

8/8/2023

Roteiros Física Experimental III

Bacharelado / Licenciatura em Química

Alexandre Yasuda Miguelote
FFCLRP - USP

5910233-FÍSICA III – ELETRICIDADE E MAGNETISMO
PARTE EXPERIMENTAL

2º Semestre de 2023

Departamento de Física – FFCLRP – USP

Curso: Bacharelado em Química

Docente: Alexandre Yasuda Miguelote amiguelote@usp.br

Cronograma

Semana	Roteiro	Atividade	Data
1		Introdução	08/08
2	1	Demonstrações sobre Eletrostática	15/08
3		Leis de Kirchhoff	22/08
4	2	Galvanômetros, Voltímetros e Amperímetros	29/08
5		Semana da Pátria - Recesso Escolar	05/09
6	3	Medidas de Resistência Elétrica	12/09
7	4	Elementos Passivos Dipolares	19/09
8	5	Características Elétricas de Baterias	26/09
9	6	Termopares	03/10
10	7	Capacitores	10/10
11	8	Demonstrações sobre Magnetismo	17/10
12		Experimento Didático	24/10
13	9	Momento de Dipolo e Campo Magnético Terrestre	31/10
14		Semana da Química	07/11
15	10	Balança de Ampère	14/11
16	11	Susceptibilidade Magnética	21/11
17	12	Transformadores e Magnetização (Histerese)	28/11
18		Apresentações	05/12
19		Apresentações	12/12

Referências Bibliográficas

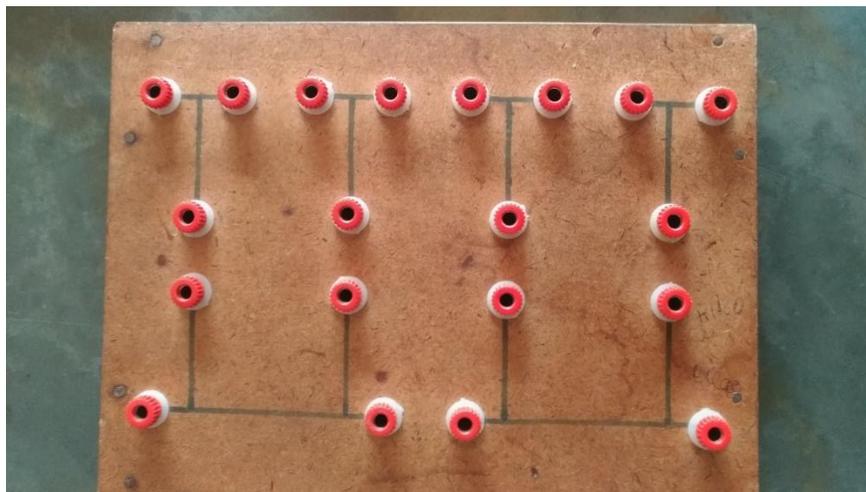
- 1 - Física Experimental Básica na Universidade, A. A. Campos, E. S. Alves e N. L. Speziali. UFMG, disponível em <https://www.fisica.ufmg.br/livro-fisica-experimental/>
- 2 - Portis Alan; Young Hugh. Berkeley Physics Laboratory. 2ª edição, Vol. 3,4 e 6.
- 3 - Jerry Wilson e Cecilia A. Hernandez-Hall, Physics Laboratory Experiments, Books/Cole, 2010.
- 4 - Sites sobre como expressar incertezas e erros experimentais:
<http://www.ifi.unicamp.br/~brito/graferr.pdf>
<http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>

Roteiros

Os roteiros de laboratório foram elaborados ao longo dos anos por diversos professores do departamento de física, sendo resultado de uma atuação coletiva dos docentes, técnicos e alunos. Caso tenham alguma sugestão ou crítica favor comunicar o docente.

Placa de Montagem de Circuitos-*Proto*board

Em muitas montagens experimentais uma placa (proto board) como essa ilustrada abaixo terá que ser utilizada. Temos terminais fêmea ou bornes (nesse caso em cor vermelha) que estão conectados entre si conforme ilustrado pelas linhas contínuas. Através de fios com terminas machos ou do tipo banana equipamentos e componentes elétricos podem ser ligados de diferentes formas. Procurem familiarizar-se com essa placa pois isso vai ajudar a agilizar as montagens experimentais.



Roteiro I – Demonstrações de Eletrostática

Objetivos:

A atração de pequenos papéis por um pente ou uma régua atritada no cabelo ou em uma blusa de lã é uma experiência que todos provavelmente já fizeram, por trás desse fenômeno está a presença de cargas elétricas e a força de atração entre elas. Nessa aula vamos explorar esse fenômeno e realizar demonstrações dos processos básicos de eletrização, medida da carga elétrica, força entre duas partículas carregadas e discutir as ocorrências na natureza de processos de eletrização

Introdução:

Na experiência descrita acima, em que um corpo é atritado a outro, e como consequência uma carga elétrica produzida podemos imaginar que um “fluido” passa de um corpo para o outro e, dessa maneira, um fica com excesso e outro fica com falta desse “fluido”. Essa ideia foi proposta já no século 18 e responde por duas propriedades da carga elétrica: **1-Conservação** e **2- O corpo que perde o fluido fica com falta e o outro com excesso do tal “fluido”**, logo podemos atribuir um sinal positivo ou um sinal negativo para cada um dos corpos. Hoje sabemos que esse fluido é na realidade constituído por elétrons, portanto com carga negativa, que podem mover-se com facilidade de um corpo para outro, assim o corpo que perde elétrons fica carregado positivamente e aquele que ganha elétrons fica carregado negativamente. No exemplo da carga do pente de plástico temos um material isolante, que é fraco condutor de eletricidade, pois os elétrons nesse material estão fortemente ligados à sua estrutura. É por isso que um forte atrito tem que ser realizado entre os materiais para provocar uma transferência de carga entre eles. Já com os materiais condutores, como os metais, os elétrons podem mover-se com facilidade pois existe um grande número de elétrons que não estão fortemente ligados à estrutura atômica do material. Os materiais isolantes podem ser classificados de acordo com a carga que produzem ao serem atritados a outros materiais em uma série denominada **triboeleétrica**.

Figura 1. A série triboelétrica é organizada de modo que o material que possui posição superior na lista adquire carga elétrica de sinal positivo (perde elétrons). Dessa forma, como a carga se conserva, o material de posição inferior recebe elétrons e é eletrizado negativamente. Imagine que se faça um experimento atritando um pedaço de vidro como o papel. Observe que o vidro ocupa uma posição superior na tabela em relação ao papel, sendo assim, o vidro adquire carga elétrica de sinal positivo, pois doa seus elétrons para o papel, que fica carregado negativamente. Quanto maior for a distância entre os materiais na lista, maior será a energia estática gerada. Atritar vidro e teflon, por exemplo, gerará mais eletricidade estática do que atritar vidro e papel, pois a distância entre os materiais no primeiro caso é maior que a distância para o segundo caso.



MATERIAL
Pele humana seca
Couro
Pele de coelho
Vidro
Cabelo humano
Nylon
Papel
Madeira
Borracha
Poliéster
Isopor
Polietileno
PVC
Teflon

Processos para eletrizar ou carregar corpos:

Para carregar eletricamente corpos que estão inicialmente descarregados podemos usar dois processos 1- divisão da carga gerada no corpo por atrito através de contato ou 2- indução. A figura 2 ilustra os dois processos e podemos notar que quando se utiliza o processo de indução a carga final dos corpos carregados tem sinais opostos.

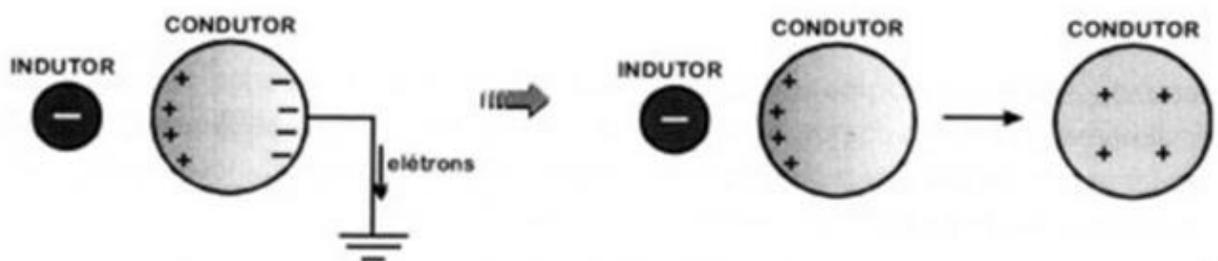
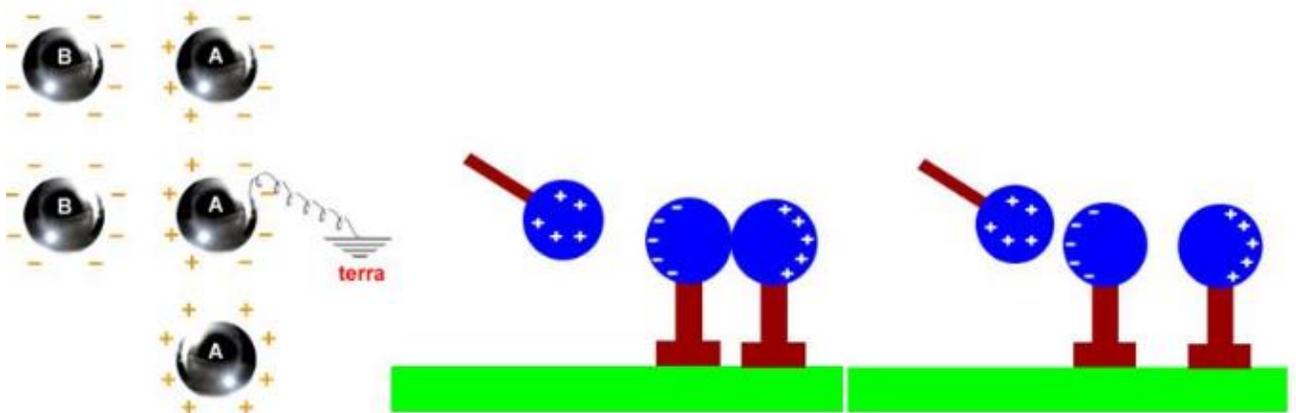
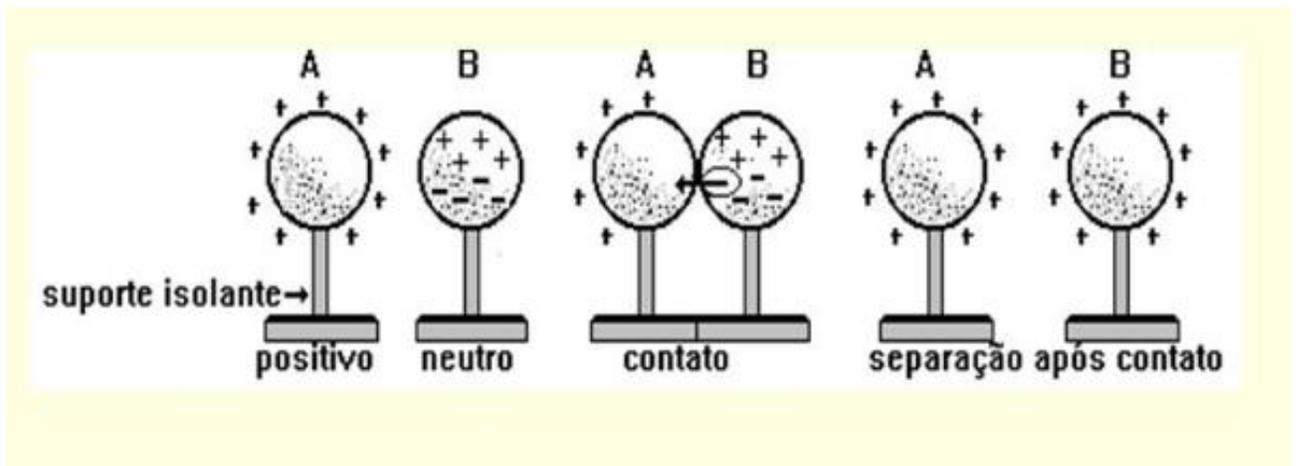


Figura 2. Esquema de processos de eletrização de corpos por contato e indução. Observe que no processo de contato a carga é fracionada e tem o mesmo sinal que a carga inicial. Se as esferas forem de mesmo raio a carga final em cada uma delas é metade da carga inicial. Já no processo de indução a carga criada tem sinal oposto e o seu valor vai depender da eficiência do processo de indução.

Lei de Coulomb

Como medir a carga elétrica? Na física é sempre importante quantificar as observações e processos de medidas devem ser inventados para medir a carga elétrica. Quando estudamos mecânica as medidas realizadas quase sempre envolveram a força ou uma grandeza derivada dessa quantidade. Em eletricidade observou-se que a carga elétrica pode ser quantificada pela força exercida entre corpos carregados, a unidade no sistema MKS para carga elétrica é o Coulomb (C). O eletroscópio mostrado na figura 3 é um exemplo de um dispositivo inventado para medida da carga elétrica. Atualmente, instrumentos eletrônicos mais sofisticados permitem a medida da carga até Pico Coulomb ($pC=10^{-12}C$) utilizando outros processos não mecânicos. Utilizando um eletroscópio pode-se estudar a dependência da força com a quantidade de carga e com a distância. A lei de Coulomb exprime a relação entre a carga de dois corpos com cargas Q_1 e Q_2 , a distância de separação entre eles (r_{12}) e a constante dielétrica (ϵ) do meio onde ocorre a força de interação.

$$\vec{F}_{1,2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r_{1,2}^2} \hat{r}_{1,2}$$

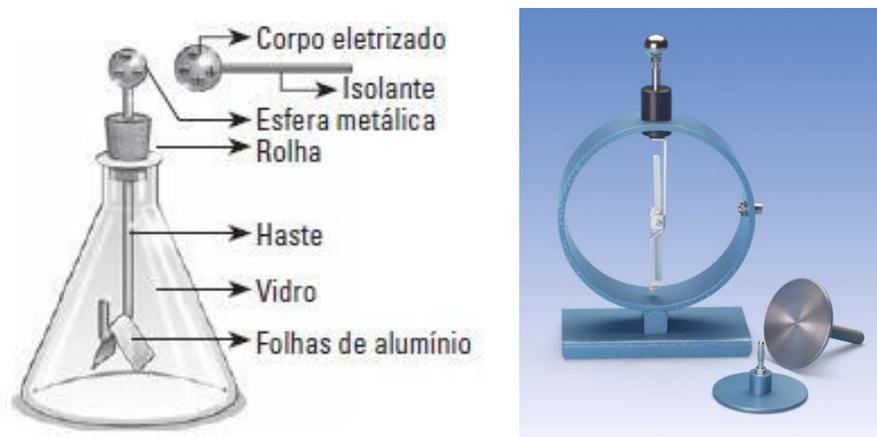


Figura 3. Dois eletroscópios utilizados para medir a carga elétrica. A medida é feita pelo ângulo formado entre as duas folhas metálicas que será dependente da força de repulsão entre as placas.

Relâmpagos e Explosões

Na natureza podemos observar vários fenômenos eletrostáticos onde ocorrem descargas elétricas. Nos exemplos anteriores falamos de atrito entre sólidos que produzem objetos carregados, no entanto atrito entre fluídos também podem produzir cargas elétricas. Assim quando um caminhão tanque carregado de combustível vai abastecer um avião ou um tanque no posto de gasolina a primeira providência que o operador toma é **aterrar** o veículo e o avião para evitar que as cargas eventualmente acumuladas produzam uma faísca e com isso uma explosão. Quando os veículos são ligados à terra um contato é realizado com o imenso reservatório de elétrons que pode receber ou ceder carga elétrica sem ficar carregado. Outra situação em que isto pode ocorrer é com navios-tanque quando a água está sendo bombeada para dentro dos tanques para lavar o mesmo. O atrito com a tubulação acaba levando a uma carga com o mostrado na figura 4 e isso pode provocar uma explosão dos gases que existem no compartimento. Para evitar um acidente durante esse processo os tanques são preenchidos com gás inerte que evita a explosão. Outro fenômeno bastante comum são os relâmpagos, existe muita dúvida sobre os detalhes de como a eletrização das nuvens realmente ocorre, entretanto sabe-se com certeza que a eletrização ocorre em altitudes onde a temperatura fica entre 0 e 10 graus e envolve o atrito entre as gotículas de água ascendente e o granizo descendente no interior das nuvens. A diferença de potencial entre as nuvens pode atingir milhões de volts. Apesar dos efeitos marcantes a energia liberada por um relâmpago não é muito, grande sendo aproximadamente equivalente a 5 litros de gasolina 9 (Quanto vale isso em joules? E a potência?).

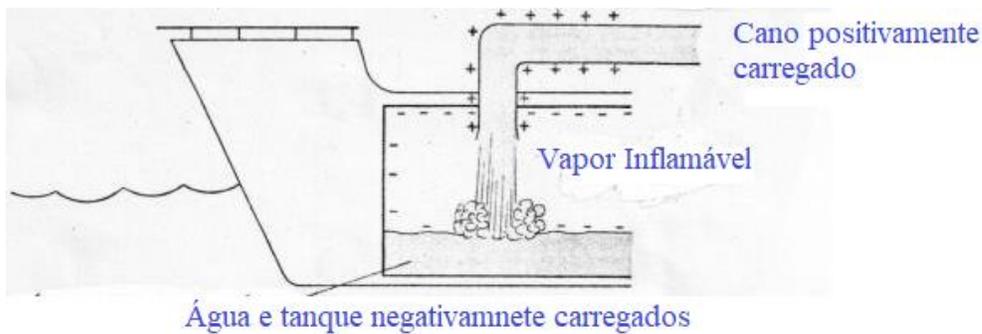


Figura 4. Eletrização por atrito devido à vazão de água para encher o tanque do navio e fazer a lavagem.



Figura 5 – Processo de eletrização de uma nuvem devido ao atrito entre o granizo e a gotículas de água interna da nuvem. Na temperatura $\sim 10^{\circ}\text{C}$ o gelo e a água se movimentam no interior da nuvem e o atrito produz cargas elétricas.

Questões

1. Discuta como um objeto não carregado pode ser atraído por outro carregado.
2. Pense em algum exemplo de acidente devido à presença de cargas elétricas.
3. Converta a energia de um raio em kWh.
4. Pense em fenômenos de eletrização que acontecem com roupas de inverno. O que acontece quando uma blusa de lã é retirada do corpo?
5. Explique como a umidade do ar pode remover a carga elétrica de um objeto carregado.
6. Pesquise sobre aplicações da eletrostática na preservação do meio ambiente.

Bibliografia

1. Hennies, C. E. (Coordenador). Problemas experimentais em física. 4. ed. Campinas: Unicamp, 1993. v. 2. Tipler, P. A. Corrente elétrica e circuitos de corrente contínua. 3- Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo, ótica. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v. 2. p. 118-155.

Roteiro II - Galvanômetros, Voltímetros e Amperímetros

Objetivos:

Entender o princípio de funcionamento de um galvanômetro, realizar a medida de sua resistência interna, e utilizá-lo na construção de um amperímetro e de um voltímetro.

Introdução:

Galvanômetros são instrumentos que servem de base para a confecção de voltímetros (que medem diferenças de potencial ou ddp) e amperímetros (que medem corrente elétrica) utilizados em análises de circuitos elétricos. No presente caso estaremos apenas interessados em aparelhos que trabalhem com tensão e corrente contínuas, representadas pela nomenclatura DC. Existem vários tipos de galvanômetros (tangente, ferro móvel, etc.). O mais usado é o de bobina móvel ou de D'Ansoval (Figura 1). Consiste em uma bobina ligada a uma mola de torção e um ponteiro, imerso em um campo magnético.

