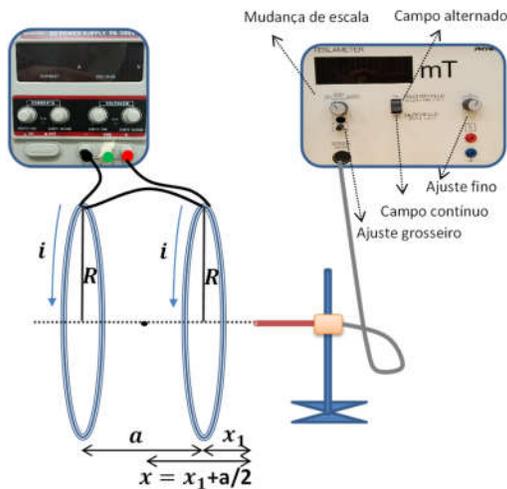


Figura 12.4: Esquema simplificado da montagem experimental.

Ligue a fonte de tensão e corrente em uma única bobina e aplique uma corrente de 2,0 A.

Meça o campo magnético em função da distância do centro da espira, iniciando em um lado da espira e finalizando do outro lado.

Observe o sentido do campo magnético formando em função do sentido da corrente elétrica aplicada.

Faça um gráfico do campo magnético em função da distância do centro da bobina.

Calcule teoricamente o campo magnético no centro da espira e a 20 cm e compare com o valor experimental.

### Mapeando do campo de duas espiras

Coloque as duas bobinas alinhadas e paralelas entre si, com uma distância R entre as mesmas.

Marque um referencial no eixo de simetria das bobinas. Ligue a fonte com as bobinas em série de forma que a corrente aplicada esteja percorrendo o mesmo sentido. Aplique uma corrente de 2,0 A.

Meça o campo magnético em função da distanciado centro entre as espira como mostra na *Figura 12.4*.

Repita o procedimento das duas espiras com a distância entre elas de 2R.

Repita o procedimento com a distância de R entre as espiras, porém com o sentido oposto entre as correntes elétricas aplicadas nas bobinas.

Faça um gráfico do campo magnético em função da distância do centro de referência das bobinas dos três procedimentos realizados.

Calcule o campo no centro das espiras e compare com o resultado obtido.

Compare os resultados obtidos entre as três conformações das duas espiras.

### ANÁLISE EXPERIMENTAL

#### Aspectos teóricos a serem abordados no relatório.

Sempre relacione os valores obtidos experimentalmente com os valores obtidos teoricamente.

#### Aspectos práticos a serem descritos no relatório

Esquematize e descreva o circuito utilizado no experimento.

Descreva os procedimentos experimentais efetuados nas coletas dos dados, os cuidados a serem tomados.

Explique os procedimentos e cálculos a serem efetuados no relatório.

Monte os três gráficos obtido para as duas espiras em uma única figura. Não se esqueça de apresentar os erros de cada medida e de identificar a curva obtida com o experimento realizado.

### 13. MEDIDA DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

#### INTRODUÇÃO

O estudo do campo magnético da Terra sempre foi motivado pelo seu interesse prático na navegação, comunicação, prospecção mineral, etc. Do ponto de vista magnético, a Terra se comporta como se tivesse um grande ímã, na forma de barra, colocado em seu interior tendo polo sul magnético apontando aproximadamente para o norte geográfico (Figura 13.1).

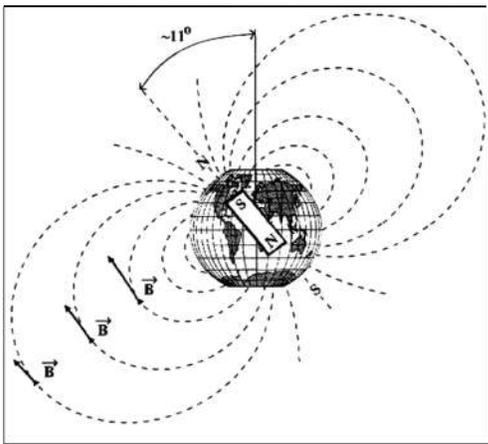


Figura 13.1: Ilustração das linhas de indução magnética  $B$  da terra.