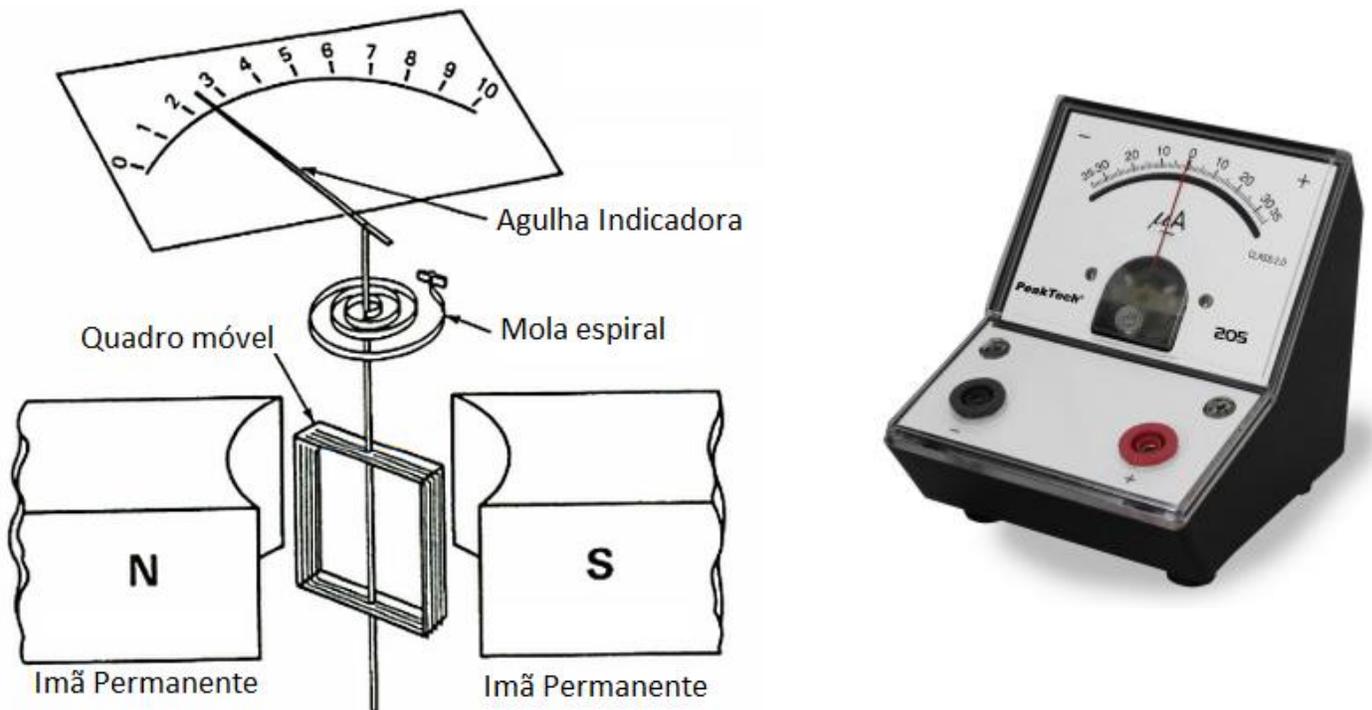


Figura 1. Galvanômetro de D'Ansoval (a), diagrama de forças que atuam do quadro móvel (b) e galvanômetro analógico.

Quando um fio de comprimento L pelo qual circula uma corrente i é imerso num campo de indução magnética \vec{B} , ele sofre uma força cujo módulo vale $F = BiL$. Esta força \vec{F} é perpendicular ao campo \vec{B} e à direção da corrente. Imaginemos agora um fio dobrado na forma de um quadrado (uma espira) podendo girar em torno de um eixo (Figura 2). Quando circula uma corrente i pela espira esta sofre uma deflexão que é acusada pelo ponteiro. Esta deflexão é proporcional à corrente i . De fato, a força magnética que atua sobre uma espira nestas condições vale:

$$F_{mag} = BIL \quad (1)$$

esta força produz um torque na espira igual a:

$$\tau_{mag} = BIL2r = BIA \quad (2)$$

onde $A=2rL$ é a área da espira.

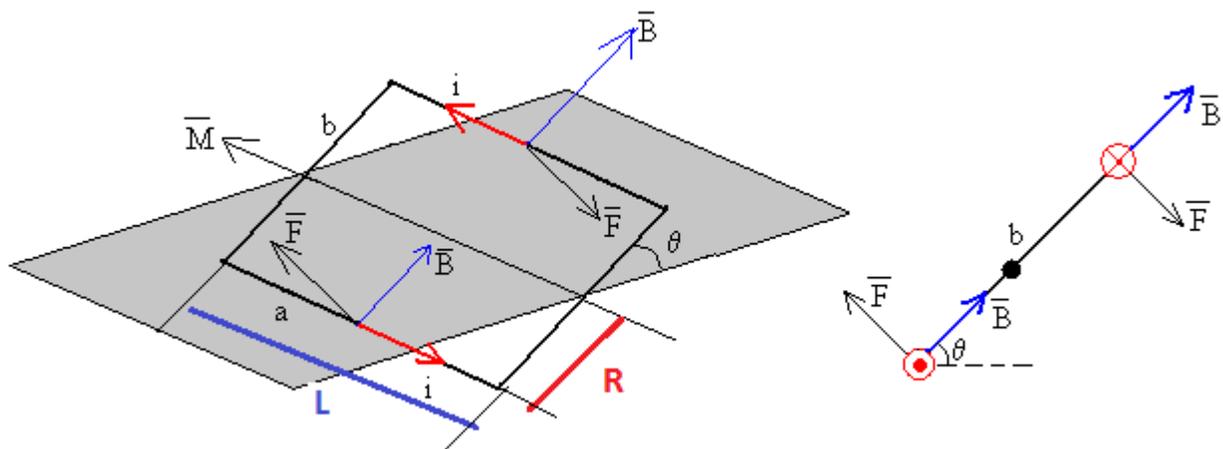


Figura 2. Esquema do funcionamento de um galvanômetro, mostrando a direção do campo magnético (B), da corrente na bobina (i), força (F) e torque (M) resultantes. O torque é que fará o ponteiro ou agulha se movimentar no mostrador

Na posição de equilíbrio o torque magnético é contrabalançado pelo torque mecânico da mola de torção, i.e.

$$\tau_{mec} = K\theta = \tau_{mag} = BIA = \frac{BAI}{k} \quad (3)$$

No caso de termos "N" espiras, a deflexão do ponteiro vale $\theta = NBAI/k$.

Vemos que a deflexão é proporcional à corrente que passa pela espira. O galvanômetro pode então ser utilizado para medir correntes elétricas. Neste sentido pode ser considerado como um amperímetro. O galvanômetro deve ser calibrado para indicar o valor zero quando não passa corrente através dele. O sentido da corrente que passa pelo galvanômetro é o sentido em que o ponteiro se desloca. É por isto que os galvanômetros têm as polaridades assinaladas em seus terminais, para que o ponteiro se desloque no sentido correto.

Um problema bastante comum no laboratório é o de ampliar escalas de um instrumento. Suponha que você tenha um galvanômetro que meça no máximo 1 mA e queremos medir uma corrente de 100 mA. O que fazer? Neste caso desvia-se parte da corrente por um resistor ("shunt") para que o instrumento não seja danificado. Isto é feito utilizando-se o circuito da Figura 3.

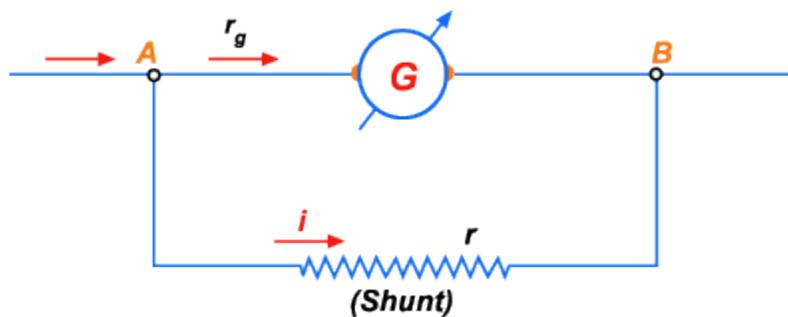


Figura 3. Diagrama para transformar um galvanômetro de D'Ansoval em um amperímetro.

A resistência r_i que aparece no diagrama acima é a resistência interna do galvanômetro e é devida à resistência do fio utilizado na bobina. Chamando de I_g a corrente máxima que pode passar pelo galvanômetro e I_s a corrente que passa pela resistência de "shunt", temos a seguinte equação relacionando estas variáveis:

$$V = r_i I_g = r_s I_s \rightarrow I_s = I_g \frac{r_i}{r_s} \quad (4)$$

$$I = I_s + I_g = I_g \left(1 + \frac{r_i}{r_s} \right) \quad (5)$$

Vemos que se a corrente a ser medida é 100 vezes maior que a corrente máxima que pode passar pelo galvanômetro a resistência de "shunt" deve ser 99 vezes menor que a resistência interna.

Devido a esta resistência interna o galvanômetro também pode medir tensões, ou seja, ele pode ser usado como um voltímetro. Aqui temos novamente o problema de ampliar escalas. Pois $r_i \cdot I = V$ e como $I \leq I_g$ temos que a tensão máxima que pode ser medida pelo galvanômetro é $V = I_g r_i$. Para ampliar a escala do galvanômetro basta colocar uma resistência em série com a resistência interna do galvanômetro. Esta resistência é chamada de resistência multiplicadora (R_m), conforme está ilustrado na Figura 4. A máxima tensão mensurável agora é $V = (r_m + r_i) I_g$.

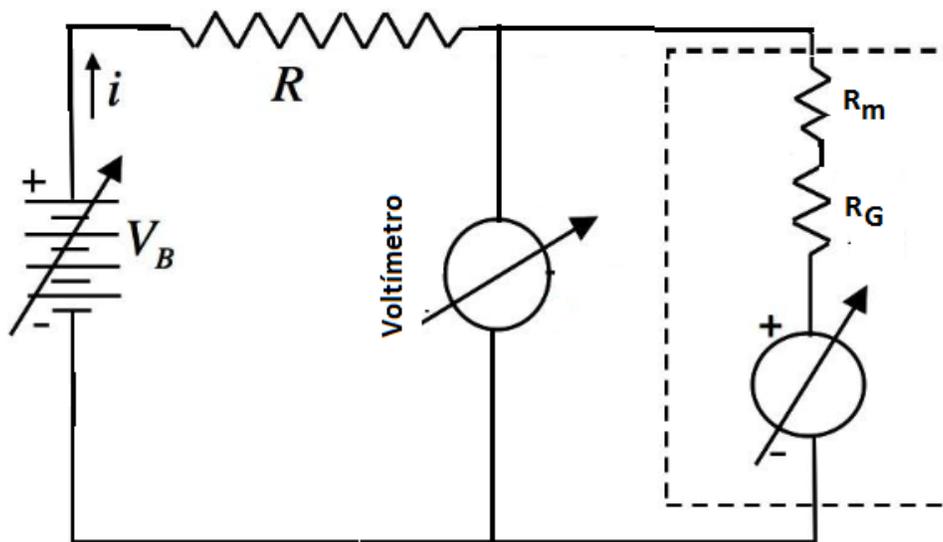


Figura 4. Circuito para a calibração do voltímetro construído a partir do galvanômetro

Materiais e Métodos

A figura 3 mostra todos os equipamentos e materiais envolvidos neste experimento com suas respectivas representações usadas nos circuitos elétricos.

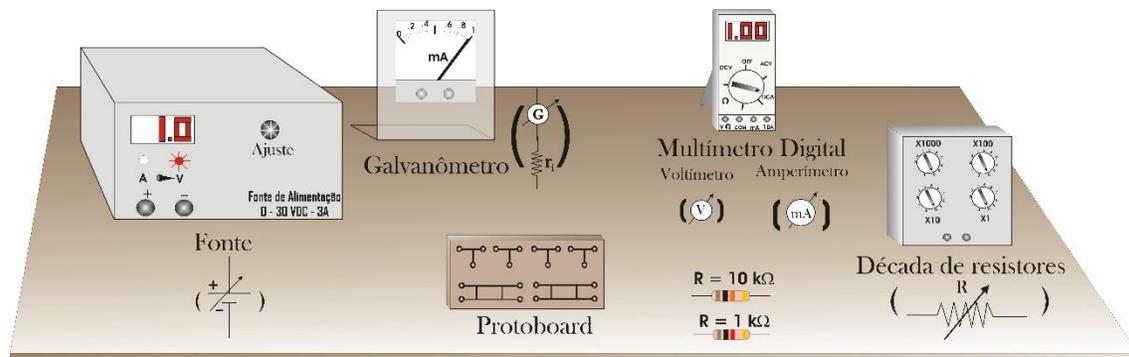


Figura 3 – Equipamentos e materiais envolvidos neste experimento com suas respectivas representações técnicas.

A ideia deste experimento é conseguirmos construir um voltímetro e um amperímetro partindo de um mesmo galvanômetro. Para isto, é fundamental a determinação da resistência interna e da corrente de fundo da escala do galvanômetro.

Determinação da corrente de fundo do galvanômetro

Monte o circuito da figura 4, ajustando 1 V na fonte e usando a resistência de 10 kΩ (ou outro valor disponível) como resistência de proteção, R_p , para limitar a corrente que passará pelo galvanômetro. A corrente de fundo (ou simplesmente fundo de escala) é a corrente que provoca a deflexão máxima do ponteiro sobre a escala adotada no galvanômetro. Neste processo deve-se tomar cuidado para não se ultrapassar o valor máximo suportado pelo galvanômetro, o que poderia danificá-lo. Verifique se o miliamperímetro está inicialmente na escala mais alta.

Após a montagem acima, ligue a fonte. Varie lentamente o valor da tensão até que o ponteiro do galvanômetro alcance o valor máximo da escala no galvanômetro.

Preencha a tabela abaixo com o valor da escala do galvanômetro, I_G , e o valor da corrente registrado no miliamperímetro digital, I_{mA} , (prático). Compare o valor das duas correntes e calcule o respectivo desvio.

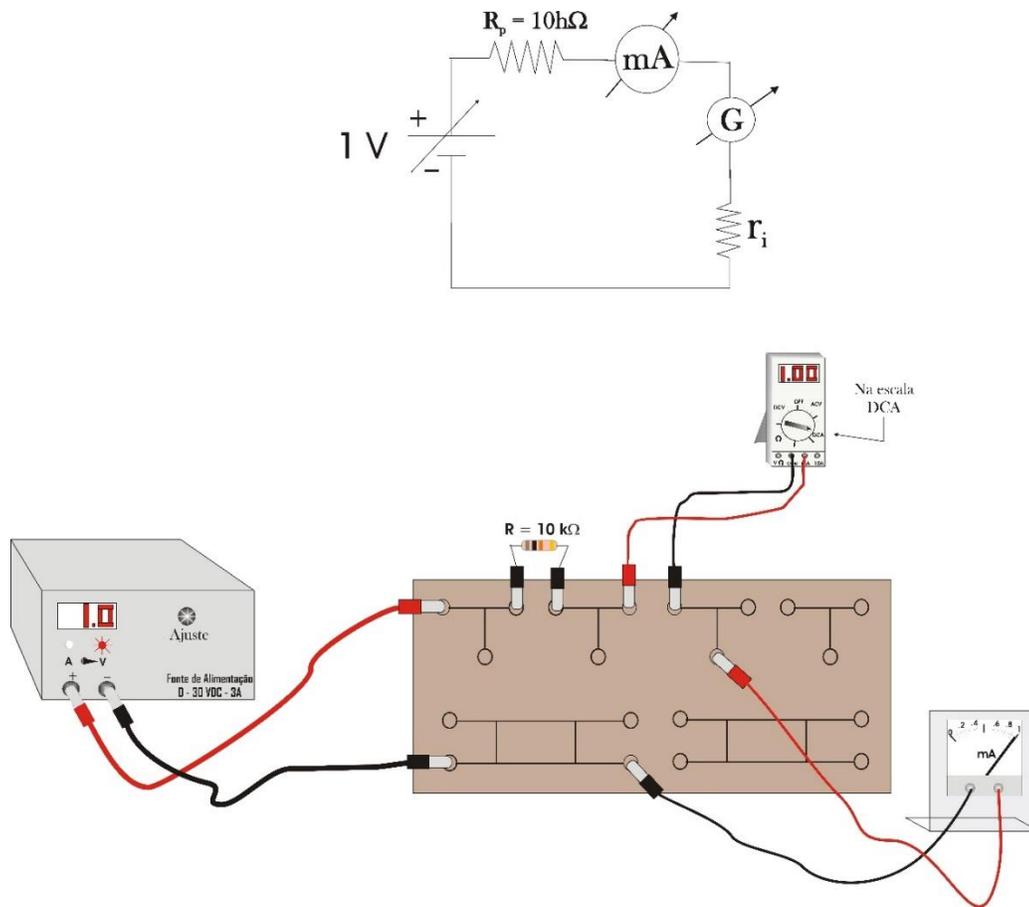


Figura 4 – Montagem do circuito para verificar a corrente de fundo do galvanômetro de D’Ansrval.

Corrente no galvanômetro	Corrente no miliamperímetro I_{mA}	Desvio (%)
I_G		

Percorrendo uma malha dentro deste circuito em série sabemos que a corrente que passa pelo galvanômetro é a mesma que passa pelo miliamperímetro e pela resistência de proteção.

$$V = R_p I + R_{mA} I + r_i I \rightarrow I = V / (R_p + R_{mA} + r_i),$$

onde R_{mA} é a resistência interna do miliamperímetro.

Determinação da Resistência Interna do Galvanômetro

Desligue a fonte de alimentação (OFF) e mantendo a configuração experimental anterior, conecte em paralelo com o galvanômetro a década de resistores ajustando valor da sua resistência em aproximadamente 900Ω .

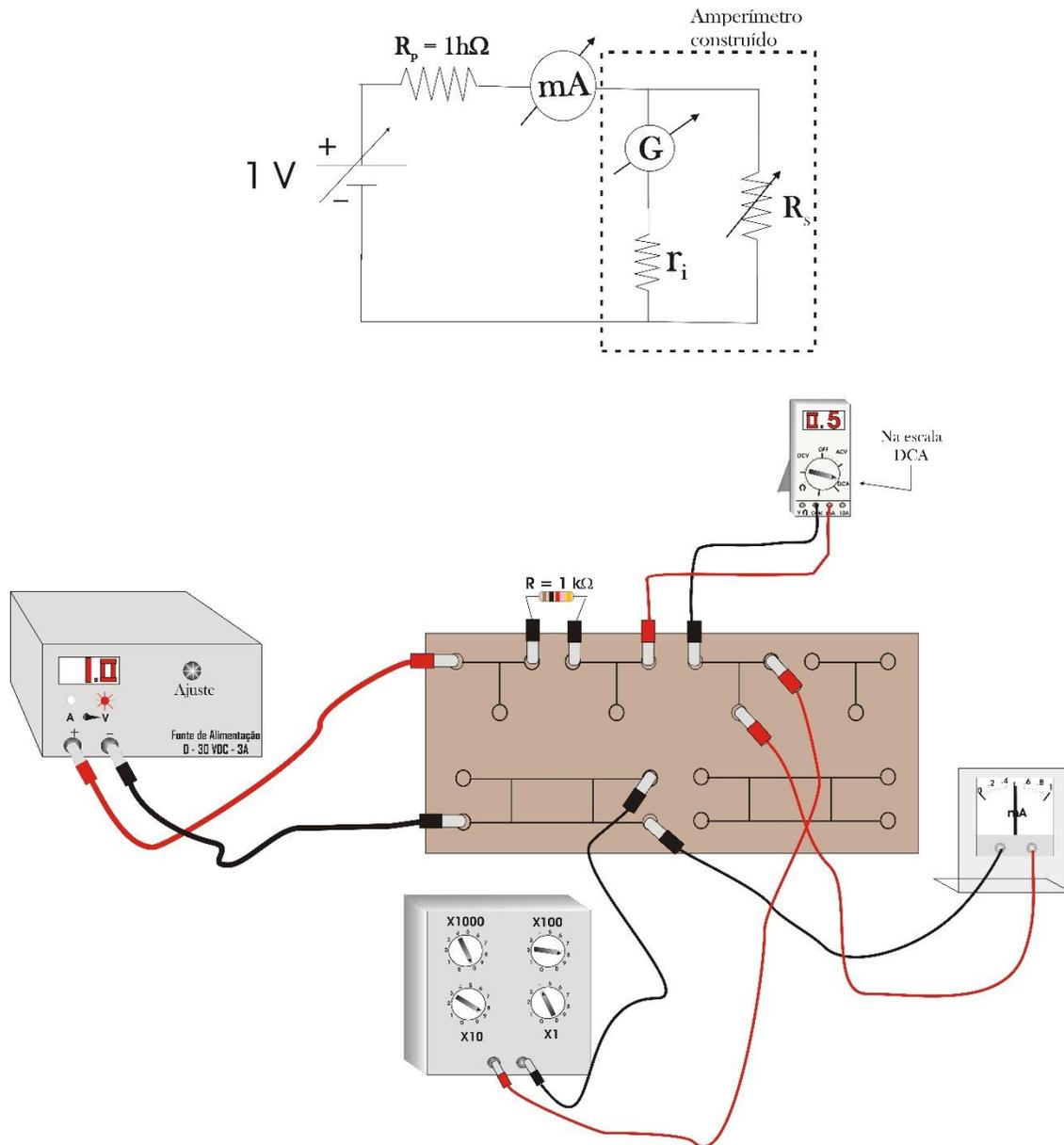


Figura 5 – Configuração experimental para determinação da resistência interna do galvanômetro.

Ligue novamente a fonte (em 1V), e varie o valor da década de resistores até que a corrente que passa pelo galvanômetro (I_G) caia pela metade (ou seja, que o ponteiro do galvanômetro indique a metade do valor de fundo de escala). Isso significará que o valor de resistência colocado em paralelo com o galvanômetro (por meio da década de resistores) apresenta o mesmo valor da resistência interna do galvanômetro. Anote o valor da resistência da década, pois é igual ao valor da resistência interna do galvanômetro (r_i). Mostre que quando as resistências internas (r_i) e da década de resistores (R) forem iguais, a corrente que passa pelo galvanômetro cai pela metade. (faça isso como um exercício e coloque no seu caderno de anotações).

Construção de um amperímetro

Sabendo-se o valor da corrente de fundo e a resistência interna do galvanômetro, podemos partir para a construção de um amperímetro por meio do galvanômetro que temos. Monte o circuito da figura 6 atentando para que a década de resistores estejam no valor máximo antes de ligar a fonte. O valor máximo da década será obtido colocando todos os botões no valor 9.

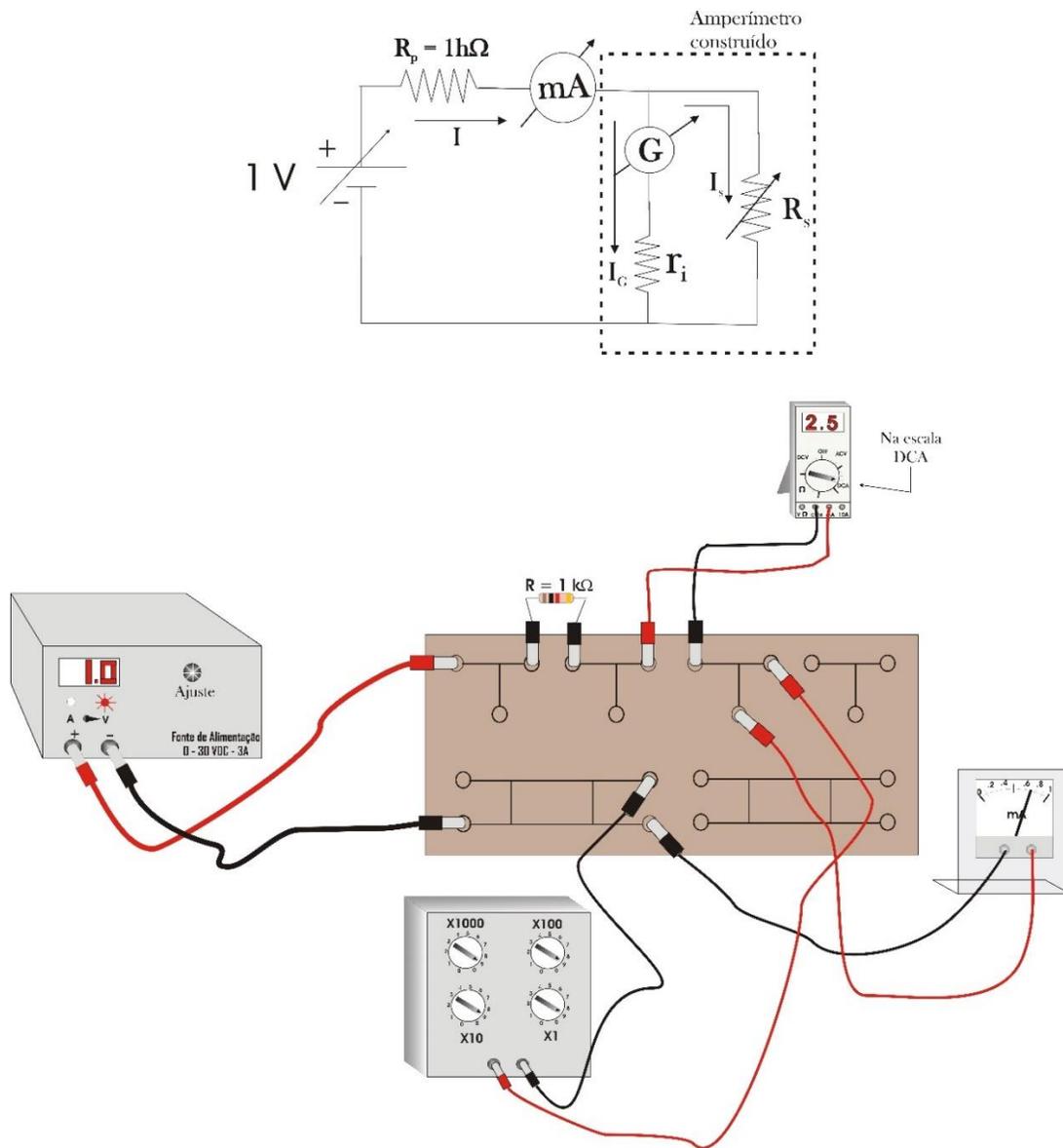


Figura 6 – Configuração experimental para construção de um amperímetro.

A resistência obtida por meio da década, no caso da construção de um amperímetro, assume o nome de resistência *shunt* (R_s).

Queremos construir um amperímetro com fundo de escala de 2,5 mA.

Pela lei dos nós, $I = I_G + I_S$, ou seja, $I_S = I - I_G$, onde I é a corrente de fundo de escala (2,5 mA que nos permitirá ler corrente até este valor) e I_G já foi obtida anteriormente.

A tensão sobre o galvanômetro (V_G) é a mesma sobre a resistência *shunt* (V_S).

Então, $V_G = V_S$, $r_i I_G = R_S I_S$ e

$$R_S = \frac{r_i \cdot I_G}{I_S}$$

Anote o valor da resistência *shunt* (R_S).

Note que agora podemos então verificar quanto vale qualquer corrente até 2,5 mA que circula nesse circuito sem precisar do miliamperímetro digital!

Substituindo I_S em R_S obtemos:

$$R_S = \frac{r_i \cdot I_G}{I - I_G} \rightarrow R_S \cdot I + R_S \cdot I_G = r_i \cdot I_G \rightarrow R_S \cdot I = r_i \cdot I_G + R_S \cdot I_G \rightarrow I = \frac{r_i \cdot I_G + R_S \cdot I_G}{R_S} \rightarrow I = \left(\frac{r_i}{R_S} + 1 \right) I_G$$

Construção do voltímetro

Queremos construir um voltímetro com um fundo de escala de 5 V. Monte o circuito ilustrado na figura 7, com a fonte inicialmente em 0 V.

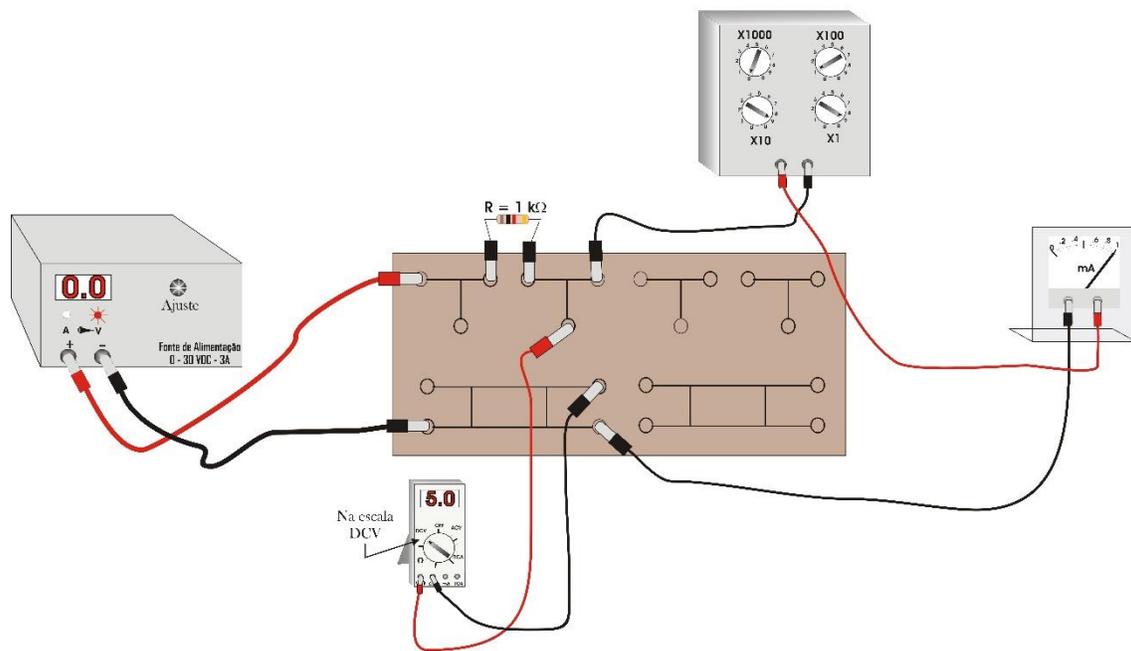
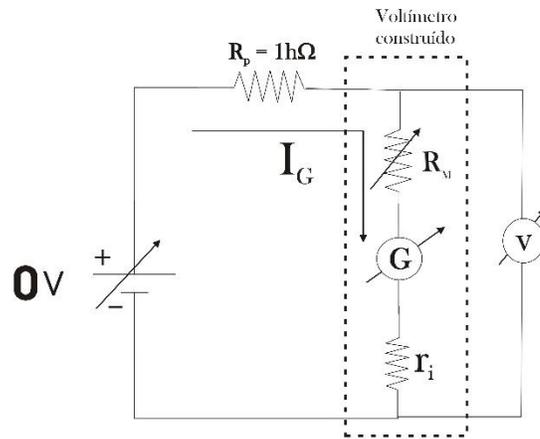


Figura 7 – Configuração experimental para construção de um voltômetro.

Calcule o valor da resistênça multiplicadora (R_m) que deve ser colocada em série com o galvanômetro para que possamos medir tensão máxima de 5 V no voltômetro digital. Analisando o circuito da figura 7, vemos que, $V=R_m I_G + r_i I_G$, então:

$$R_m \cdot I_G = V - r_i \cdot I_G$$

$$R_m = \frac{V}{I_G} - r_i$$

onde $V=5\text{ V}$ e r_i foi calculado anteriormente e I_G é a corrente de fundo de escala do galvanômetro (já observado).

Aumente lentamente a tensão da fonte verificando se o galvanômetro já alcançou o fundo de escala e se o voltímetro digital já alcançou os 5 V desejados.

Dê prioridade para o ponteiro do galvanômetro. Quando o ponteiro alcançar o fundo de escala pare de aumentar a tensão da fonte.

Se caso você alcançar o fundo de escala e ainda não tiver alcançado os 5 V desejados, aumente o valor da resistência na década.

Se ocorrer o contrário, ou seja, o valor da tensão for alcançado primeiro, diminua o valor da resistência na década.

Lembre-se de fazer todas estas alterações tanto na fonte quanto na década de forma sutil para que não dê um fundo de escala de forma brusca danificando o galvanômetro.

Anote o valor da resistência multiplicadora (R_m) calculada e prática, se caso não forem coincidentes.

Resistência Multiplicadora Calculada	Resistência Multiplicadora Prática	Desvio (%)

Note que tendo todos estes parâmetros (R_m , r_i e I_G) podemos utilizar “novo” voltímetro (construído) para efetuar medições de tensão até 5 V! É só fazermos a leitura da medição no galvanômetro e colocarmos na equação que calculamos a R_m e teremos o valor de tensão!

Bibliografia

1. Hennes, C. E. (Coordenador). Problemas experimentais em física. 4. ed. Campinas: Unicamp, 1993. v.
2. Tipler, P. A. Corrente elétrica e circuitos de corrente contínua.
3. Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo, ótica. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v. 2. p. 118-155.

Roteiro III - Medidas de Resistência Elétrica

Objetivos:

Introdução de várias técnicas para a medida de resistência e um estudo comparativo entre elas. Estudo da influência da resistência interna dos aparelhos na medida de resistências desconhecidas utilizando para isso associações de resistores em série e em paralelo.

Introdução:

Em uma das práticas anteriores aprendemos a construir voltímetros e amperímetros a partir de um galvanômetro. Nada foi dito quanto à perturbação que estes instrumentos causam no circuito. Nesta experiência esse ponto será discutido juntamente com as técnicas específicas que são utilizadas para a medida da resistência elétrica.

A medida da resistência elétrica de um dado elemento de circuito (resistor, lâmpada, diodo, termistor, etc....) consiste em última instância na determinação da corrente e tensão nesse elemento, e da aplicação da lei de Ohm; $V=RI$. Portanto o nosso problema consiste em: Como medir de forma precisa V e I ?

Na figura 1 estão indicadas duas possíveis maneiras de se medir a corrente I e a tensão V . Qual a diferença entre as duas configurações? Todo processo de medida é, antes de mais nada, um processo de interação, interferência. Assim se quisermos saber a temperatura de um copo com água temos que colocá-lo em contato com um termômetro que, por sua vez, absorverá um pouco de calor do copo, alterando, portanto, a temperatura do mesmo. Tanto melhor será o nosso termômetro quanto menos alterar a temperatura do sistema. Analogamente o mesmo acontece no caso elétrico, podemos dizer que o voltímetro nos diz quanto é a tensão em um certo elemento de circuito às custas de uma corrente desviada desse elemento. Então na figura 1(a), o amperímetro vai indicar uma leitura maior que a "real" e na figura 1(b) o voltímetro é que vai indicar uma leitura maior que a "verdadeira". No primeiro caso a resistência corrigida será dada por:

$$R = \frac{V}{I} \left[\frac{1}{1 - \frac{V/I}{R_V}} \right]$$

(1)

e no segundo caso temos a seguinte fórmula para a resistência corrigida:

$$R = \frac{V}{I} - R_a$$

(2)

onde R_a , é a resistência do amperímetro R_v , é a resistência do voltímetro e V e I são as leituras do voltímetro e do amperímetro, respectivamente.

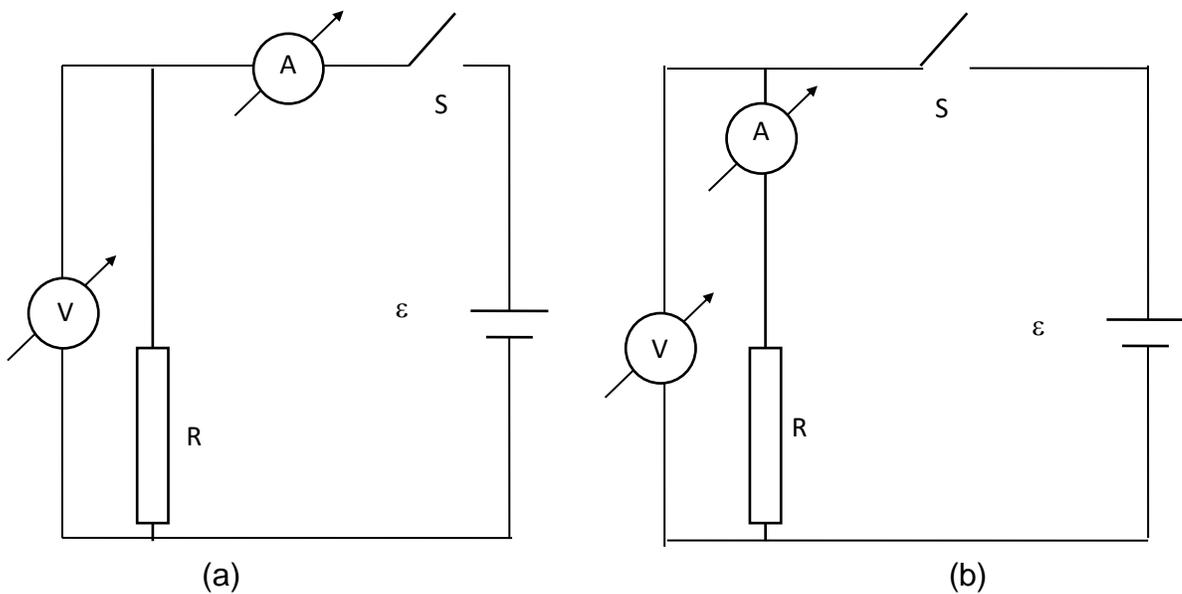


Figura 1: Diagrama esquemático mostrando dois possíveis circuitos para a determinação da resistência de um elemento.

Outra maneira para determinar o valor de uma resistência é utilizarmos o circuito apresentado na figura 2, que ilustra um **Ohmímetro** simples, onde R_d é a resistência desconhecida, R_1 é uma resistência de comparação, R_2 é uma resistência de ajuste de zero e V é um voltímetro. Neste caso a escala do voltímetro é calibrada para fornecer diretamente os valores em Ohms (Ω). A calibração é feita da seguinte maneira: inicialmente com as pontas de prova **a** e **b** em curto circuito o resistor é ajustado até que o voltímetro indique o fundo de escala, esse ponto é marcado zero ohm. Se agora as pontas de prova são conectadas a um resistor com $R_d = R_1$ o voltímetro indicará uma leitura de meia escala, esse ponto é marcado R_1 ; para $R_d = 3 R_1$, o voltímetro indica um quarto do fundo de escala, e temos o ponto $3R_1$, na escala. O valor de R_1 pode ser mudado de modo a ter-se uma faixa de leitura variável no aparelho.

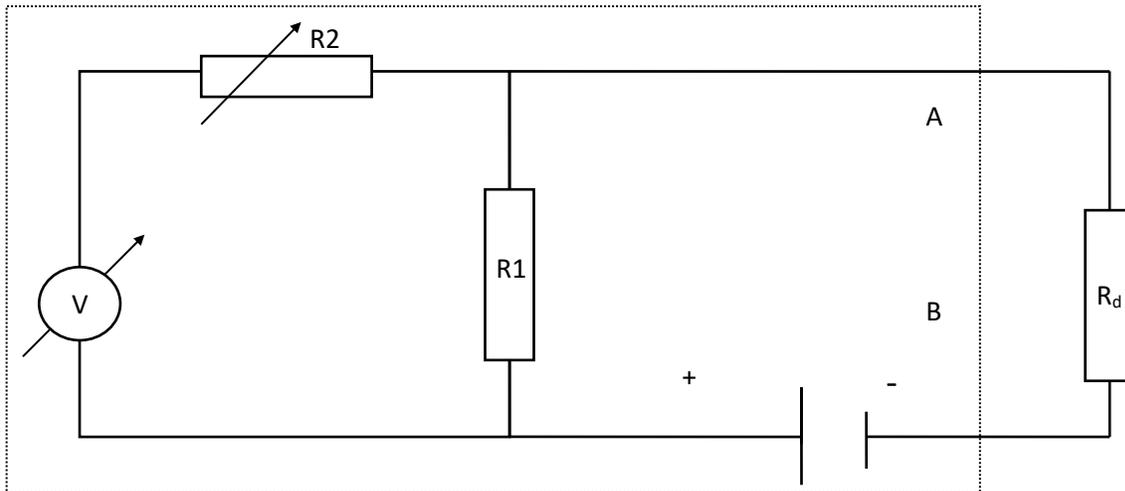


Figura 2: Diagrama esquemático de um **Ohmímetro** simples

Lista de Material:

1 voltímetro analógico
1 multímetro digital
Dois resistores de 10, 100, 1k, 10k e 100k Ω
1 fonte DC regulável
1 década de resistores
Fios de palha de aço bem fina
Cabos para conexões
1 placa para montagem de circuitos (similar a uma *protoboard*)

Procedimento Experimental:

1) Medidas de Resistência:

1.A) Medidas de resistência pelo método 1:

1.A.1) Monte o circuito da figura 4 abaixo e, com ε da fonte de alimentação igual a **10 V**, meça a **ddp** sobre o resistor **R_1 e R_2** (para comparação) e sobre os dois resistores em série, com o voltímetro analógico na melhor escala para $R_1=R_2=100\Omega$, $R_1=R_2=1k\Omega$, $R_1=R_2=10k\Omega$ e $R_1=R_2=100k\Omega$. Este circuito é um divisor de tensão.

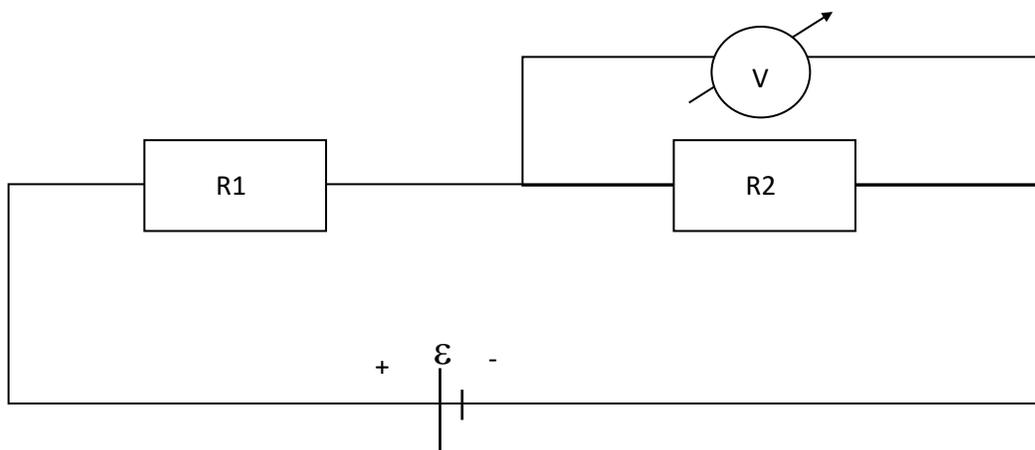


Figura 4: Circuito divisor de tensão.