O campo magnético da Terra tem, em geral, certa inclinação com relação à superfície da Terra. Assim para se ter uma informação completa do campo em determinado local, deve-se medir sua componente horizontal e vertical e então determinar vetorialmente o campo resultante. O módulo deste campo magnético varia entre 20 a 60  $\mu\text{T}$  ( $10^{-6}\text{T}$ ). Devido às condições geológicas específicas de determinadas regiões podem ocorrer anomalias com o valor do campo magnético esperado para aquele local.

Neste experimento será medida a componente horizontal do campo magnético sobre a mesa no laboratório. A principal contribuição para este campo será o campo da terra. Entretanto, a proximidade de materiais magnéticos (objetos

de ferro no geral), próximos ao local da medida, pode influir no valor total do campo medido.

Uma forma simples e razoavelmente precisa de se medir a componente horizontal do campo da Terra é utilizando uma bússola e um campo magnético conhecido. Neste experimento, o campo conhecido será aquele produzido no centro de uma bobina de Helmholtz, percorrida por uma corrente  $I$ .

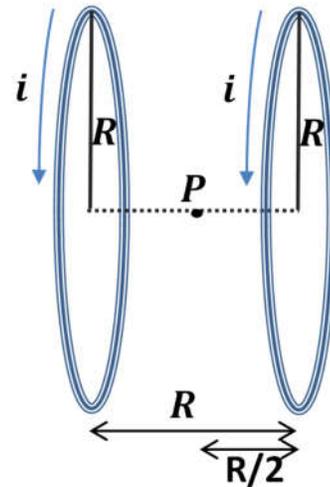


Figura 13.2: Esquema mostrando um arranjo conhecido como bobina de Helmholtz.

Na situação mostrada acima, a corrente  $I$  passando pelas bobinas cria um campo magnético no ponto  $P$ , paralelo ao eixo das bobinas para a direita e de intensidade dada por:

$$B = (\mu_0 N R^2) \frac{i}{\left(R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad 13.1$$

$\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{Tm/A}$  é a permeabilidade magnética do vácuo ( $\sim \mu_0$ ). Assim, estando na superfície da Terra, o campo magnético resultante no ponto  $P$  será a soma vetorial do campo da bobina com o campo da Terra (campo local) ali existente. Se o eixo da bobina com o campo da Terra for orientado na direção Leste-Oeste, seu campo fará um ângulo de  $90^\circ$  com o campo da Terra (direção norte-sul) sendo o

campo resultante dado como ilustra a Figura 13.3 a seguir.

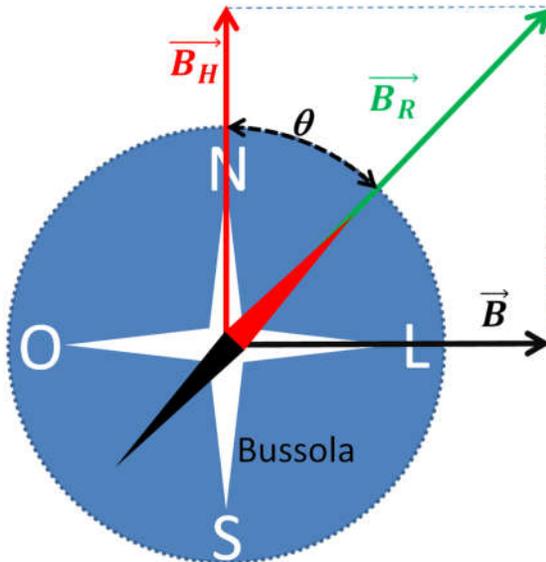


Figura 13.3: O campo magnético resultante ( $B_R$ ) e suas componentes: a componente horizontal do campo magnético ( $B_H$ ) e o campo magnético criado pela bobina de Helmholtz ( $B$ ).

Se conhecermos o campo produzido pelas bobinas e o ângulo  $\theta$  entre o campo da Terra e o campo resultante, podemos calcular o campo da Terra através da relação:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{B}{B_H} \quad 13.2$$

A expressão que nos permite calcular o campo magnético produzido no centro das bobinas pode ser escrita como

$$B = CI \quad 13.3$$

Sendo 
$$C = \frac{\mu_0 NR^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} =$$

Substituindo a equação 13.3 em 13.2 tem-se:

$$I = \left( \frac{B_H}{C} \right) \operatorname{tg} \theta \quad 13.4$$

## ROTEIRO

### OBJETIVO

- Determinar o valor da componente horizontal do campo magnético local.