1.A.2) Monte agora os circuitos da figura 1 para $R= 100, 1k, 10k$ e $100k\Omega$ e use ε próximo de 1V, 3V, 5V, 7V, e 10V e faça as medidas de V e I não esquecendo de anotar as características (resistência interna) dos aparelhos para calcular o valor de R com as devidas correções. Note que para cada resistor você terá uma tabela tal qual:

ε	Va	Ia	Ra	Vb	Ib	Rb

onde a e b referem-se às montagens (a) e (b) da Figura 1. Os valores de R são calculados através da lei do Ohm. Não se esqueça da propagação de erros para o relatório. Apresente também os valores de R calculados pelas fórmulas anteriores corrigidas para cada caso A e B.

1.A.3) Determine experimentalmente o valor de cada resistor segundo cada um dos métodos (a) e (b) anteriores fazendo um gráfico para cada resistor contendo as duas curvas de V em função de I.

1.A.4) Utilize agora o ohmímetro e meça o valor de todas as resistências fornecidas. Utilize diferentes escalas para ver o efeito sobre a precisão da medida. Sempre que mudar de escala o aparelho deve ser zerado. Expresse o resultado com todos os algarismos significativos. Anote o valor nominal de cada resistor medido.

2) Associações:

Após o estudo das seções anteriores para medidas de resistências, estamos agora interessados no caso de medidas envolvendo associações de resistores em série e em paralelo. Sabe-se que o sistema se comporta como um único resistor equivalente R_{eq} tal que $R_{eq} = \sum_i R_i$ (para o caso de associação em série) e

$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$ (para o caso de associação em paralelo). Em adição a isso: a) para o

caso de associação em série a soma da queda de potencial em cada resistor equivale à ddp total, e a corrente é única. b) para o caso de associação em paralelo a queda de potencial é a mesma em cada resistor, sendo que por cada um passa uma corrente diferente.

Antes de realizar a execução das próximas etapas procure fazer o desenho esquemático dos circuitos.

2.A) Associação em série:

2.A.1) Monte um circuito com a fonte regulável em série com os resistores de 1k, 10k, 100k Ω e o amperímetro ao mesmo tempo. Utilizando o voltímetro meça a tensão fornecida pela fonte externa. Procure ajustá-la para 10V. Meça a tensão sobre o conjunto equivalente aos três resistores em série.

2.A.2) A seguir, meça a queda de potencial individual em cada resistor colocando o voltímetro em paralelo com o resistor a ser medido.

2.A.3) Explore as suas medidas da melhor forma possível. Por exemplo compare o resultado teórico com o experimental, e compare os dois resultados experimentais utilizando o valor de uma única medida da queda de potencial sobre os três resistores com a soma dos três valores individuais.

2.B) Associação em paralelo:

2.B.1) Monte um circuito com a fonte regulável em série com o amperímetro e com o conjunto de três resistores de 1k, 10k, 100k Ω ligados em paralelo. Coloque o voltímetro para medir a queda de potencial sobre os resistores em paralelo. Utilizando novamente a fonte com 10V, meça a ddp e a corrente do circuito.

2.B.2) Insira o amperímetro dentro do sistema de três resistores em paralelo e faça leituras individuais da corrente que passa por cada um dos resistores.

2.B.3) Compare os resultados. Por exemplo compare os valores esperados teoricamente com os obtidos experimentalmente; compare o valor da corrente total experimental do circuito com a soma das correntes individuais; etc. Enfim, explore o experimento da melhor forma possível.

Observações importantes: (a) Sempre monte seu circuito e faça alterações no mesmo com a fonte desligada, ou na regulagem de mínima tensão. (b) Evite forçar o galvanômetro além de seu limite superior de modo a evitar danos ao mesmo. (c) Sempre confira totalmente seu circuito antes de realizar a coleta de dados. (d) Não toque os elementos do circuito quando em operação. Sempre desligue a fonte primeiro. (e) Não toque nos fusíveis quando em uso, principalmente na iminência

de ruptura. (f) Este é um experimento com muitas montagens experimentais diferentes. Procure estudar cada uma delas detalhadamente antes de iniciar os experimentos.

Bibliografia:

1. Keller, F.J., Gettys, W.E. e Skove, M.J., Física, vol. 2. MAKRON Books, São Paulo, 1999, cap. 26.
2. Boylestad, R.L., Introdução à Análise de Circuitos, 8a edição. Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1998, cap. 7.
3. Hennies, C.E., Guimarães, W.O.N., Roversi, J.A. e Vargas, H., Problemas Experimentais em Física, Vol. II. Editora da Unicamp, Campinas, 1993.

ANEXO

Identificação de valor de um resistor pelo código de cores

1ª cor-valor

2ª cor-valor

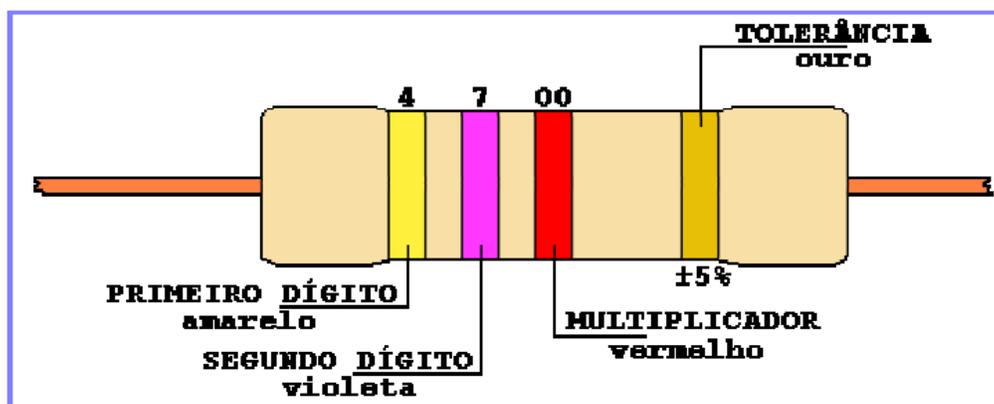
3ª cor-potência de 10

4ª cor-tolerância prata 10%, ouro 5%, sem cor 20%

Tabela de cores

Cores	1º anel 1º dígito	2º anel 2º dígito	3º anel Multiplicador	4º anel Tolerância
Prata	-	-	0,01	10%
Ouro	-	-	0,1	5%
Preto	0	0	1	-
Marrom	01	01	10	1%
Vermelho	02	02	100	2%
Laranja	03	03	1 000	3%
Amarelo	04	04	10 000	4%
Verde	05	05	100 000	-
Azul	06	06	1 000 000	-
Violeta	07	07	10 000 000	-
Cinza	08	08	-	-
Branco	09	09	-	-

Exemplo:



$$47 \cdot 10^2 \pm 5\% = 4,7 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

Roteiro IV - Elementos Passivos Dipolares

Objetivos: Estudar elementos passivos de circuitos lineares e não lineares com a construção de suas curvas características. Serão estudados três elementos diferentes: um resistor, uma lâmpada e um diodo.

Introdução:

Em eletricidade classificam-se os diversos elementos de circuito em várias categorias: Dipolos, Quadrupolos, Ativos, Passivos, etc... Nesta experiência vamos estudar dipolos passivos, i.e., estudaremos elementos que possuem dois terminais de acesso e que são receptores de corrente elétrica.

Os dipolos passivos dividem-se em lineares e não lineares. Os lineares são aqueles que obedecem à lei de Ohm, ou seja, existe uma proporcionalidade constante entre a tensão e a corrente que atravessa o dipolo. Quando traçamos o gráfico de $V \times I$ obtemos uma reta.

O levantamento da curva característica consiste na determinação simultânea dos valores de corrente e tensão sobre o dipolo e na construção do gráfico relacionando estas duas variáveis. A curva obtida normalmente é mais complexa que uma reta, portanto o gráfico é a forma mais simples de expressar essa relação.

Lista de Material: 1 amperímetro digital, 1 voltímetro analógico, resistores de 100Ω e $1k\Omega$, 1 diodo, 1 lâmpada de filamento, 1 fonte DC regulável, cabos para conexões, 1 placa para montagem de circuitos (similar a uma protoboard).

Procedimento Experimental:

O estudante deverá determinar a curva característica dos seguintes elementos: (a) resistor, (b) lâmpada de filamento e (c) diodo. Como visto na experiência anterior existem duas maneiras para a determinação de **V** e **I** sobre um dipolo; conforme indicado na figura 1.

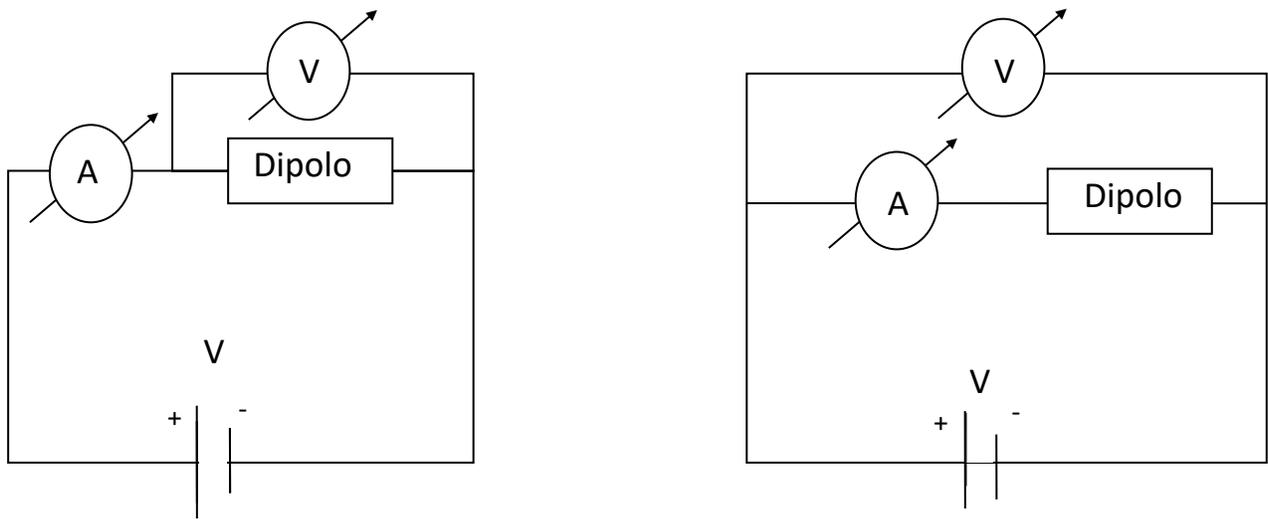


Figura 1: Circuito indicando duas possibilidades para obtenção de **V** e **I** .

A figura da esquerda representa o método 1 e a figura da direita representa o método 2.

Assim sendo, para cada elemento o aluno deverá montar uma tabela tal qual indicado abaixo:

V1 (=V2)	I1	I2

onde V_1 pode ser tomado como sendo igual a V_2 e os índices representam cada um dos métodos da figura 1.

2) Medidas com o diodo: Variando-se a fonte regulável devem ser tomados pontos para valores de $V_1(=V_2)$ iguais a -0.8, -0.7, -0.6, -0.5, -0.4, -0.3, +0.3, +0.4, +0.5, +0.6, +0.7, +0.8 volts. Note que no caso da medida com o diodo este deverá ser montado em série com um resistor de 100Ω que funcionará como divisor de tensão e facilitará a regulagem da fonte.

3) Medidas com o resistor: Deverá ser utilizada como amostra uma resistência de $1k\Omega$. Variando-se a fonte regulável devem ser tomados pontos para valores de $V_1(=V_2)$ iguais a -1.0, -0.9, -0.8, -0.7, -0.6, -0.5, -0.4, -0.3, +0.3, +0.4, +0.5, +0.6, +0.7, +0.8, +0.9 e +1.0 volts. Nesse caso não há necessidade de outro resistor para divisão de tensão. Meça o valor da resistência da amostra diretamente com o multímetro digital.

4) Medidas com a lâmpada: Variando-se a fonte regulável devem ser tomados pontos para valores de $V_1(=V_2)$ iguais a -5.0, -4.0, -3.0, -2.0, -1.0, -0.9, -0.8, -0.7, -0.6, -0.5, -0.4, -0.3, +0.3, +0.4, +0.5, +0.6, +0.7, +0.8, +0.9, +1.0, +2.0, +3.0, +4.0 e +5.0 volts. Nesse caso também não há necessidade de outro resistor para divisão de tensão.

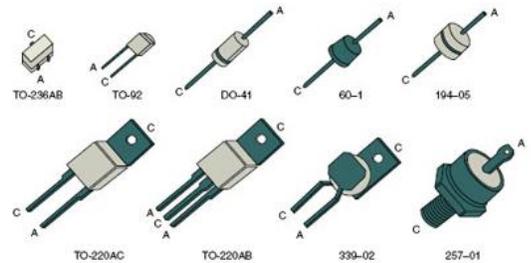
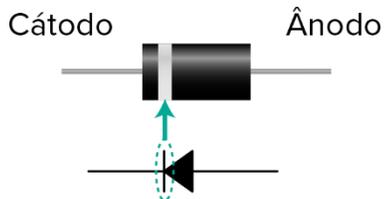
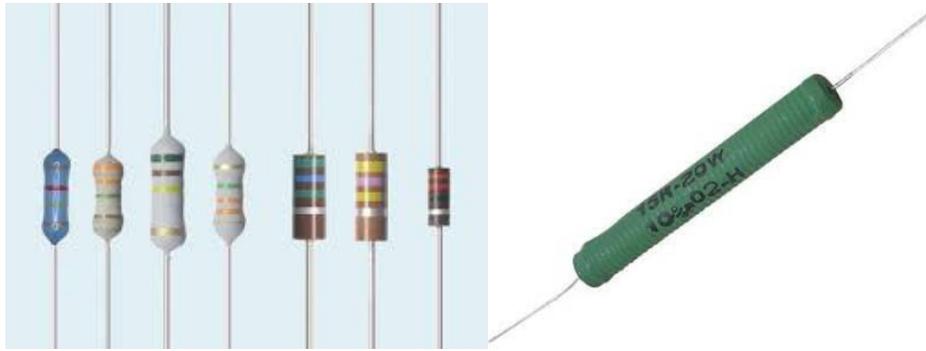
5) Anotar ou determinar o valor das resistências internas dos aparelhos utilizados para possíveis cálculos e correções. Estudar as diferenças entre os dois métodos para cada elemento, e fazer uma comparação dos elementos entre si.

Observações importantes: (a) Sempre monte seu circuito e faça alterações no mesmo com a fonte desligada, ou na regulagem de mínima tensão. (b) Sempre confira totalmente seu circuito antes de realizar a coleta de dados. (c) certifique-se da correta operação do multímetro digital. (d) Não há importância quanto a sequência de medida a ser adotada em relação os diferentes elementos. (e) a fonte regulável possui apenas uma polaridade, assim para se variar entre os valores negativos e positivos de tensão é necessário que se inverta a conexão física dos cabos. (f) não ultrapasse os limites de tensão e corrente aqui indicados para não danificar os elementos e equipamentos. (g) o conteúdo desse roteiro é o mínimo que se espera do aluno. Procure ter novas ideias e explorar as possibilidades da melhor maneira, consultando o professor antes de realizá-las.

Bibliografia:

Bibliografia

1. Keller, F.J., Gettys, W.E. e Skove, M.J., Física, vol. 2. MAKRON Books, São Paulo, 1999, cap. 26.
2. Boylestad, R.L., Introdução à Análise de Circuitos, 8a edição. Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1998, cap. 7.
3. Hennies, C.E., Guimarães, W.O.N., Roversi, J.A. e Vargas, H., Problemas Experimentais em Física, Roteiro sobre Medida de Resistência.



Resistores de vários valores e potencias, lâmpadas incandescentes com filamento de tungstênio, a esquerda uma lâmpada doméstica (que não será mais produzida no Brasil para se economizar energia elétrica) e a direita uma lâmpada para aparelhos e lanternas. Símbolo de um diodo e vários tipos físicos de diodos semicondutores

Roteiro V – Características Elétricas de Baterias

OBJETIVOS

Analisar o comportamento de um gerador de corrente contínua, uma pilha ou bateria, quando alimentando um circuito resistivo, entender a transferência de potência entre circuitos elétricos.

INTRODUÇÃO

As baterias ocupam um lugar de destaque no mundo moderno e são uma das soluções para armazenamento de energia, desde um telefone celular até um carro elétrico. Por causa disso são objetos de intensa pesquisa para melhorar a sua eficiência e densidade energética.

Quando geramos energia elétrica estamos na verdade transformando algum tipo de energia (química, mecânica, nuclear, térmica, etc.) em energia elétrica, no caso das baterias estamos lidando com a conversão de energia elétrica em química e vice-versa.

De uma forma geral o dispositivo que faz tal transformação de energia chama-se *gerador*. Duas das mais importantes características do gerador, são: sua força eletromotriz (*fem*), símbolo ε , e a sua resistência interna, símbolo r_i . A força eletromotriz é a tensão ou voltagem que o dispositivo pode fornecer e a resistência interna está associada aos processos dissipativos que sempre estão associados à conversão de energia. Uma fonte de tensão ideal terá uma tensão de saída constante para qualquer corrente, já uma fonte real não terá esse comportamento. A figura 1 mostra o que acontece.

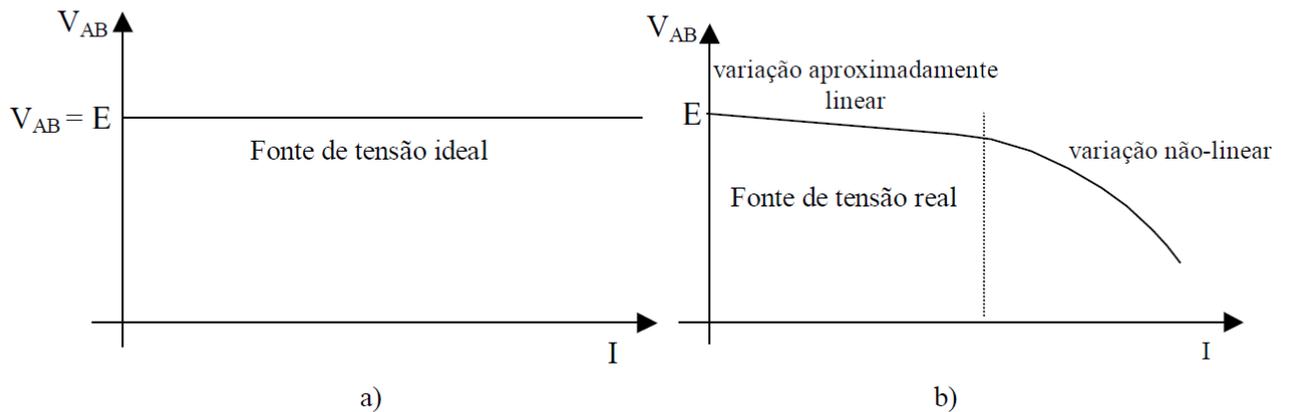


Figura 1 - Variação da tensão V_{AB} aos terminais de uma fonte de tensão de força eletromotriz ε , em função da corrente eléctrica I : a) para uma fonte ideal; b) para uma bateria. Quando a bateria funciona na zona de variação aproximadamente linear é bem modelada como sendo uma fonte ideal em série com uma resistência (a sua resistência interna) e é costume designá-la, então, por fonte de tensão real.

A força eletromotriz pode ser formalizada da seguinte maneira:

$$\varepsilon = \frac{W}{q} = \frac{W}{i\Delta t} \quad (1)$$

ou seja, a *fem*, ou *força eletromotriz* ε é a razão entre a energia transformada no gerador, e a quantidade de carga eléctrica posta em circulação. Se o gerador converte a energia W no intervalo de tempo Δt , mantendo uma corrente i , as fórmulas acima definem perfeitamente a força eletromotriz.

A potência, taxa de variação trabalho no tempo, fornecida por um gerador é dada por:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \varepsilon i \quad (2)$$

Para entender melhor o problema, vamos analisar o circuito abaixo:

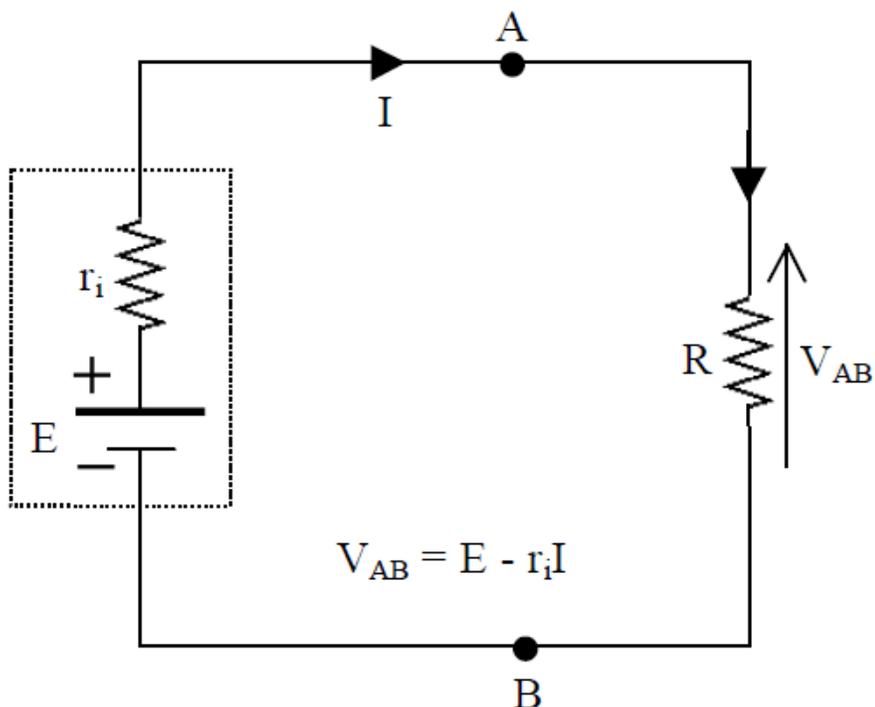


Figura 2 – Um gerador ligado em série a uma resistência R

O circuito tem gerador de força eletromotriz ε , resistência interna r_i e está ligado a um circuito externo que tem uma resistência equivalente R , que é chamada de resistência de carga.

O gerador proporciona ao circuito o aparecimento da corrente i . Devido à resistência interna r_i do gerador, parte da energia gerada, é dissipada na forma de calor. É por isso que as baterias esquentam quando são descarregadas ou recarregadas e até explodem em alguns casos!

Vamos supor que o gerador produza uma quantidade de energia W_G e devido à dissipação na resistência interna, uma quantidade de energia W_r é perdida. Assim, só o que sobra é transferido ao circuito externo, ou seja, é cedido à R :

$$W_G - W_r = W_R \quad (3)$$

Essa relação pode ser escrita como:

$$\varepsilon q = r_i^2 \Delta t + Vq = r_i(i\Delta t) + V(i\Delta t) \quad (4)$$

ou como $q = i\Delta t$, temos:

$$\varepsilon = r_i I + V_{AB} \quad (5)$$

o que mostra que a tensão (V) disponível nos terminais do gerador é sempre menor que sua fem. A fem ε é medida em volts, assim como a tensão disponível para o circuito externo V_{AB} .

PROCEDIMENTO

a) Material utilizado:

- 01 bateria simples de 1,5V (que será o nosso gerador)
- 01 década de resistores
- 01 voltímetro CC
- 01 miliamperímetro CC
- 01 resistor de 10 W.
- 06 fios de ligação

b) Montagem:

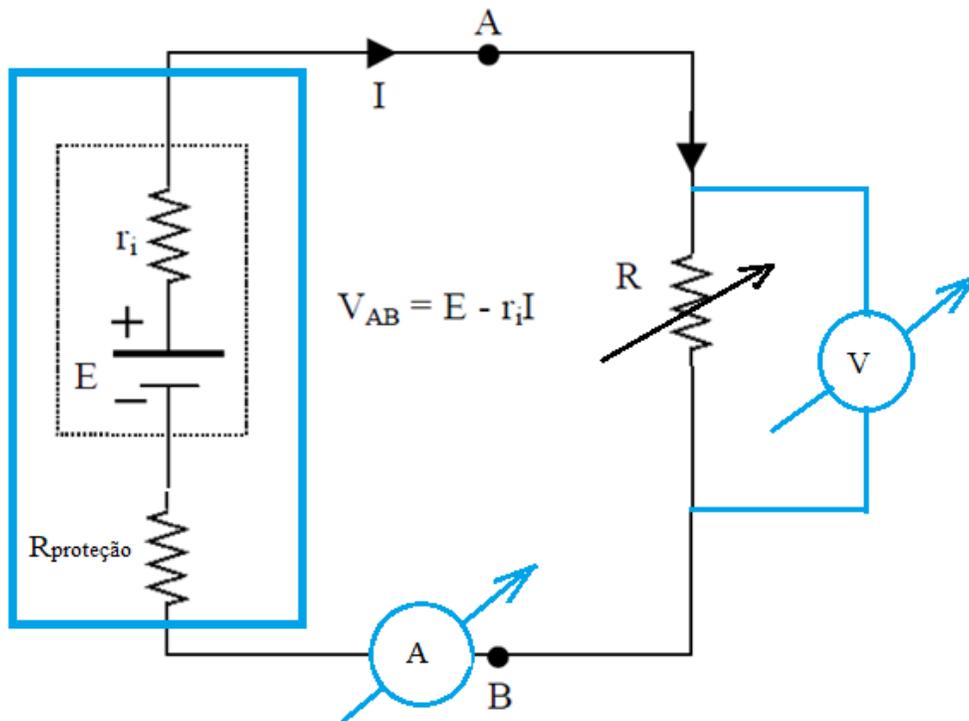


Figura 3 – Circuito para se determinar a força eletromotriz e a resistência interna do gerador.

c) Descrição do experimento:

1. Monte o circuito esquematizado.
2. Deixe a resistor variável em posição de resistência máxima e feche o circuito.
3. Varie a posição do cursor, anotando valores de tensão e corrente.

QUESTÕES

1. Faça o gráfico $V \times i$
2. No gráfico, procure o valor de V para $i = 0$. Compare este valor de V com o valor da voltagem indicado na bateria. O que se conclui disto?
3. No gráfico, verifique o valor de i para $V = 0$. Qual o significado deste valor?
4. Calcule a inclinação do gráfico $V \times i$ e analise o seu significado.
5. Escreva a equação da curva obtida através do gráfico.
6. Pelo gráfico é possível saber se a resistência interna da pilha é constante? Explique.
7. Se você tivesse um circuito com vários geradores ligados entre si, a relação $\varepsilon = r_i + V$ ainda valeria? Explique.
8. A tensão disponível nos terminais de uma bateria pode ser maior que, menor que, ou igual à sua *fem*? Explique.
9. Se a resistência interna do gerador fosse muito grande, o que aconteceria?
10. Faça um gráfico para potência do gerador em função da resistência de carga R .

Roteiro VI - Termômetros de Termopares

Objetivos: Entender o princípio de funcionamento de um termômetro de resistência e de um termopar realizando inclusive suas calibrações para medidas de temperatura.

Introdução:

A resistividade de muitos metais puros varia quase que linearmente com a temperatura em um grande intervalo de temperaturas. Em geral essa resistividade pode ser escrita como:

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

sendo ρ a resistividade em determinada temperatura T , ρ_0 a resistividade à temperatura de referência T_0 , e α o coeficiente térmico da resistividade. Assim sendo, em um intervalo limitado de temperatura pode-se aproximar o gráfico ligeiramente encurvado de ρ versus T por uma reta. Por exemplo utilizando-se um fio de cobre pode-se calibrar o valor da resistência medida em função da temperatura, construindo-se um termômetro.

Quando dois metais diferentes são unidos temos um termopar ou par termoelétrico. Se as junções destes metais são mantidas a temperaturas diferentes desenvolve-se uma **ddp** neste circuito conforme ilustrado na figura 1.

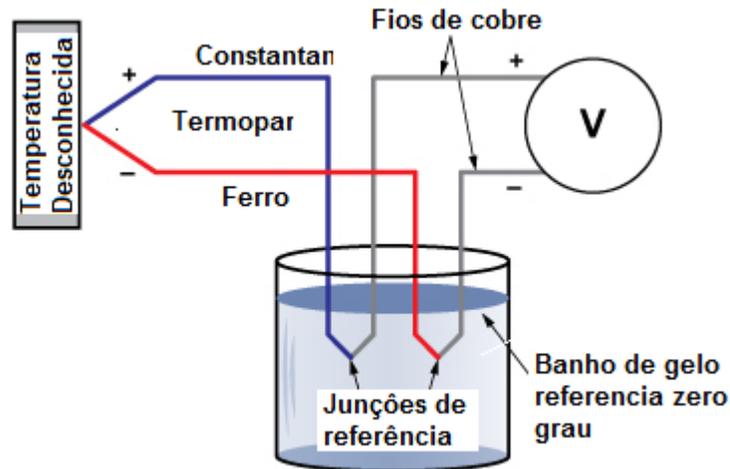


Figura 1: Termopar com referência a 0° C (gelo fundente)

Esta \mathcal{E} é uma função da diferença de temperatura entre as junções e, quando uma das junções é mantida a 0°C, é expressa pela seguinte lei:

$$\mathcal{E} = at + bt^2 \quad (2)$$

onde a e b são as constantes termoelétricas do par, e t a temperatura da outra junção. Um gráfico de \mathcal{E} contra temperatura fornece uma curva de calibração para o termopar. Devido à baixíssima energia absorvida por essas junções elas são amplamente utilizadas para medidas de temperatura. Os termopares mais comuns como por exemplo Cobre-Constantan varrem uma faixa de temperatura de -200°C (Nitrogênio líquido) até +400°C. Outros mais sofisticados como ferro-ferro dopado com ouro são utilizados na faixa de 1 a 10K (Hélio líquido). Seria muito difícil imaginar termômetros convencionais que cobrissem faixas tão amplas de temperaturas. A tabela abaixo ilustra alguns valores de tensões para os termopares mais comuns.

Força eletromotriz (mV), referência 0° C

Termopares

Temperatura de outra junção °C	Cobre-Constatan	Ferro-Constatan	Niquel-NiCr(12.5%)	Cromel-Alumel	Platina-PtRh (10%)	Platina Pt Rh (13%)
-100	-3.35	-4.82	-----	-3.49	-----	-----
10	0.39	0.52	0.33	0.40	0.06	0.06
20	0.79	1.05	0.66	0.80	0.11	0.11
30	1.19	1.58	1.0	1.20	0.17	0.17
100	4.28	5.40	3.3	4.10	0.64	0.65
200	9.29	10.99	6.6	8.13	1.43	1.47
300	14.86	16.56	9.9	12.21	2.31	2.40
400	20.87	22.07	13.2	16.39	3.24	3.40
500	-----	27.58	16.7	20.64	4.22	4.46
600	-----	33.27	20.2	24.90	5.22	5.56
700	-----	39.30	23.7	29.14	6.26	6.72
800	-----	45.72	27.2	33.31	7.33	7.92
900	-----	52.29	30.9	37.36	8.43	9.18
1000	-----	58.22	34.7	41.31	9.57	10.47
1100	-----	-----	38.6	45.14	10.74	11.82
1200	-----	-----	42.6	48.85	11.93	13.19
1300	-----	-----	-----	52.41	13.13	14.58
1400	-----	-----	-----	55.81	14.33	15.97
1500	-----	-----	-----	-----	15.55	17.36
1600	-----	-----	-----	-----	16.75	18.73
1700	-----	-----	-----	-----	17.95	20.09

O efeito da temperatura sobre metais ou junções de metais diferentes manifesta-se de três maneiras distintas:

1º) Efeito Seebeck. Se, num circuito fechado, constituído por diferentes materiais condutores (por exemplo, uma única malha formada com fios de cobre, de constantan e de ferro), as emendas (junções) dos diferentes metais estiverem a temperaturas diferentes, o circuito é percorrido por uma corrente elétrica.

2º) Efeito Peltier. Quando uma corrente elétrica flui através de uma junção de dois metais diferentes, há produção ou absorção de calor, e a ocorrência de um ou outro destes fenômenos depende do sentido, segundo o qual a corrente atravessa a junção. Verifica-se ainda, experimentalmente, que a quantidade de calor fornecida ou absorvida no efeito Peltier é proporcional à intensidade da corrente. Esse efeito é hoje utilizado principalmente para refrigeração de baixa potência. Um exemplo é a refrigeração de um tubo fotomultiplicador para diminuir o ruído térmico.

3º) Efeito Thompson. Sempre que existe um gradiente de temperatura num corpo condutor, existe também um gradiente de potencial elétrico. A explicação que a termodinâmica nos dá do efeito Thompson é, resumidamente, a seguinte: se aquecermos uma das extremidades de uma barra metálica, se estabelece ao longo da mesma um gradiente de temperatura. A agitação térmica dos elétrons será maior nas regiões em que a temperatura for mais elevada. A tendência de se estabelecer uniformidade de pressão do gás eletrônico, no condutor, acarreta uma concentração de elétrons, variável com a temperatura, e que se comporta como função decrescente desta. Em consequência, há um acúmulo de elétrons de condução na região de temperatura mais baixa. A **ddp** que aparece num termopar é devida ao efeito Seebeck.

Lista de Material: gelo, 1 ebulidor elétrico, 2 termômetros, 1 amplificador, 1 béquer de 1 litro, 1 m de fio de cobre, 1 m de fio de ferro, 1 multímetro digital, 2 canecas de isopor, 30 cm de fio de Constantan, 1 transformador 110 - 4 V (5A, isolado), ponta de carvão com pino banana, garra jacaré com pino banana, cabos para conexões.

Procedimento Experimental:

1) Construção do termopar:

Para fazer um termopar temos que fazer a junção de dois metais diferentes. Isto é conseguido produzindo-se uma fusão localizada na união dos mesmos. O esquema ilustrado na figura 2 é utilizado para isso. Quando o bastão de carvão toca os fios um pequeno arco é produzido fundindo o material e fazendo um bom contato. Utilizando este esquema faça o seu termopar de cobre e constantan dentro do béquer com água.

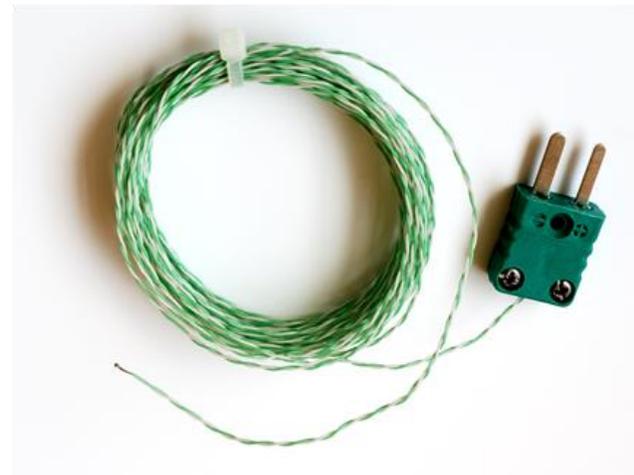
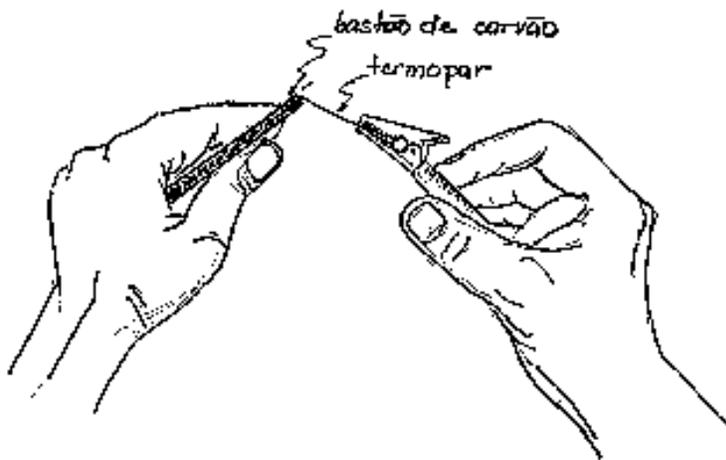


Figura 3: Ilustração para realizar a solda de dois metais diferentes (esquerda) e um termopar adquirido comercialmente.

2) Calibração do termopar:

2.1) Para o termopar de cobre-constantan: através da tabela de f.e.m. de termopares verifique as faixas de tensões produzidas quando uma das junções está a 0°C e a outra varia de 0 a 100°C . A seguir conecte o termopar à unidade amplificadora e posteriormente ao voltímetro, isso irá possibilitar que as pequenas voltagens produzidas no termopar sejam medidas por um voltímetro de sensibilidade moderada. A figura 3 mostra esse esquema. Note que é necessário zerar o amplificador de voltagem. A seguir faça uma curva de calibração do termopar utilizando um termômetro de mercúrio e água em diferentes temperaturas. Faça leituras desde temperatura ambiente até água fervente, ou vice-versa.

2.2) Para o termopar de cobre-constantan: repita o procedimento acima para uma das junções está a temperatura ambiente e a outra varia de 0 a 100°C .

2.3) Para o termopar de ferro-constantan: repita os passos acima 4.1 e 4.2.

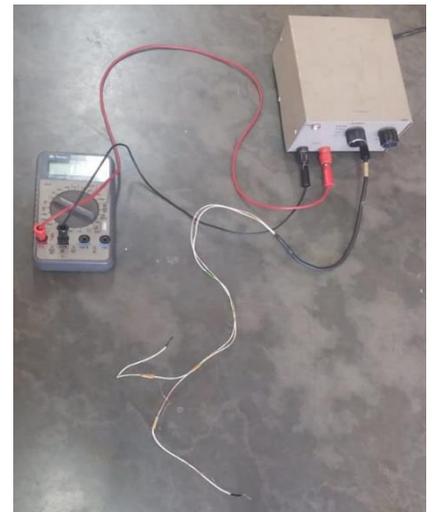
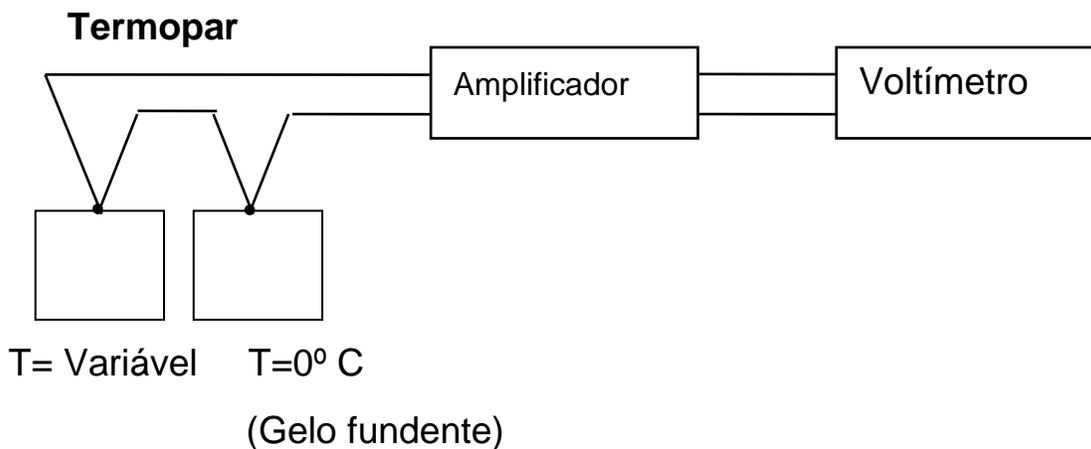


Figura 4: Esquema de ligação de termopar ao amplificador e voltímetro para medida da temperatura. A direita vê-se a fotografia do sistema.

2.4) Apresente gráficos e discuta seus resultados, se possível com comparações com os valores esperados, e fazendo uma comparação entre os diferentes tipos de termômetros estudados.

Observações importantes: (a) Existem poucos sistemas disponíveis para a solda e confecção dos termopares. Os alunos deverão utilizá-los em sistema de rodízio. (b) Procure fazer a caracterização dos fios separadamente antes de realizar a confecção do termopar. (c) Metade dos alunos irá realizar o trabalho com Cobre-Constantan e a outra metade com ferro Constantan. Ao final da coleta de dados haverá troca de informações a cada par de grupos de turmas diferentes. (d) procure explorar seus experimentos da melhor forma possível.

Bibliografia:

Bibliografia

1. Keller, F.J., Gettys, W.E. e Skove, M.J., Física, vol. 2. MAKRON Books, São Paulo, 1999, cap. 26.
2. Boylestad, R.L., Introdução à Análise de Circuitos, 8a edição. Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1998, cap. 7.
3. Hennies, C.E., Guimarães, W.O.N., Roversi, J.A. e Vargas, H., Problemas Experimentais em Física, Vol. II. Editora da Unicamp, Campinas, 1993.

Roteiro VII - Capacitores ou Condensadores

Objetivos: Estudo de capacitores ou condensadores, realizando: a) a determinação do valor de capacitâncias desconhecidas; b) observações de carga e descarga; c) associações em série e em paralelo; d) estudo de armazenamento e conservação de energia; e) a confecção de um capacitor simples de placas paralelas; f) estudo da influência da área das placas e separação entre elas; e g) determinação da constante dielétrica de diferentes materiais.

Introdução:

Os capacitores são elementos largamente utilizados em circuitos elétricos. Desempenham a função de filtros, armazenam energia, desacoplam estágios num circuito eletrônico, dentre outras. Assim, quando você sintoniza uma estação de rádio um capacitor está sendo ajustado para selecionar uma frequência característica, quando um flash eletrônico é acionado um capacitor está sendo descarregado através de uma lâmpada de arco voltaico, as fontes de alimentação estão repletas desses componentes.