### EQUIPAMENTOS

- 1 bússola;
- 1 bobina dupla (Helmholtz);
- 1 amperímetro (até 200mA);
- 1 resistor de proteção 100 $\Omega$  (10w);
- 1 suporte para bússola;
- 4 fios.
- Fonte Simétrica (Limite de 180 mA - com bloqueio de ajuste de corrente);

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente meça o valor médio de R e a das bobinas e calcule o valor da constante C.

Passe a bússola sobre toda a região da mesa e posicione a bobina numa região onde você considera haver a menor influência possível de materiais magnéticos locais.

Coloque a bússola na posição central das bobinas (ponto P). As bobinas devem ser orientadas de modo que seu eixo (direção a normal ao seu plano) aponte na direção Leste-Oeste.

Monte o circuito como mostra a Figura 13.4 (obs.: o resistor de 100  $\Omega$  é apenas para proteção do circuito e limitação de corrente).

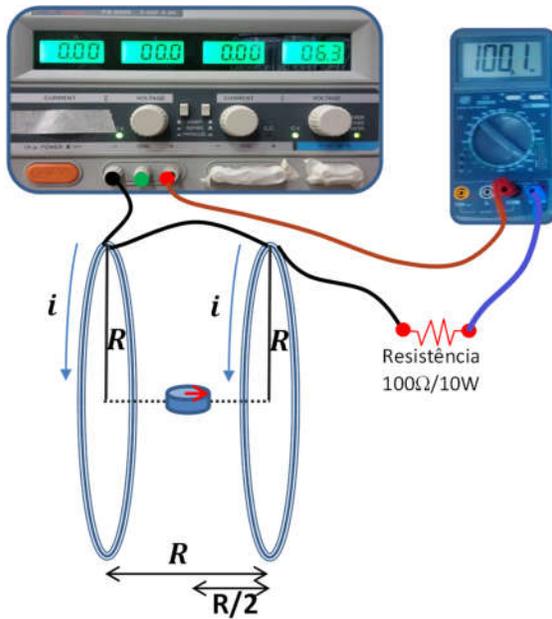


Figura 13. 4: Circuito para aplicação de corrente na bobina de Helmholtz

Ajuste a tensão da fonte para o mínimo possível. Varie a tensão na fonte de forma a obter uma série de valores de corrente  $I$  com o respectivo desvio  $\theta$  da agulha da bússola. Atenção: não ultrapasse 180 mA de corrente.

#### ANÁLISE EXPERIMENTAL

A partir de um gráfico  $I \times \text{tg } \theta$  obtenha o valor do campo magnético local no laboratório com o seu respectivo erro.

A descrição completa da tabela aqui mostrada pode ser encontrada no site do [NGDC - National Geophysical Data Center](http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/). (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>)

### Declinação Magnética

Localidade: UBERLANDIA - MG

MODELO: IGRF-11

GEODESIC TYPE

Latitude: 18° 55' 9" SUL

Longitude: 48° 16' 37" OESTE

Data	Declinação (+ E  - W)	Inclinação (+ D  - U)	Intensidade Horizontal	Componente Norte (+ N  - S)	Componente leste (+ E  - W)	Componente Vertical (+ D  - U)	Campo magnético Total
2016-08-05	-21.0795°	-30.4651°	19,912.0 nT	18,579.5 nT	-7,161.6 nT	-11,712.7 nT	23,101.4 nT
2016-08-06	-21.0798°	-30.4660°	19,911.8 nT	18,579.3 nT	-7,161.6 nT	-11,713.0 nT	23,101.4 nT
2016-08-07	-21.0796°	-30.4677°	19,920.8 nT	18,587.7 nT	-7,164.8 nT	-11,719.1 nT	23,112.2 nT
2016-08-08	-21.0799°	-30.4687°	19,920.5 nT	18,587.4 nT	-7,164.8 nT	-11,719.4 nT	23,112.2 nT
2016-08-09	-21.0803°	-30.4696°	19,920.3 nT	18,587.2 nT	-7,164.8 nT	-11,719.7 nT	23,112.1 nT
2016-08-10	-21.0806°	-30.4706°	19,920.1 nT	18,587.0 nT	-7,164.9 nT	-11,720.1 nT	23,112.1 nT
2016-08-11	-21.0809°	-30.4715°	19,919.9 nT	18,586.7 nT	-7,164.9 nT	-11,720.4 nT	23,112.1 nT
2016-08-12	-21.0812°	-30.4725°	19,919.7 nT	18,586.5 nT	-7,164.9 nT	-11,720.7 nT	23,112.1 nT
2016-08-13	-21.0816°	-30.4735°	19,919.4 nT	18,586.2 nT	-7,165.0 nT	-11,721.0 nT	23,112.0 nT
Mudança/ano	-0.1183°/yr	-0.3530°/yr	-80.2 nT/yr	-89.6 nT/yr	-9.6 nT/yr	-118.1 nT/yr	-9.3 nT/yr