Um capacitor (ou condensador) nada mais é do que dois condutores que interagem eletrostaticamente separados por um meio dielétrico (figura 1). Quando um dos condutores tem uma carga Q e o outro tem uma carga $-Q$, a capacitância é definida por $C = Q / V$ onde V é a diferença de potencial (ddp) entre os condutores. A unidade de capacitância é o Farad (Coulomb volt⁻¹), normalmente se utilizam os submúltiplos microfarad $= \mu F = 10^{-6} F$, nanofarad $= nF = 10^{-9} F$ e o picofarad $= pF = 10^{-12} F$.

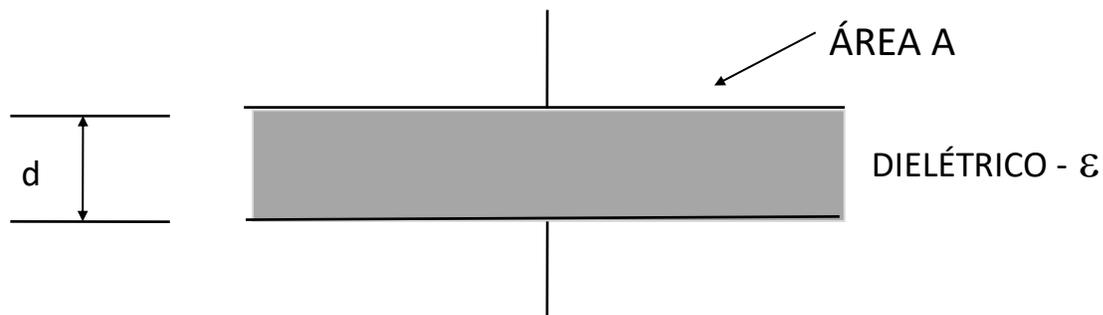


Figura 1: Capacitor de placas planas e paralelas

A capacitância C depende somente de fatores geométricos e constantes universais, por exemplo para um capacitor de placas planas e paralelas temos que a capacitância será dada por $C = (\epsilon A) / d$, onde A é a área das placas, d é a distância de separação entre elas, e ϵ é a constante dielétrica do meio material que preenche o espaço entre as duas placas. Baseado nesta equação podemos prever algumas aplicações em química tais como: determinação de espessuras e medida da constante dielétrica de solventes. Quais outras aplicações você consegue visualizar?

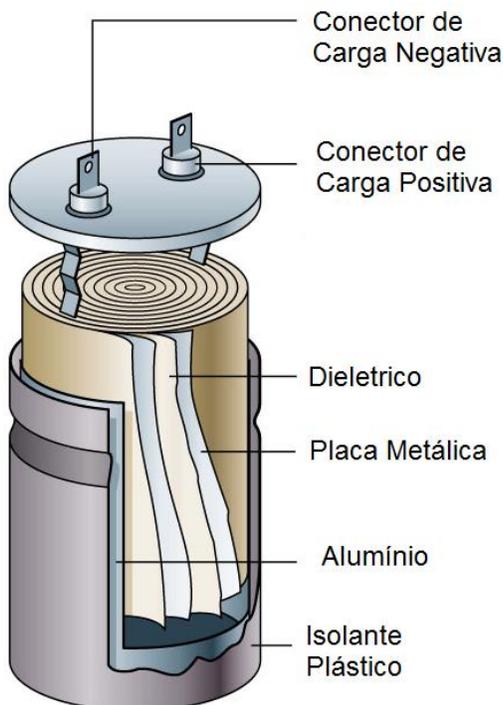


Figura 2: Vista em corte de um capacitor de placas planas e paralelas que é enrolado em forma de um cilindro (esquerda) e vários capacitores: eletrolíticos, cerâmica, poliéster, variáveis com núcleo de ar e com isolante de tântalo.

Lista de Material: 1 amperímetro digital; 1 voltímetro analógico; resistores de 100Ω e $1k\Omega$; condensadores de 47 , 100 e $220 \mu F$; 1 cronômetro; 1 fonte DC regulável; cabos para conexões; 1 placa para montagem de circuitos (similar a uma *protoboard*).

Procedimento Experimental:

1) Carga e descarga com medidas de capacitância:

1.A) Método 1: Um capacitor carregado quando ligado a um circuito tende a descarregar a sua carga através deste. Um circuito simples pode ser formado com um capacitor e um resistor como na figura 2(a). Pode-se mostrar que a voltagem medida nos terminais do capacitor irá variar segundo uma lei de decaimento exponencial com uma constante de tempo $\tau=RC$, onde **R** é o valor da resistência e **C** da capacitância. Utilizando o circuito da figura 2(b) analise a descarga dos capacitores de **47 μ F**, **100 μ F** e **220 μ F**. Note que quando a chave S é fechada o capacitor irá se carregar, e quando S for aberta o capacitor irá se descarregar através do circuito formado com a resistência interna do voltímetro. Através da curva de descarga do capacitor no circuito pode-se determinar o valor de sua capacitância. A tensão da fonte deve ser da ordem de **5-10 V**, dependendo do voltímetro em uso e do capacitor, a polaridade deve ser rigorosamente observada. Assim sendo, monte o circuito da figura 2(b) e meça a voltagem para intervalos de tempo regulares (por exemplo 5 segundos). Faça estas medidas para os capacitores fornecidos, anote o valor "exato" fornecido para posterior análise. Procure estimar o erro de suas medidas. Faça um gráfico da tensão V medida no voltímetro analógico em função do tempo contendo as três curvas dos três diferentes capacitores. Procure obter gráficos linearizados, procure estimar a constante de tempo, e comparar os valores experimentais com os correspondentes nominais teóricos.

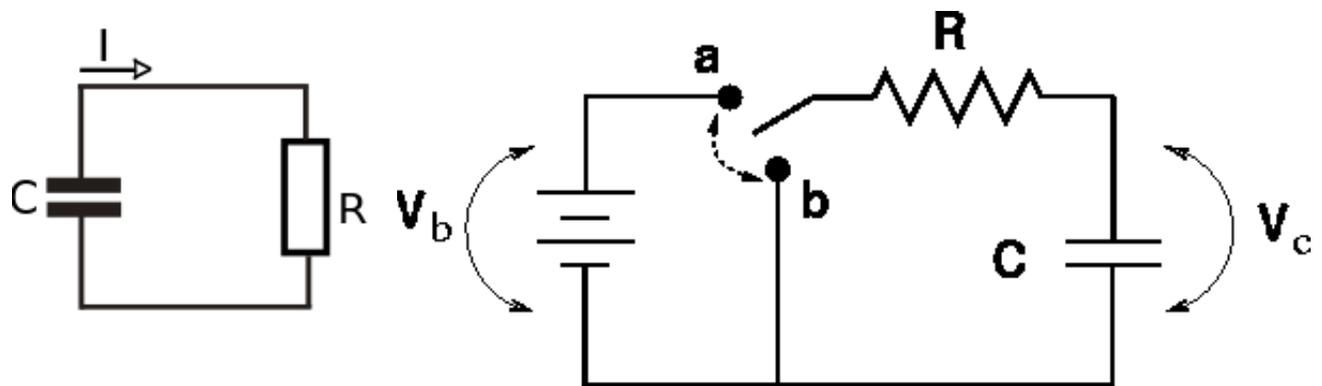


Figura 3: Circuito **RC** (direita) e montagem experimental utilizada para a medida de capacitância (esquerda), R simboliza a resistência do voltímetro que será usado para se medir a tensão em função do tempo.

Associações em série e em paralelo:

Utilizando-se da montagem da figura 2 substituir o capacitor C1 por:

a) associação em série dos capacitores de $100\ \mu\text{F}$ e $200\ \mu\text{F}$.

b) associação em paralelo de dos capacitores de $47\ \mu\text{F}$ e $100\ \mu\text{F}$.

Determine o valor da capacitância equivalente para cada caso e compare com o valor esperado teoricamente.

Observações importantes: (a) Sempre monte seu circuito e faça alterações no mesmo com a fonte desligada, ou na regulagem de mínima tensão. (b) Sempre confira totalmente seu circuito antes de realizar a coleta de dados. (c) certifique-se da correta operação do multímetro digital. (d) não ultrapasse os limites de tensão e corrente aqui indicados para não danificar os elementos e equipamentos.

Bibliografia:

1. Keller, F.J., Gettys, W.E. e Skove, M.J., Física, vol. 2. MAKRON Books, São Paulo, 1999, cap. 26.
2. Boylestad, R.L., Introdução à Análise de Circuitos, 8a edição. Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1998, cap. 7.
3. Hennies, C.E., Guimarães, W.O.N., Roversi, J.A. e Vargas, H., Problemas Experimentais em Física, Vol. II. Editora da Unicamp, Campinas, 1993.

Roteiro VIII – Demonstrações sobre Campo Magnético

Objetivos

Entender a natureza dipolar do campo magnético, distribuição de linhas de força, força de Lorentz, indução magnética.

Introdução

Os fenômenos magnéticos fascinam os seres humanos desde que foram descobertos por acaso na antiga Grécia. Por exibir uma força relativamente intensa sobre materiais a base de ferro foi objeto de vários estudos antes dos fenômenos elétricos. Nessa prática serão realizadas várias demonstrações para ajudar no entendimento da formulação teórica desses fenômenos

Experimentos

Experimentos serão realizados para evidenciar os seguintes fenômenos:

- Visualização de linhas de campo magnético através de limalhas de ferro e ferrofluidos para ímãs permanentes e fios com correntes elétricas
- Força magnética em um feixe de elétrons, força de Lorentz.
- Força magnética em um fio que conduz corrente elétrica
- Força entre fios que levam correntes elétricas
- Indução eletromagnética
- Freio eletromagnético
- Força em um anel condutor
- Temperatura de Curie

Roteiro IX - Campo Magnético Terrestre

Objetivos

Medição do campo magnético terrestre no local da experiência utilizando uma bússola como magnetômetro.

Introdução

Da lei de Biot-Savart pode-se mostrar que o módulo do campo magnético $B(z)$ produzido por uma bobina de N espiras, de raio R quando percorrida por uma corrente i é dado pela expressão:

$$B(z) = \frac{\mu_0 Ni}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

em que z é a distância ao longo do eixo da espira.

Quando duas espiras são montadas o longo do mesmo eixo (axialmente) separadas por uma distância igual ao seu raio temos uma bobina de Helmholtz. Esse arranjo fornece uma homogeneidade maior do campo magnético.

Uma maneira conveniente de medir esses campos magnéticos é usar um magnetômetro. Um magnetômetro simples nada mais é que uma bússola. Sabemos que a agulha da bússola se orienta na direção do campo magnético resultante. Então, se medirmos o ângulo formado pela agulha com o campo, obtemos o valor deste. Essa medida precisa ser feita com muito cuidado, garanta que a bússola esteja na horizontal e ao medir o ângulo tome cuidado para evitar erros de paralaxe, além disso as divisões da bússola não são muito refinadas o que exige mais atenção. Também se pode medir o campo magnético terrestre através do período de oscilação de um pêndulo magnético, mas isso não será feito nessa prática.

Materiais e Métodos

A figura 1 abaixo ilustra os materiais e equipamentos utilizados.

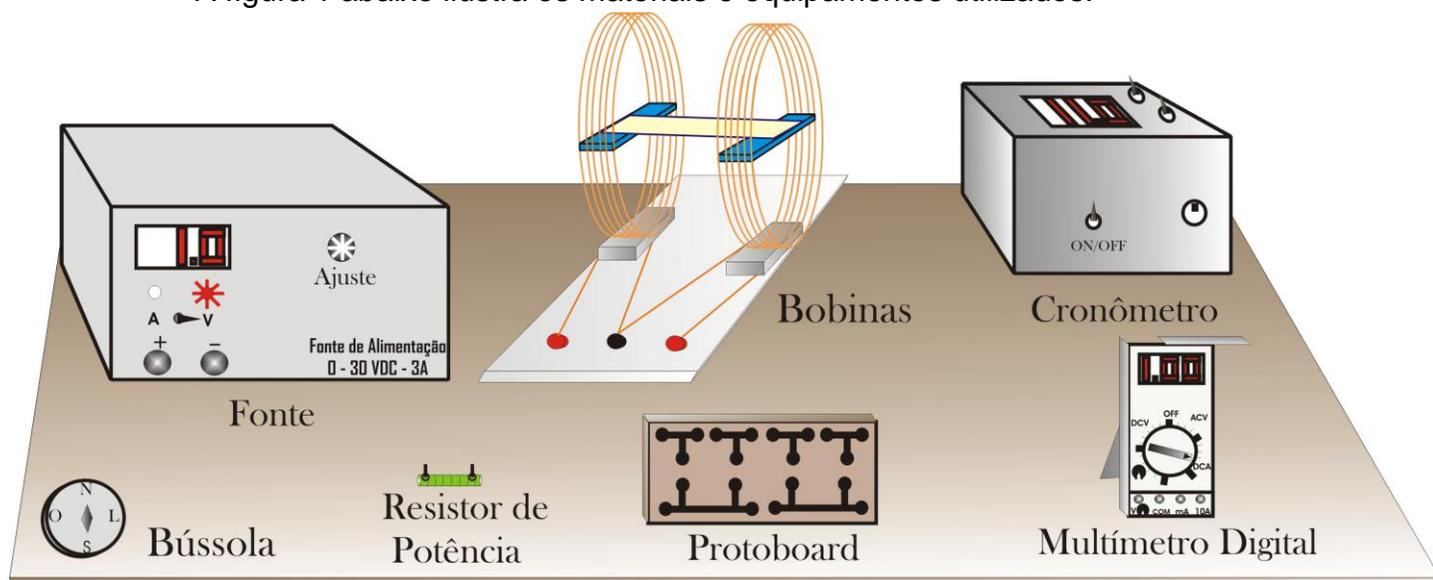


Figura 1 – Materiais e equipamentos utilizados na determinação do campo magnético terrestre. Nessa versão o cronômetro não será utilizado.

Procedimento Experimental e Análise dos Dados

Medição do Campo Magnético Terrestre

- Monte o circuito da figura 2, ajustando 0 V na fonte.
- Posicione a bússola no centro da bobina de modo que o seu eixo esteja perpendicular ao campo magnético terrestre local (faça isso girando o conjunto bobina-bússola).
- Aumente a tensão da fonte gradativamente anotando a corrente indicada no amperímetro a cada 5° (até 50°) mostrado na bússola.
- Trace gráfico de $\text{tg}\theta$ versus a corrente (mA), fazendo um ajuste linear e determinando assim o campo magnético terrestre.

- Se invertermos a polaridade da fonte (invertendo o fio preto com o vermelho), o que ocorre? Qual razão?
- Faça este mesmo experimento usando como fonte de campo magnético a bobina de Helmholtz, como indicado na figura 3 abaixo.
- Estime o valor do campo magnético terrestre no local e compare com valores publicados e determinados por outros métodos.

[Note a nova ligação feita para alimentar a bobina (de Helmholtz) como um todo e a nova posição da bússola entre as bobinas]

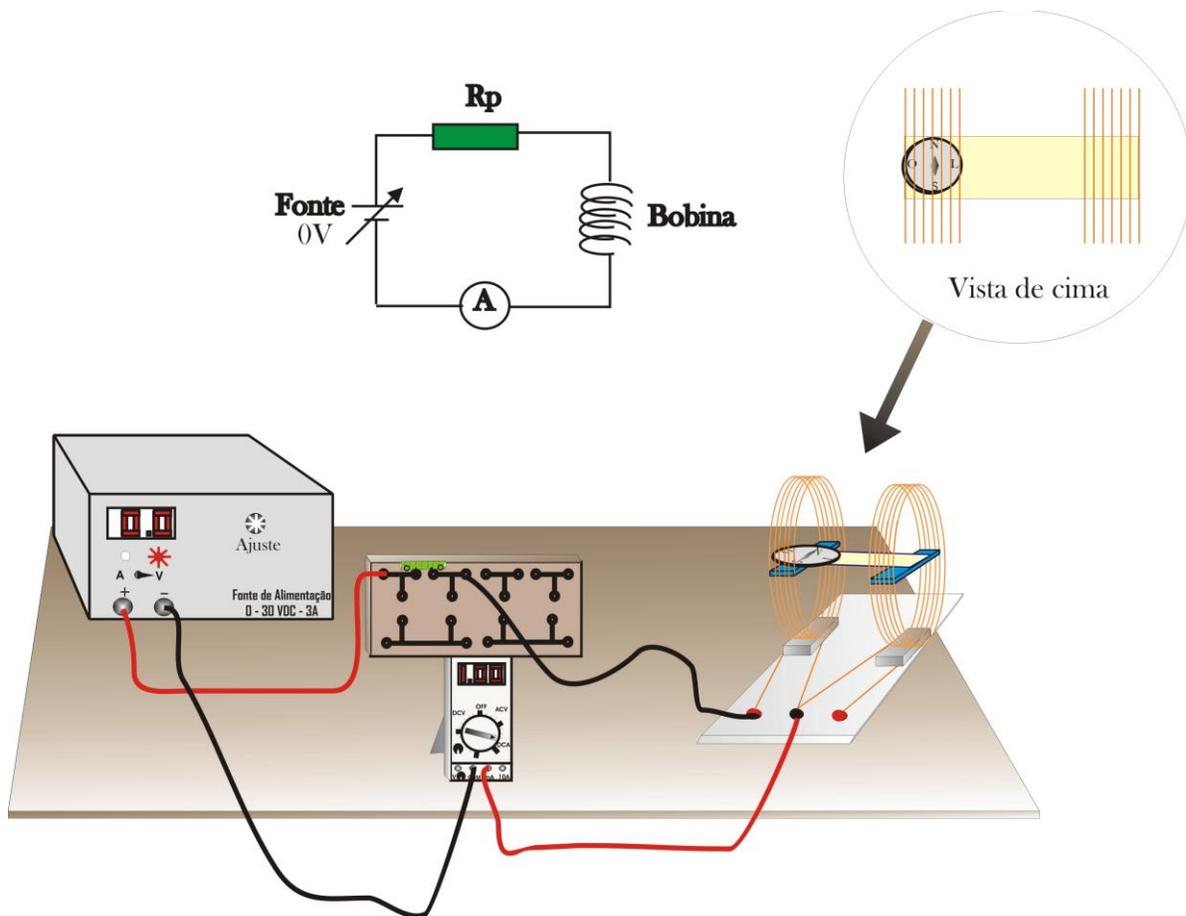


Figura 2 – Configuração experimental para medir o campo magnético terrestre utilizando apenas uma bobina.

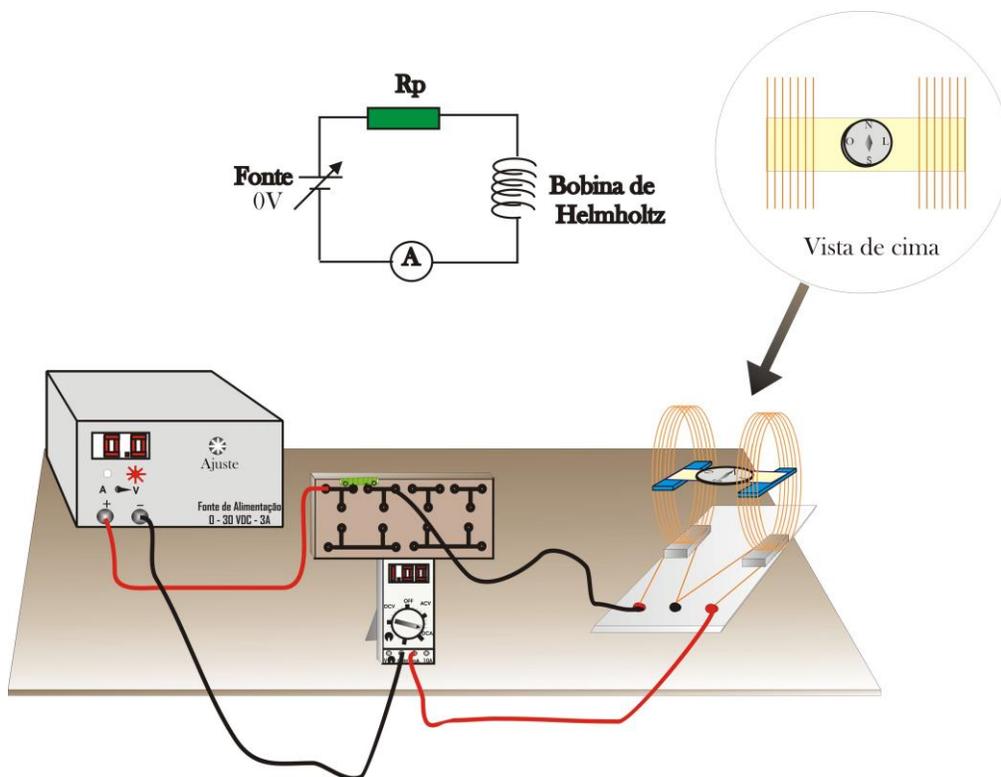


Figura 3 – Configuração experimental para determinação do campo magnético terrestre utilizando a bobina de Helmholtz.

Bibliografia

HENNIES, C. E. (Coord). Problemas experimentais em física. 4. ed. Campinas: Unicamp, 1993. v. 2.