## 14. MOMENTO DE DIPOLO MAGNÉTICO E TORQUE MAGNÉTICO

### INTRODUÇÃO

O torque magnético tem aplicações muito comuns em nosso cotidiano. São aplicadas em eletrônica básica como ponteiros de medidores analógicos, posicionamento da cabeça de um disco rígido (HD) de um computador, motores elétricos e entre outros equipamentos.

O torque magnético pode ser gerado sobre um ímã permanente ou uma espira passando uma corrente  $i$  colocado em um campo uniforme.

Um exemplo simples é o torque sofrido por um ponteiro de uma bússola na presença do campo magnético terrestre. Este ímã permanente (ponteiro da bússola) tem um momento de dipolo magnético  $\vec{m}$ , ao colocar na presença de um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , este ponteiro sofre um torque  $\vec{\tau}$ , sendo que:

$$\vec{\tau}_m = \vec{m} \times \vec{B} \quad 14.1$$

O momento de dipolo magnético tem a característica de ser representado por um vetor no sentido do campo em que o gerou.

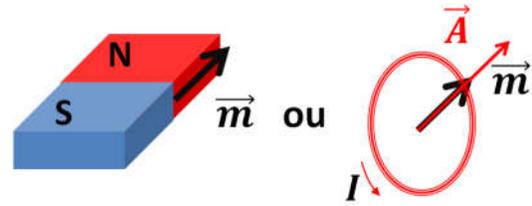
Para bobinas de área  $A$  que passa uma corrente  $I$ , o momento de dipolo magnético desta espira é dado pelo produto escalar da corrente que contorna esta área pela própria área representada pelo vetor normal  $\vec{A}$  (eq. 14.2).

$$\vec{m} = I \cdot \vec{A} \quad 14.2$$

No caso de  $n$  espiras, tem-se:

$$\vec{m} = n \cdot I \cdot \vec{A} \quad 14.3$$

Assim, este momento de uma espira ou de uma bobina, pode ser representado como descrito na *Figura 14.1*.



*Figura 14.1: Representação de momentos de dipolos magnéticos.*

Ao adicionar um material ou objeto que tenha um momento de dipolo magnético orientado por um ângulo  $\phi$  em relação ao campo magnético uniforme aplicado, tem-se que:

$$\tau_m = m \cdot B \cdot \text{sen}(\phi) \quad 14.4$$

E no caso em que o momento magnético  $m$  é gerado por uma espira de área  $A$ , tem-se:

$$\tau_m = I \cdot n \cdot A \cdot B \cdot \text{sen}(\phi) \quad 14.5$$

No caso em que o campo magnético seja gerado pelas bobinas de Helmholtz, a equação 14.5 pode ser reescrita como:

$$\tau_m = I \cdot n \cdot A \cdot \frac{\mu_0 N R^2}{\left(R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2\right)^{3/2}} \cdot i \cdot \text{sen}(\phi) \quad 14.6$$

Sendo que  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética no vácuo ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ ),  $N$  é o número de espiras da bobina de Helmholtz,  $R$  é o raio das espiras, sendo que as distâncias das espiras é igual ao raio das espiras.

Para o caso de espiras de raio igual a 0,2 m e 154 espiras, tem-se que as constantes serão representadas por  $C$  é:

$$C = \frac{\mu_0 N R^2}{\left(R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2\right)^{3/2}} \cong 6,92 \times 10^{-4} \left[\frac{T}{A}\right] \quad 14.7$$

Assim, pode-se reescrever a equação 14.6 em função de  $C$ , dado por:

$$\tau_m = I \cdot n \cdot A \cdot C \cdot i \cdot \text{sen}(\phi) \quad 14.8$$

Observando que  $nA$  é a área total, podemos reescrever como:

$$\tau_m = I \cdot A_{total} \cdot C \cdot i \cdot \sin(\phi) \quad 14.9$$

---

---

## ROTEIRO

### OBJETIVOS

- Estudar o comportamento do momento de dipolo magnético em campos uniformes.

### EQUIPAMENTOS

- Fonte DC variável com controle de corrente e tensão, com proteção de inversão e curto circuito e limite de corrente de 3A em cada canal (fonte simétrica).
- Um par de Bobinas de diâmetro e número de espiras idênticas (bobina de Helmholtz).
- Fios de ligação.
- 1 balança de torção de escala em miliNewton (mN).
- 1 acoplador de espiras na balança de torção.
- 1 suporte para os fios.
- 1 suporte para a balança de torção.
- 5 espiras como sonda, sendo 3 espiras de diâmetro diferentes, e mais 2 com números de espiras diferentes.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

**ATENÇÃO:** Por utilizar um valor alto de corrente elétrica e por tempo prolongado, a fonte irá auto-ligar a refrigeração.

Quando finalizar o experimento, reduza o potencial e a corrente para zero **sem desligar a fonte**. Cheque se a refrigeração está ligada ou desligada. Se a refrigeração estiver ligada, espere que o equipamento se refrigere adequadamente e desligue-o somente após o desligamento da refrigeração.

**ATENÇÃO:** A balança de torção é constituída de um braço suspenso por uma fita fina de aço muito frágil. Portanto tome cuidado de não esbarrar ou forçar o braço de madeira a torcer a fita.

### Ajuste do equilíbrio da Balança de torção:

Ajuste a balança de forma a ficar exatamente na vertical. Verifique se haverá atrito no braço da balança. Caso haja atrito dificultado à movimentação do mesmo, ajuste devidamente o a inclinação e equilíbrio da balança de forma que a lâmina do amortecedor não toque no imã (amortecedor por corrente de Foucault).

### Balança de torção:

A *Figura 14.2* mostra um esquema simplificado da balança de torção utilizada neste experimento.

Para realizar a medida com a balança de torção, primeiramente deve-se ajustar a posição de equilíbrio inicial.

Com a balança na vertical e os suportes e bobinas conectadas e o “ajuste de equilíbrio para leitura” posicionada no valor zero. Rode o botão “ajuste de equilíbrio inicial” até que a “haste de equilíbrio” coincida com o centro da marcação na “haste de leitura”. Desta forma, a balança está em seu equilíbrio inicial.

Quando um torque atuar sobre os braços da mesma. A leitura será efetuada colocando o braço em equilíbrio novamente. Para isto deve-se girar o “ajuste de equilíbrio para leitura” até que a “haste de equilíbrio” coincida com o centro da marcação na “haste de leitura” novamente, podendo assim, efetuar a leitura da força na Balança.

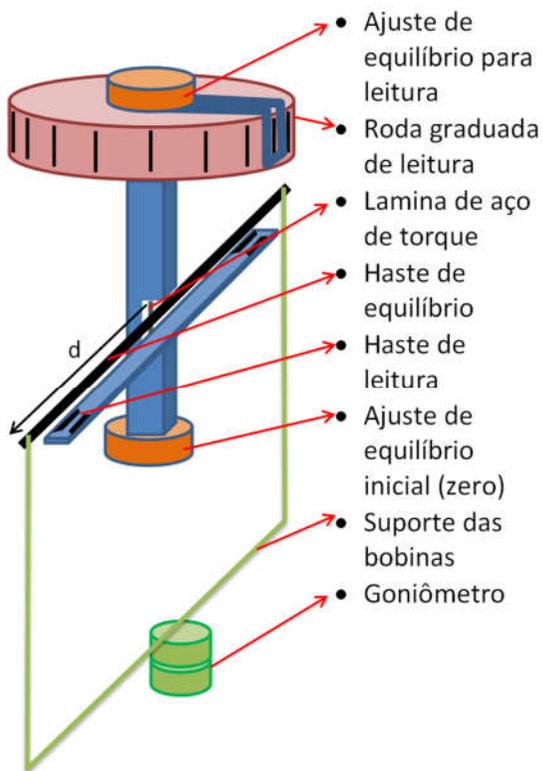


Figura 14.2: Balança de torção.

### Torque com a balança de torção:

A balança de torção foi confeccionada para medir a força exercida em um braço com uma determinada distância ( $d$ ). Ela pode medir a força exercida no extremo do braço tanto estando fixada na posição horizontal quanto na vertical. Desta forma, possibilita determinar diretamente o torque exercido no braço em função do raio do mesmo, comparando com o torque exercido sobre uma lâmina de aço preso em seu eixo móvel.