TIPLER, P. A. Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo, ótica. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v. 2. cap. 28-30, p. 179-276.

Roteiro X - Balança de Ampère

Objetivos

Verificar a força entre condutores com a compreensão do funcionamento da balança de Ampère e sua utilização para a determinação da permeabilidade magnética do ar (μ_{ar}).

Introdução

A lei de Ampère é o equivalente da lei de Gauss para o magnetismo. Ela relaciona o campo magnético ao longo de um caminho fechado com o fluxo de corrente encerrado pelo mesmo, de acordo com:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I \quad (1)$$

em que μ_0 é a permeabilidade do vácuo, que vale $4\pi \times 10^{-7}$ Henry/metro (H/m). Para um condutor retilíneo, a lei de Ampère nos dá um campo circular, \mathbf{B} , centrado no fio, e tem a direção dada pela regra da mão direita (Figura 1), e seu módulo vale:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2)$$

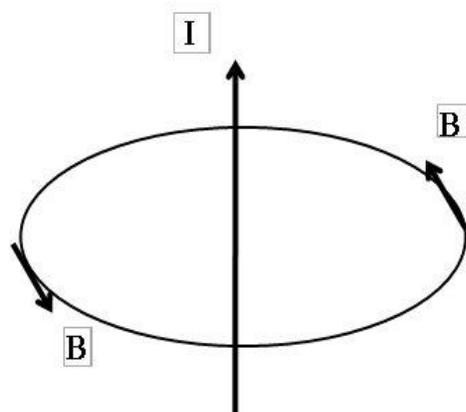


Figura 1. Fio retilíneo e o respectivo campo magnético produzido.

Quando aproximamos outro fio retilíneo, que também conduz uma corrente I , uma força de interação irá aparecer, dada por:

$$F = I l \times B \quad (3)$$

em que o campo B é dado pela expressão (1).

Como o ângulo entre I e B é 90° , temos que o módulo da força é dado por:

$$F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi r} \quad (4)$$

em que F é a força atrativa exercida entre os condutores 1 e 2 (ver figura 2). Note que quando os sentidos das correntes são opostos, a força é de repulsão.

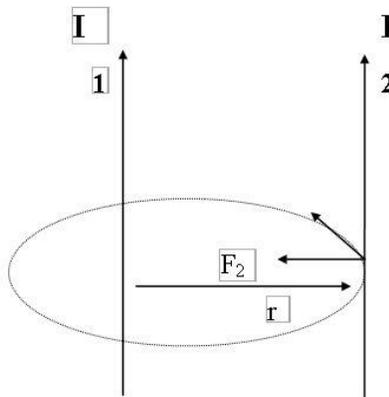


Figura 2. Força de atração entre dois condutores retilíneos com a corrente elétrica no mesmo sentido.

A força por unidade de comprimento no condutor dois (2) é dada pela expressão:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi r} \quad (5)$$

A expressão 5 nos dá uma definição da unidade de corrente no sistema internacional (SI), o Ampère, através de grandezas fundamentais:

“Quando dois condutores retilíneos e paralelos, separados por uma distância de um metro são percorridos por correntes iguais, a intensidade destas correntes será igual a um ampère quando a força por unidade de comprimento dos condutores for 2×10^{-7} Newtons por metro”.

O dispositivo construído nesta experiência, conhecido como balança de corrente ou balança de Ampère, tem o objetivo de medir essa força. Na figura 3, C_1 e C_2 são bobinas fixas contendo n_1 espiras, ambas enroladas no mesmo sentido (conduzindo na mesma direção). O condutor móvel C_3 tem a forma de uma bobina retangular contendo n_2 espiras e está suspensa pela parte central. Quando uma corrente circula pelo sistema, aparece uma força sobre a bobina móvel que deve ser convenientemente contrabalançada para permanecer na posição de equilíbrio. Analisando a figura, vemos que o campo gerado pelas bobinas fixas C_1 e C_2 tem módulo:

$$B = 2n_1 \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{\mu_0 n_1 I}{\pi r} \quad (6)$$

e que a bobina C_3 tem sobre cada um de seus braços uma força magnética dada por:

$$F_1 = n_2 I l_1 B \quad (7)$$

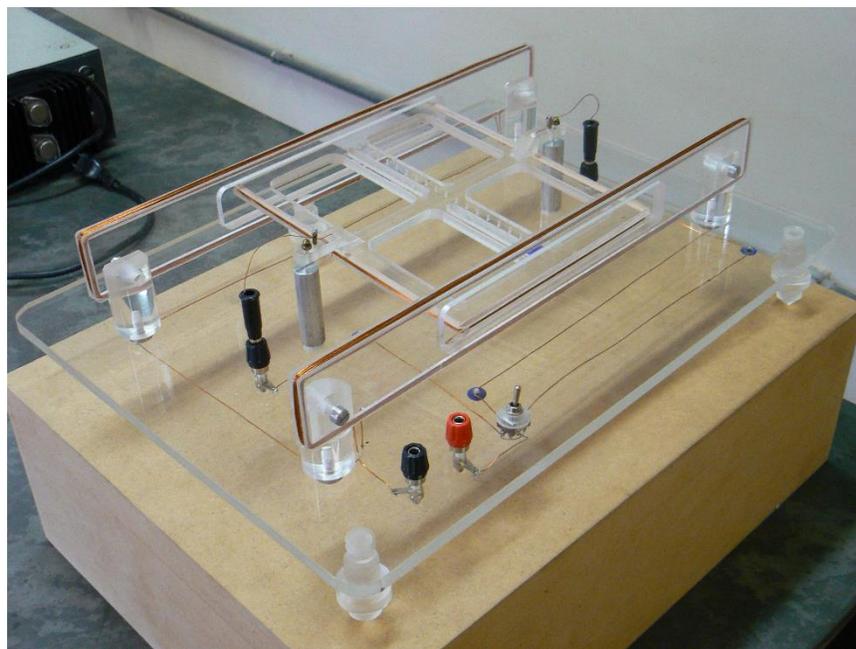
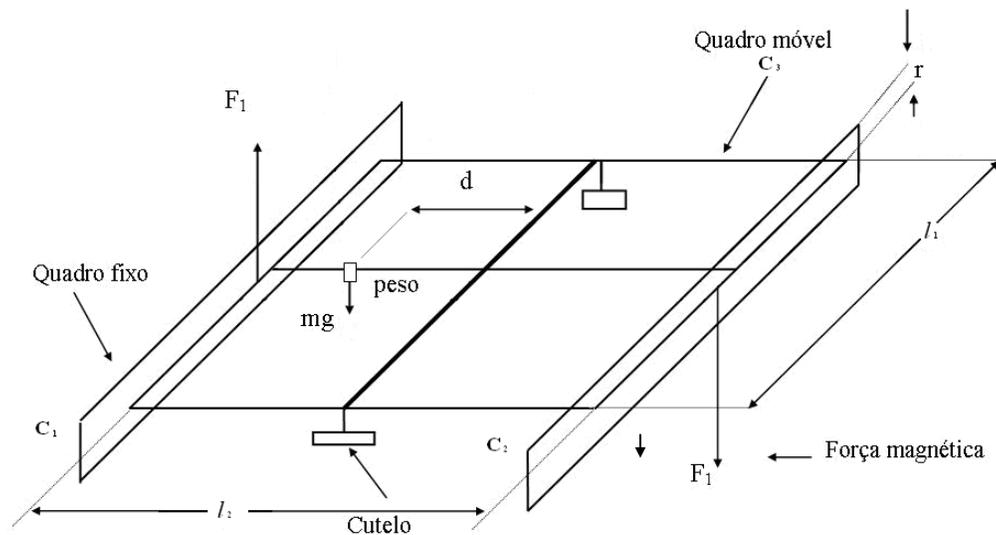


Figura 3. Diagrama esquemático e imagem de uma balança de Ampère.

Note que devemos considerar o campo magnético da Terra, sempre presente, de modo que na expressão (7), devemos substituir \mathbf{B} por $(\mathbf{B}_T + \mathbf{B})$. Para tornar tudo mais simples, convém alinharmos o campo produzido por \mathbf{C}_1 e \mathbf{C}_2 , perpendicular ao campo magnético da terra. Desta forma, estaríamos eliminando a

contribuição deste último. Feito isso, o torque magnético total sobre a bobina móvel pode ser expresso como:

$$T_{mag} = 2F_1 \frac{l_2}{2} = l_1 n_2 I B l_2 = \frac{l_1 l_2 \mu_0 n_1 n_2 I^2}{\pi r} \quad (8)$$

Para contrabalançar esse torque magnético, colocamos um peso a uma distância d do ponto de articulação que irá produzir um torque mecânico. No equilíbrio, temos:

$$T_{mec} = mgd = T_{mag} \quad (9)$$

$$mgd = \frac{l_1 l_2 \mu_0 n_1 n_2 I^2}{\pi r} \quad (10)$$

$$d = \frac{l_1 l_2 \mu_0 n_1 n_2 I^2}{mg \pi r} \quad (11)$$

Lista de Material:

- 1 balança de Ampère;
- Pesos e contrapesos;
- 1 balança;
- 1 bússola;
- 1 multímetro digital;
- 1 fonte DC regulável.

Procedimento Experimental:

1) Utilizando uma bússola, alinhe seu sistema de modo a eliminar a interferência do campo da Terra, ou seja, deixe o plano das bobinas C_1 e C_2 paralelo a B_T .

- 2) Com a corrente desligada, equilibre cuidadosamente a balança. Coloque o primeiro corpo de menor massa na balança e varie lenta e cuidadosamente a corrente até que seja atingido o equilíbrio. Anote os valores.
- 3) Repita essa medida para no mínimo 8 posições diferentes do peso, ou seja, para 8 valores diferentes de d . Faça o gráfico de I vs d e analise seus resultados.
- 4) Repita todo o procedimento anterior colocando o peso do outro lado da balança.
- 5) Repita todos os procedimentos anteriores para o outro corpo de maior massa.
- 6) Determine a permeabilidade magnética do ar (μ_0) e compare com o valor teórico, para os dois valores de massa.

Observações importantes: (a) Sempre monte seu circuito e faça alterações no mesmo com a fonte desligada, ou na regulagem de mínima tensão. (b) Sempre confira totalmente seu circuito antes de realizar a coleta de dados. (c) não ultrapasse os limites de tensão e corrente para não danificar os elementos e equipamentos. (d) **Esta é uma experiência de precisão. Faça as medidas o melhor possível, anotando todas as fontes de erro e a precisão das medidas. Ao final do experimento antes de desmontar o sistema faça o cálculo da permeabilidade magnética do vácuo μ_0** (e) o conteúdo desse roteiro é o mínimo que se espera do aluno. Procure ter novas ideias e explorar as possibilidades da melhor maneira, consultando o professor antes de realizá-las.

Bibliografia

1. Keller, F.J., Gettys, W.E. e Skove, M.J., Física, vol. 2. Makron Books, São Paulo, 1999, cap. 26.
2. Boylestad, R.L., Introdução à Análise de Circuitos, 8ª edição. Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1998, cap. 7.
3. Hennies, C.E., Guimarães, W.O.N., Roversi, J.A. e Vargas, H., Problemas Experimentais em Física, Vol. II. Editora da Unicamp, Campinas, 1993.

Roteiro XI – Susceptibilidade Magnética

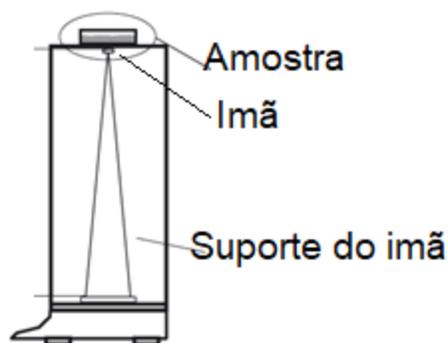
Objetivos

Estudar a susceptibilidade magnética de uma solução de um sal paramagnético usando uma balança de susceptibilidade.

Introdução

Estudar o artigo: Carneiro, A.A.O., Touso, A.T, Baffa, O. **Avaliação da susceptibilidade magnética usando uma balança analítica**. Química Nova, 26: 952 - 956, 2003.

Iremos reproduzir o experimento relatado na figura 3 da variação da força peso (m_0) medida na balança versus concentração mássica de alguns compostos paramagnéticos, tais com $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, em na solução. No lugar de uma balança de dois pratos uma balança eletrônica analítica de um prato será utilizada e isso vai trazer algumas modificações na montagem. A figura 1 mostra o perfil de uma balança analítica. Na parte superior é colocado um ímã de NdBFe de alta intensidade de campo e a amostra é colocada o mais próximo possível para termos a maior força possível de interação.



Mais detalhes serão apresentados pelos monitores na introdução ao experimento.

Roteiro XII- Osciloscópio

Objetivos: Adquirir experiência no uso de um osciloscópio para o estudo de sinais que variem com o tempo e determinar defasagem entre dois sinais.

1. Introdução

Conforme vimos até agora, o galvanômetro de D'Ansonval, que pode ser transformado em voltímetro, amperímetro e ohmímetro, e seu equivalente moderno, o multímetro digital, são instrumentos importantes para a realização de medições elétricas. Na maior parte dos experimentos que realizamos com esses instrumentos, as voltagens e correntes eram contínuas (DC) ou variavam lentamente no tempo, como no experimento de descarga de um capacitor. Imagine agora a situação em que se pretende utilizar um galvanômetro de D'Ansonval para medir sinais que variam rapidamente no tempo, por exemplo, com uma frequência de 60 Hz (frequência da rede elétrica). Seria isso possível? A resposta é não, pois a inércia do sistema mecânico desse aparelho não permite uma resposta tão rápida.

Uma maneira de se observar sinais com frequências de até 1 GHz é através de um osciloscópio. Esse instrumento está baseado em um tubo de raios catódicos, similar ao de um aparelho de televisão, no qual um feixe de elétrons é movimentado rapidamente pela aplicação de campos eletromagnéticos e, ao atingir uma tela fosforescente, emite luz.

A figura 1a ilustra um diagrama esquemático de um osciloscópio típico que tem o seu painel mostrado na figura 1b. Para a correta apresentação dos sinais, na tela desse equipamento, vários ajustes de escala são necessários. Em outras palavras, dada a versatilidade de medições desses equipamentos, precisamos alterar as escalas que eles trabalham, de modo a possibilitar, por exemplo, a correta exibição de sinais de amplitude de 10V pico a pico (Vpp), com 100 Hz, e sinais de 0.1Vpp, e 10 Hz. Para tanto, esses equipamentos possuem escalas previamente calibradas em Volts/Divisão (V/div.) que podem ser variadas por um botão, e

alterações de escala de tempo, que podem ser ajustadas por outro botão. Esses equipamentos, ainda, têm a possibilidade de medir mais de um sinal, ao mesmo tempo, que serão ligados a diferentes canais (Ch1 e Ch2) do osciloscópio. Em seguida, esses sinais passam por uma chave seletora que permite exibir o Canal 1, o canal 2 ou ambos, simultaneamente, e a soma dos dois canais. Essas possibilidades facilitam muitas análises de circuitos.

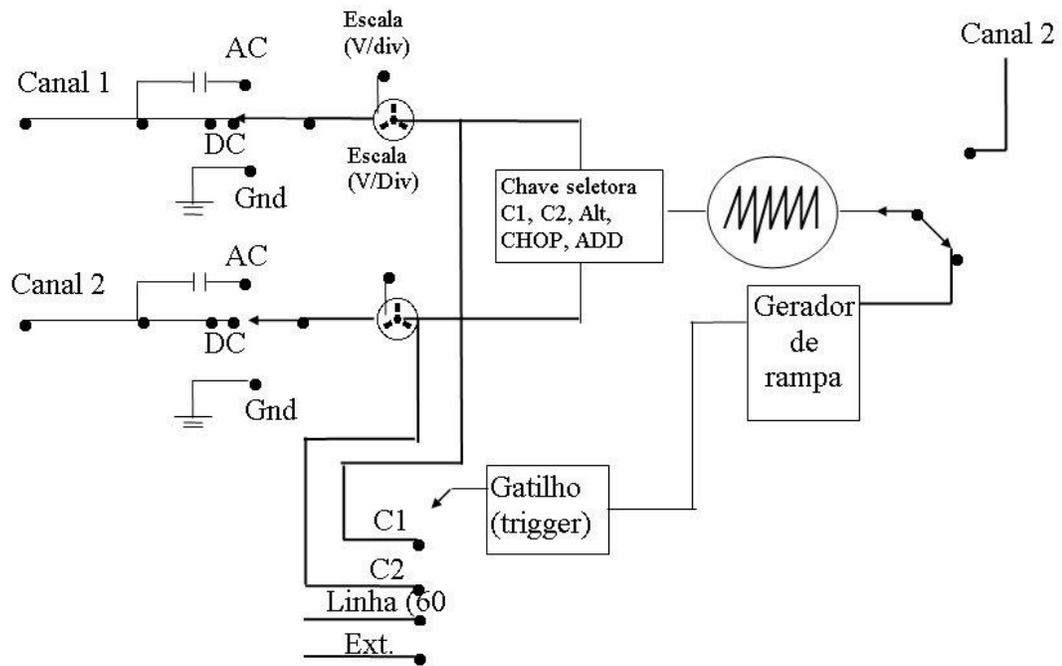


Figura 4. (a) Diagrama esquemático simplificado de um osciloscópio (b) Painel de controle de um osciloscópio de 2 canais.

O osciloscópio pode também funcionar em um modo X-Y, o que permite a possibilidade que gráficos de duas variáveis possam ser visualizados. Sendo que o canal 2 se transforma na coordenada x.

Este roteiro fornece informações básicas sobre osciloscópios, que permitem a familiarização e o uso adequado dos diversos controles dos mesmos. As informações contidas neste roteiro são necessárias para o uso de qualquer um dos osciloscópios do laboratório. Osciloscópios são instrumentos indispensáveis em qualquer laboratório, e em situações tão diversas como o diagnóstico médico, mecânica de automóveis, prospecção mineral, etc.

2. FUNDAMENTOS BÁSICOS PARA SE UTILIZAR UM OSCILOSCÓPIO

Osciloscópios são basicamente dispositivos de visualização gráficos que mostram sinais de tensão elétrica no tempo. Eles permitem observar numa tela plana uma diferença de potencial (ddp) em função do tempo, ou em função de outra ddp.

O elemento sensor é um feixe de elétrons que, devido ao baixo valor da sua massa e por serem partículas carregadas, podem ser facilmente aceleradas e defletidas pela ação de um campo elétrico ou magnético. Um osciloscópio pode ser utilizado, entre outras funções, para:

- Determinar diretamente o período e a tensão de um sinal;
- Determinar indiretamente a frequência de um sinal;
- Localizar avarias em um circuito;
- Medir a diferença de fase entre dois sinais periódicos;

A diferença de potencial é lida a partir da posição de um ponto luminoso numa tela retangular graduada. A mancha resulta do impacto do feixe de elétrons num alvo revestido de um material fosforescente. Embora osciloscópios só permitam a visualização de sinais de tensão, outros tipos de sinais podem ser determinados de forma indireta utilizando esses aparelhos.

O monitor de um osciloscópio é, geralmente, um retângulo de 10cm x 8cm, subdividido em quadriculos que permitem a leitura dos sinais visualizados, conforme mostrado na Figura 2.

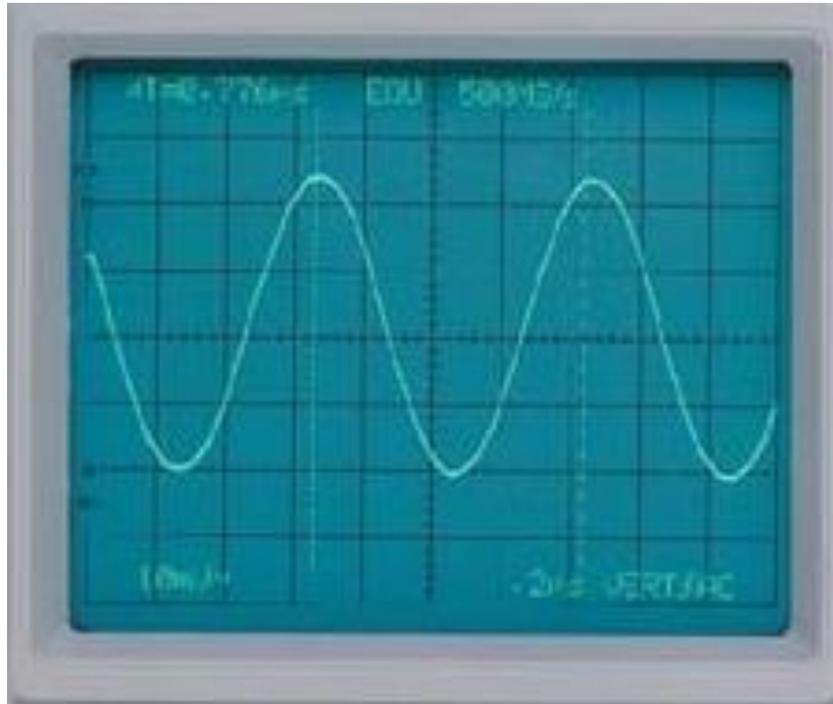


Figura 2: Tela de um osciloscópio mostrando um sinal senoidal. O reticulado quadrado é a escala de medida em X e Y e cada divisão irá ser ajustada pelo respectivo seletor (Volts/div e tempo/div)

Os eixos, vertical e horizontal, possuem escalas que são ajustadas pelos seletores de base de tempo e amplitude, que serão detalhados no Item: **Seleção das escalas de tempo e de amplitude**. No modo X-Y os eixos vertical e horizontal representam apenas tensões, enquanto que no modo X-t (ou Y-t) a direção vertical representa tensões e a direção horizontal representa o tempo.