Assim, o torque mecânico da balança ( $\vec{\tau}_b$ ) será igual a:

$$\vec{\tau}_b = \vec{d} \times \vec{F} \quad 14.10$$

Sendo que  $F$  é a força medida diretamente pela balança e  $d$  é a distância do eixo de rotação até o ponto de aplicação da força.

Como a força exercida no braço da balança é perpendicular ao braço ( $\text{sen}(\theta) = 1$ ), então a equação 14.10, pode ser reescrita como:

$$\tau_b = d \cdot F \cdot \text{sen}(\theta) = d \cdot F \quad 14.11$$

Lembre-se que para a rotação no centro da barra, deve-se aplicar forças nos dois lados da haste de equilíbrio, surgindo assim um termo "2".

Pelo motivo da medida ser realizada no equilíbrio entre o torque magnético com o torque mecânico da balança, a equação 14.11 pode novamente ser reescrita em função do torque magnético.

$$\tau_b = 2d \cdot F \equiv \tau_m \quad 14.12$$

### Goniômetro:

O suporte da bobina tem um goniômetro que permite medir ângulos de 15 em 15 graus. O goniômetro tem vários cortes no carretel inferior e três cortes no carretel superior. A cada giro de 15 graus do goniômetro, o um dos cortes do carretel superior irá coincidir com os cortes do carretel inferior, mostrando uma mudança de 15 graus.

**ATENÇÃO:** Os fios que saem do goniômetro até o suporte da balança devem ser enrolados um ao outro e com cuidado de não tocar em nada neste percurso. Isto evita a influencia de torques mecânico e magnético devido á uma área criada por este fio, circulada por corrente e imerso em um campo magnético.

### A) Determinação do momento magnético de espiras com corrente $i$ fixa e áreas diferentes:

- 1- Monte o experimento como descrito na Figura 14.3, fixando uma das espiras para realizar as medidas, e colocando a balança em equilíbrio inicial.
- 2- Inicie com a espira de menor diâmetro e de 1 volta fixando o eixo de simetria da espira à  $90^\circ$  com o do eixo de simetria da bobina de Helmholtz.

- 3- Fixe a corrente em 2,5 A na espira e na bobina de Helmholtz.
- 4- Meça o torque em função do campo aplicado.
- 5- Repita do procedimento 1 até o 4, para as espiras maiores e as de 2 voltas e finalizando com a de 3 voltas, obtendo assim uma tabela do torque em função da variação da área total.

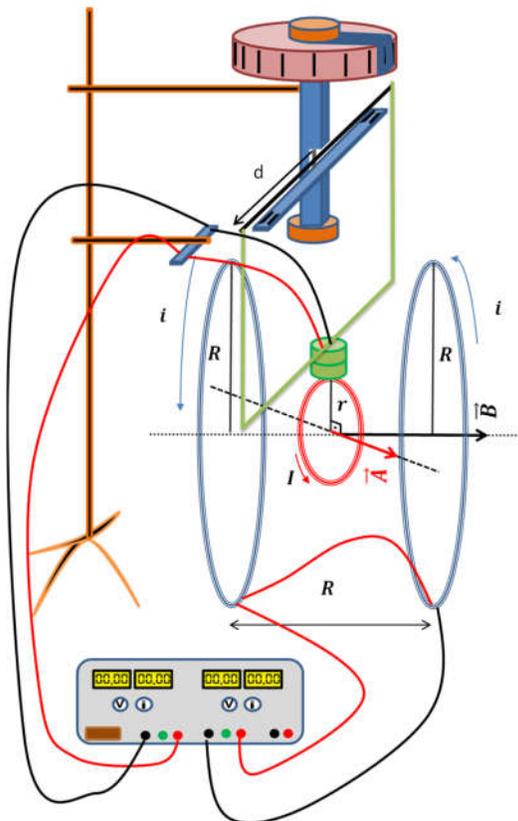


Figura 14.3: Esquema simplificado da montagem experimental.

Faça um gráfico do torque em função da área total de cada espira e determine o coeficiente angular desta reta. O que significa este valor?

**B) Determinação do momento magnético de uma espira com a variação do campo aplicado:**

Com a espira de 3 voltas, fixe a corrente aplicada nesta espira em 2,5 A e meça o torque em função da variação da corrente aplicada na bobina de Helmholtz, variando de 1 em 1 A, de -2,5 até 2,5 A.

Faça o gráfico do torque em função do campo magnético da bobina.

Determine o momento de dipolo magnético da espira com a corrente de 2,5 A. Compare com o valor teórico.

Descreva como executaria este experimento para determinar o momento de dipolo magnético para um ímã permanente.

**C) Determinação do torque em função do ângulo  $\phi$  da espira em relação ao campo magnético aplicado:**

Fixe a espira de 3 voltas e a bobina de Helmholtz com uma corrente elétrica de 2,5 A.

Meça o torque em função do ângulo aplicado.

Faça um gráfico do torque em função de  $\text{sen}(\phi)$ .

Explique o comportamento da curva obtida.

**ANÁLISE EXPERIMENTAL**

Aspectos teóricos a serem abordados no relatório.

Sempre relacione os valores obtidos experimentalmente com os valores obtidos teoricamente.

Aspectos práticos a serem descritos no relatório

Esquematize e descreva o circuito utilizado no experimento.

Descreva os procedimentos experimentais efetuados nas coletas dos dados, os cuidados a serem tomados.

Explique os procedimentos e cálculos a serem efetuados no relatório.

## 15. TRANSFORMADORES

### INTRODUÇÃO

O transformador é um dispositivo usado para elevar ou diminuir a tensão em um circuito sem que haja perda de potência significativa. Na Figura 15.1 é possível ver um diagrama esquemático de um simples transformador, que é constituído de dois enrolamentos de fios em torno de um núcleo de ferro comum.

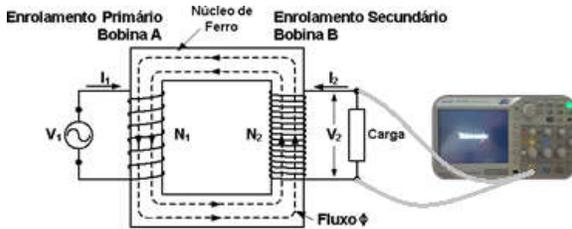


Figura 15.1: Transformador com  $N_1$  voltas de fio no primário e  $N_2$  voltas no secundário.

O enrolamento transportando a potência de entrada é chamado de primário, enquanto o outro enrolamento é chamado de secundário. Cada enrolamento do transformador pode ser usado como primário ou secundário dependendo da aplicação desejada.

O funcionamento do transformador está baseado no princípio de que uma corrente alternada fluindo no primário do transformador induz um campo magnético alternado que por sua vez induz no secundário uma corrente alternada. O núcleo de ferro tem a função de aumentar o campo magnético para uma dada corrente e guiar este campo para que quase todo o fluxo magnético através de um enrolamento seja guiado para o enrolamento vizinho.

Se for considerado uma queda de potencial ( $V_1$ ) no primário de  $N_1$  voltas; o enrolamento secundário de  $N_2$  voltas é um circuito aberto. O circuito primário é então um simples circuito consistindo em um gerador C.A. e uma indutância pura. A corrente de magnetização no enrolamento primário e a queda de tensão através do enrolamento primário estão  $90^\circ$  fora

de fase, e a potência média dissipada no enrolamento primário é nula. Através do fluxo magnético por volta ( $\phi_{volta}$ ) no enrolamento primário terá uma queda de potencial igual a contra força eletromotriz (fem):

$$V_1 = N_1 \frac{d\phi_{volta}}{dt} \quad 15.1$$

Considerando não haver fuga de fluxo magnético no núcleo de ferro, o fluxo através de cada volta é o mesmo em ambos os enrolamentos. Assim o fluxo total através do enrolamento secundário é  $N_2\phi_{volta}$  e a diferença de potencial através do enrolamento secundário é

$$V_2 = N_2 \frac{d\phi_{volta}}{dt} \quad 15.2$$

A razão entre as equações 15.1 e 15.2 nos fornece:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad 15.3$$

Se  $N_2$  é maior que  $N_1$ , a diferença de potencial através do enrolamento secundário é maior que a queda de potencial através do enrolamento primário, e o transformador é chamado de transformador amplificador. Se  $N_2$  é menor que  $N_1$ , a diferença de potencial através do enrolamento secundário é menor que a diferença de potencial através do enrolamento primário, e o transformador é chamado de transformador atenuador.

---

### ROTEIRO

#### OBJETIVO

- Determinar o número de espiras nos enrolamentos utilizados.

## EQUIPAMENTOS

- 1 cabo de osciloscópio comum.
- 1 cabo de osciloscópio com atenuação de 10X.
- Núcleo de ferro;
- 04 enrolamentos com diferentes números de espiras;
- Fonte geradora de corrente alternada;
- Osciloscópio digital;
- Cabo com atenuação(10x).

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1 – Monte o transformador colocando os enrolamentos no núcleo de ferro. Para isso solte a trava da barra de ferro superior do núcleo. Insira os enrolamentos no interior do núcleo de ferro, escolhendo um enrolamento com maior número de espiras para o primário e um enrolamento com menor número de espiras para o secundário, como ilustrado na Figura 15.2.

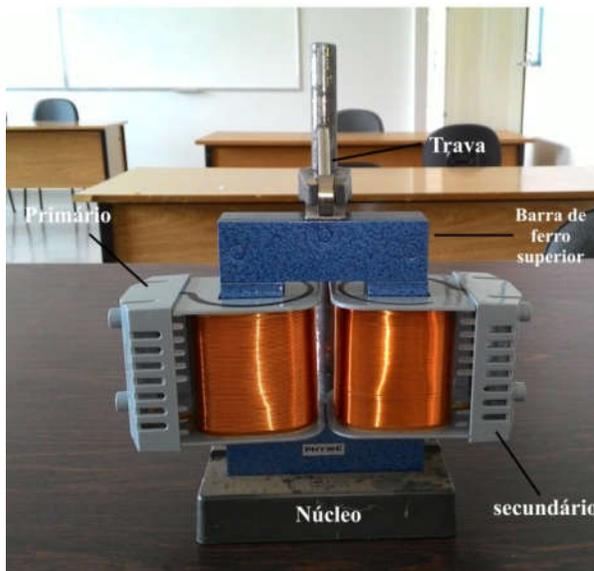


Figura 15. 4 – Núcleo de Ferro e enrolamentos formando o transformador.

2 – Ligue o primário do transformador a fonte de corrente alternada (bornes pretos da fonte), conectando um fio em 0 V e o outro em 3 V. Com ajuda do osciloscópio meça a tensão aplicada no primário (usando o canal 1) e simultaneamente

(usando o canal 2) a tensão no secundário do transformador. Repita esse processo ligando o primário nas tensões de 6 V, 9 V e 12 V e medindo a tensão obtida no secundário.

3 – Construa um gráfico da tensão aplicada no primário em função da tensão medida no secundário. Determine o coeficiente angular da reta obtida e comprove se ele obedece à relação da equação (3). Determine a eficiência de conversão de tensão para o transformador.

4 – Agora com a mesma configuração de enrolamentos faça o primário com o menor número de espiras e o secundário com o maior número de espiras. Repita os passos 2 e 3.

5 – Monte uma nova configuração de transformador com outras duas diferentes razões de espiras entre os enrolamentos e repita os passos de 1 a 4.

## ANÁLISE EXPERIMENTAL

Organizem os dados coletados em tabelas com os valores medidos e seus respectivos erros de leitura, além dos valores de número de espiras em cada enrolamento utilizado. Redija o relatório discutindo os dados obtidos e descreva a conclusão que se obtém desse experimento.

## REFERÊNCIAS

ELMEN, G. W. Magnetic Alloys of Iron, Nickel, and Cobalt. Bell System Technical Journal [S.l.], v. 15, n. 1, p. 23, 1936.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de física: eletromagnetismo. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2013.

TIPPLER, P. A.; MOSCA, G. Física: para cientistas e engenheiros. 6a. ed.: Livro Técnico e Científicos Editora Ltda, 2013. (2).

CARUSO, F.; OGURI, V. A ETERNA BUSCA DO INDIVISÍVEL: DO ÁTOMO FILOSÓFICO AOS QUARKS E LÉPTONS. **QUÍMICA NOVA**, v. 20, n. 3, 1997

INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS. **Introdução à Eletrostática**. 1. ed. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicalll/01-IntroducaoEletrostatica.pdf>. Acesso em: 25 Fevereiro 2016.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J.W.J. **Princípios de Física: Eletromagnetismo**. 3. ed. São Paulo: Cengage learning, 2008.