Para se medir um sinal elétrico com um osciloscópio, é necessário se dispor das “ponteiros de prova”, que deverão ser conectadas aos canais do osciloscópio e à fonte do sinal elétrico que se deseja medir.

2.1 Canais do osciloscópio

Os osciloscópios utilizados no laboratório são de dois canais, o que significa que dois sinais podem ser observados (simultaneamente ou não) com o instrumento. Existem também osciloscópios de quatro canais. Cada um dos canais possui uma entrada para uma ponteira de prova e alguns comandos independentes, que serão detalhados posteriormente.

2.1.1 Seleção do canal a ser mostrado na tela do osciloscópio

Tanto os osciloscópios analógicos quanto os digitais permitem a visualização de qualquer um dos seus dois canais, ou dos dois canais de forma simultânea. Para isso, existem botões com as seguintes funções:

- CH1: mostra o sinal do canal 1;
- CH2: mostra o sinal do canal 2;
- ALT e CHOP: as duas opções mostram os dois canais de forma simultânea, a forma como isso é feito é diferente nos dois casos, mas para fins de observação o efeito é o mesmo.
- ADD: mostra um sinal correspondente à soma do sinal do canal 1 com o sinal do canal 2.

2.2 Forma de onda para teste dos osciloscópios e das ponteiras.

Os osciloscópios do laboratório possuem uma forma de onda de tensão que é gerada internamente, para testar o próprio instrumento e as ponteiras de prova. Para observar essa forma de onda, deve-se conectar uma ponteira de prova a um dos canais do osciloscópio e à saída do próprio osciloscópio, que fornece essa forma de onda.

Geralmente, essa forma de onda é um pulso retangular de amplitude variável, especificada no próprio painel do instrumento. Assim, quando a referida conexão for feita, a imagem da Figura 3 deverá aparecer na tela do osciloscópio:

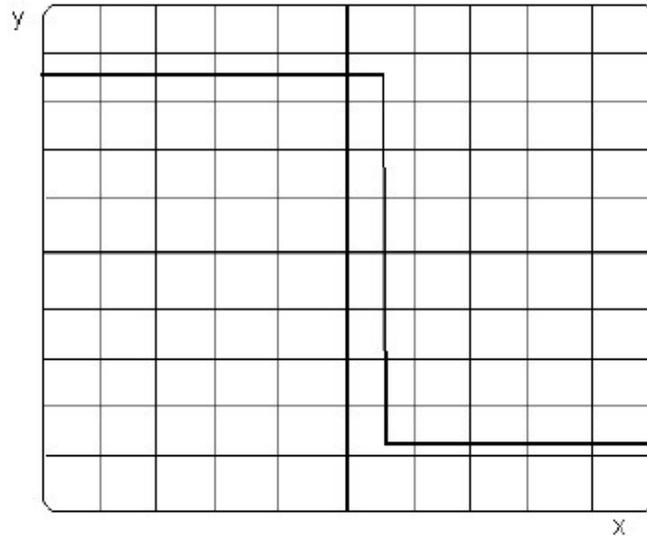


Figura 3: Sinal de calibração do osciloscópio

2.3 Seleção do Modo de Funcionamento

Pode-se selecionar o modo de funcionamento dos osciloscópios conforme descrito a seguir:

a) Modo X-T

Neste modo de funcionamento observamos no monitor os sinais presentes nas entradas CH1 e/ou CH2 em função do tempo.

b) Modo X-Y

Neste modo de funcionamento observamos no monitor o sinal do canal CH1 em função do sinal do canal CH2.

2.4 Seleção das escalas de tempo e de amplitude

Os botões para selecionar as escalas horizontal e vertical do osciloscópio permitem um ajuste da imagem de acordo com a frequência e a amplitude de um sinal.

O ajuste da escala de tempo é comum aos dois canais do osciloscópio. A escala de amplitude é independente para cada um dos canais do osciloscópio.

A Figura 4 mostra, entre outros comandos já descritos neste roteiro, os seletores de tempo (“Time Base”) e amplitude (Ampl. 1 e Ampl. 2) que aparecem no painel de um osciloscópio analógico. O ajuste dos seletores das escalas de tempo e de amplitude varia de acordo com o sinal a ser analisado.

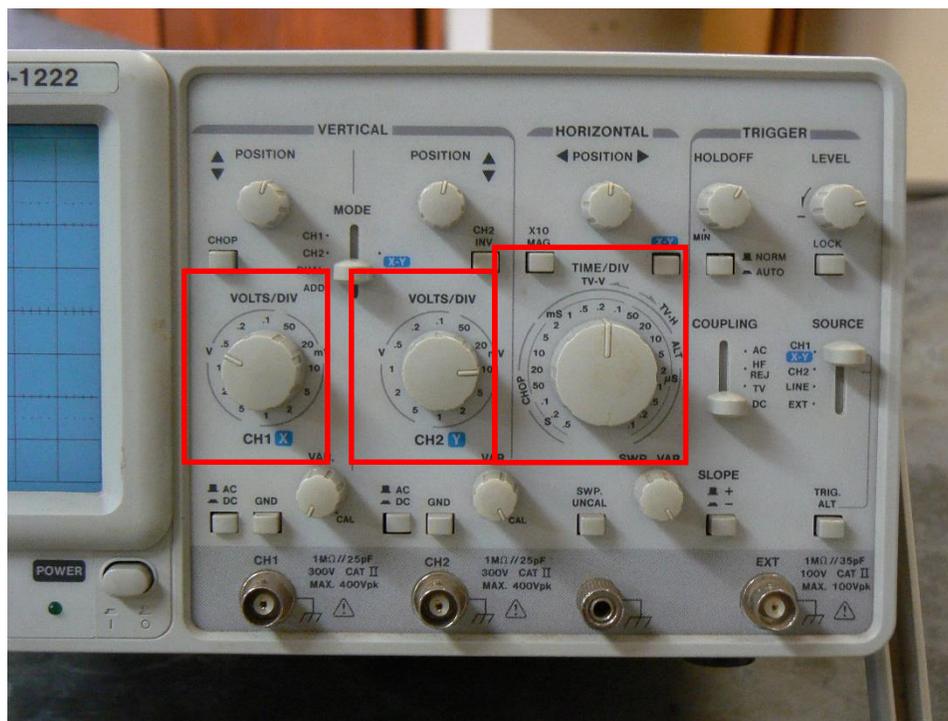


Figura 4: Seletores de tempo (TIME/div) e amplitude (VOLTS/DIV). Logo abaixo temos as entradas dos canais 1 e 2.

2.5 O que significa o seletor AC/DC/GND

Os sinais elétricos a serem observados no laboratório são geralmente constituídos por duas componentes: uma componente variável no tempo, e uma componente contínua. O seletor AC/DC/GND permite a filtragem da componente contínua dos sinais, bem como visualizar na tela a posição correta para a referência (terra ou

“tensão-zero”) do circuito que está sendo observado. Assim, esse seletor tem o seguinte significado:

DC: o sinal de entrada é mostrado integralmente (componente contínua e componente variável no tempo).

AC: apenas a componente do sinal variável no tempo é mostrada, sendo filtrada a componente contínua do sinal.

GND: mostra a posição “terra” do circuito na tela do osciloscópio.

2.6 Ajustando a posição do sinal na tela do osciloscópio

Os osciloscópios permitem ajustar a posição de um sinal na tela. Para isso, deve-se utilizar os botões giratórios, denotados por “X-POS” (posição horizontal) e “Y - POS”(posição vertical). Estes comandos aparecem na Figura 4.

FAÇA:

- Ligue o aparelho e aguarde até que o traçado apareça na tela. Com as chaves do canal 1 e 2 em **GROUND** ajuste o zero no centro da tela.
- Ajuste o **FOCO** e a **INTENSIDADE** para que se tenha um traçado fino e nítido. Cuidado, pois um traçado muito intenso pode danificar a tela. Procure se familiarizar com o aparelho e localizar os botões que controlam todas as funções citadas acima.
- Com o osciloscópio em **DC** e com a chave de ganho na posição de calibração **Cal** conecte agora o cabo de entrada ao gerador interno de referência observe o sinal na tela. Varie o ganho do amplificador vertical até obter a calibração esperada.
- Varie a escala vertical e verifique se existe mudança. Inverta agora a polaridade e observe o traçado. Nessa função, o osciloscópio funciona como um multímetro, que já estamos habituados.

2.7 Medições com o osciloscópio

Pode-se realizar uma série de medições com o osciloscópio. Algumas delas serão exploradas nesta seção.

2.7.1 Período e Frequência

A Figura 5 mostra um exemplo de medição de período e frequência de um sinal periódico (que se repete no tempo). No caso mostrado, a forma de onda se repete 3 vezes em um segundo, ou seja, leva $1/3$ de segunda para completar um ciclo, o que corresponde ao período. A frequência é o inverso do período, assim a onda mostrada nessa figura tem frequência de 3 Hz (três ciclos por segundo).

Importante: para se medir o período (e a frequência) de uma onda em um osciloscópio, deve-se estar atento à escala de tempo que está sendo utilizada, para saber a quantos segundos corresponde cada divisão horizontal do gráfico mostrado na tela.

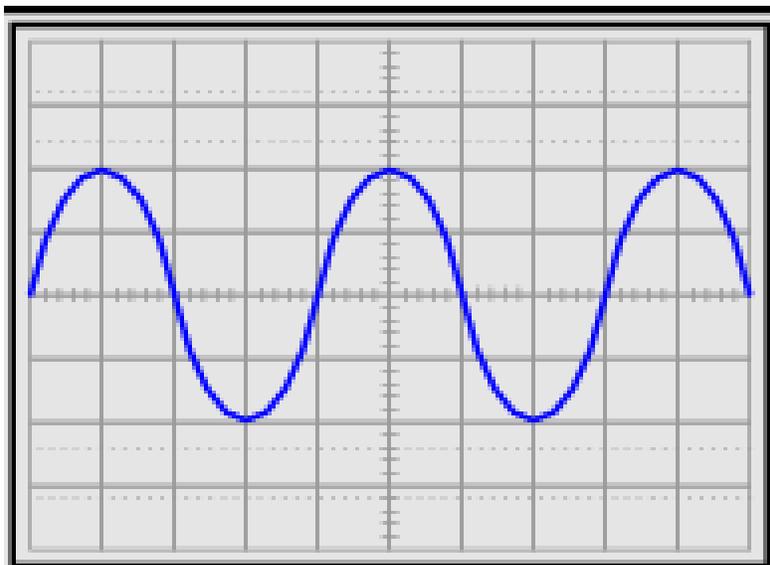


Figura 5: Medição de Período e Frequência. Na tela acima a escala de tempo foi fixada em 10ms/Div. Portanto o período do sinal é $T = 40$ ms e a frequência $f = 1/T = 25$ Hz

2.7.2 Amplitude de um sinal

A amplitude dos sinais mostrados por um osciloscópio pode ser determinada diretamente. Para isso, basta observar a escala do eixo vertical do osciloscópio, quando um determinado sinal está sendo mostrado em função do tempo (modo X-T). Deve-se contar o número de divisões e multiplicar pela escala que está sendo utilizada.

FAÇA:

- Ligue o Osciloscópio à um gerador de funções.
- Meça a Amplitude e a Frequência de um sinal senoidal, onda quadrada, dente de serra, triangular e pulso.
- Varie o acoplamento DC e AC e observe o que acontece. Explique por que varia a forma das ondas.

2.7.3 Diferença de Fase

A diferença de fase entre duas formas de onda senoidais pode ser determinada por uma simples regra de três, conforme mostrado na Figura 6.

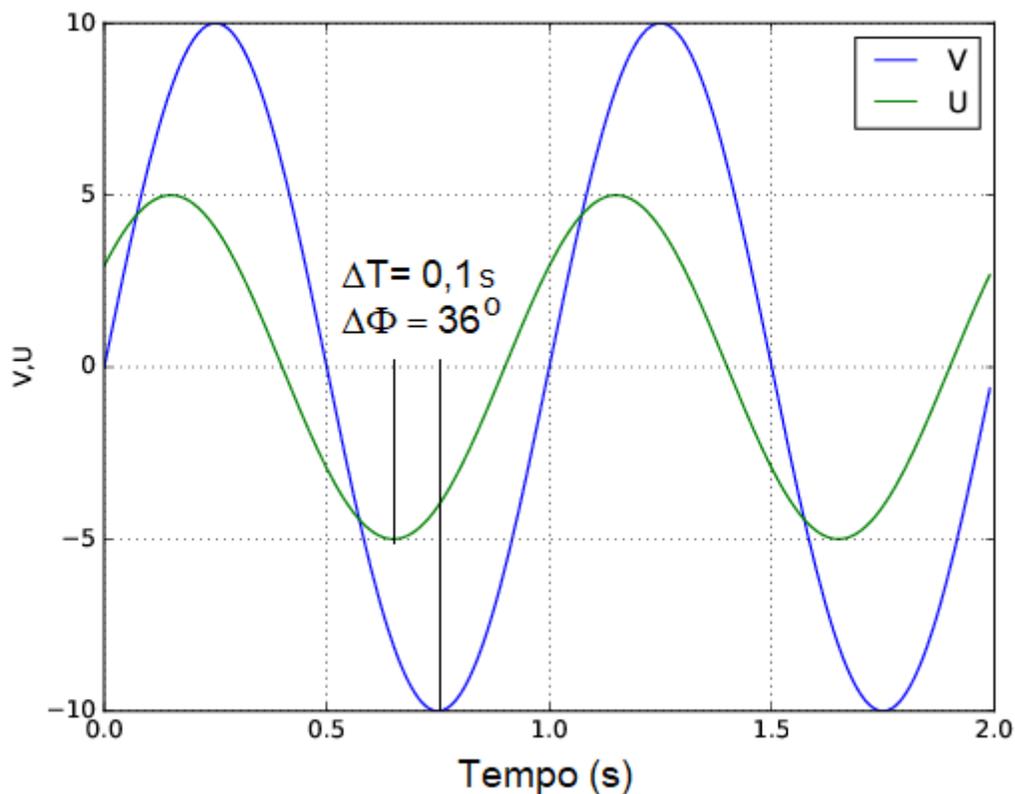


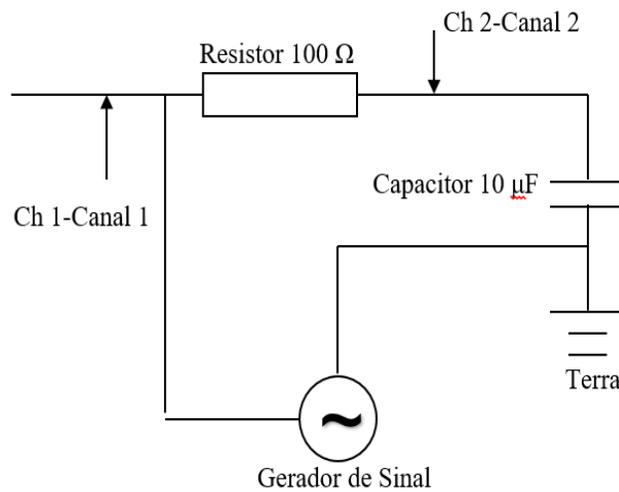
Figura 6: Medição da defasagem entre os sinais V e U. Um período $T=1\text{s}$ corresponde a 360° , logo a diferença de fase entre os dois sinais é $36^\circ = \pi/5$.

Sabe-se da trigonometria que a função senoidal pode ser mapeada em uma circunferência (360 graus). Então, a cada ciclo completo da senóide, é como se 360 graus fossem completados. Quanto duas senóides (de mesmo período) são analisadas simultaneamente em um osciloscópio, a diferença entre as duas quanto ao tempo em que elas cruzam o eixo horizontal é uma informação importante, sendo chamada de “defasagem” entre as duas ondas. A medição da defasagem “X” (em graus), é determinada observando-se os tempos T e $T/4$, na tela do osciloscópio, e fazendo-se a regra de três mostrada na Figura 6. No caso mostrado, a onda de menor amplitude está atrasada 90 graus em relação à de amplitude maior.

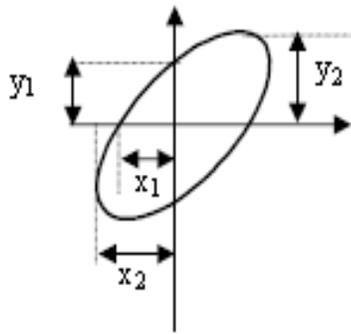
FAÇA:

Vamos agora medir a diferença de fase entre dois sinais.

- Monte o seguinte circuito:



- Ligue um dos sinais ao Canal 1 e outro ao Canal 2. A chave gatilho pode ser colocada no Canal 1 e você verá a diferença em tempo dos dois sinais. Utilizando essa frequência medida calcule essa diferença em Graus.
- Outra possibilidade de realizar a medição da diferença de fase é através das Figuras de Lissajous. Faça com que a varredura horizontal seja devida ao Canal 2 e observe a figura na tela. Medindo a relação entre o deslocamento vertical e horizontal pode-se saber qual a diferença de fase.



$$\text{sen } \varphi = \frac{y_1}{y_2} = \frac{x_1}{x_2}$$

$$\text{sen } \varphi = \frac{\text{altura da intersecção com } yy(\text{ou } xx)}{\text{altura máxima em } yy(\text{ou } xx)}$$

- Compare as medições obtidas por ambos os métodos entre si, e as diferenças entre as respostas dos circuitos.

Importante: conexão das ponteiros para medir dois sinais simultâneos

Quando utilizamos o osciloscópio para a medição simultânea de duas grandezas simultâneas (dois canais), devemos tomar cuidado com a conexão das referências (terras) das duas ponteiros. Internamente, o osciloscópio irá conectar as duas referências (garras pretas). Assim, deve-se sempre tomar o cuidado de se *ligar os dois terras no mesmo ponto do circuito*. Caso contrário, o osciloscópio irá conectar internamente dois pontos distintos do circuito.

Erro Associado: O osciloscópio é um equipamento que possui um índice de classe típico de 3%, sendo, portanto, não muito preciso. O erro de leitura está associado com a menor divisão da tela. Assim, podemos definir os dois erros, horizontal e vertical com relação à escala utilizada.

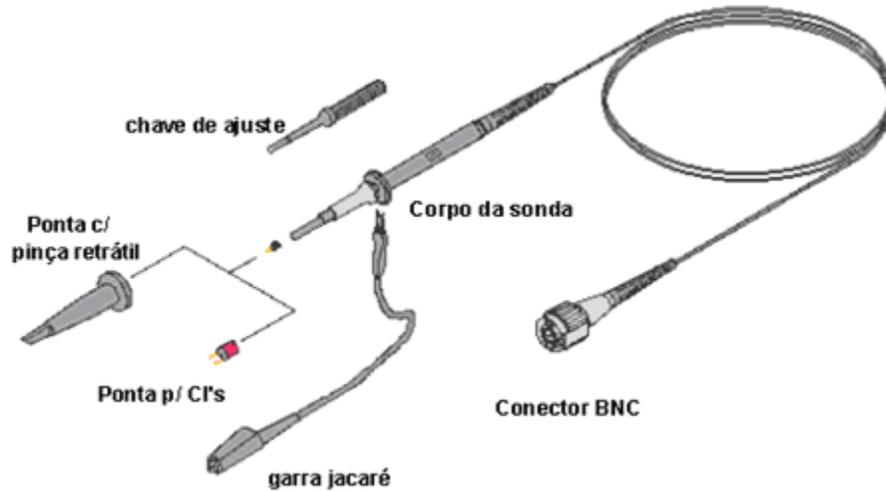
$$\text{Erro (horizontal ou vertical)} = \text{Escala (Horizontal ou vertical)} / 10$$

4.1 – Tipos de Sonda

Existem diversos tipos de sonda de tensão. Dentre elas, podemos destacar:

- Sondas diretas;

· Sondas com atenuação



a) Sondas diretas

As sondas diretas são cabos com um par de garras do tipo “jacaré” e com um conector do tipo BNC na outra extremidade para se realizar a conexão no osciloscópio. Através das garras jacaré se realiza a medição desejada de diferença de potencial no circuito a ser estudado ou testado.

b) Sondas com atenuação

Este tipo de sonda utiliza um atenuador passivo, com atenuações típicas de 10X e 100X. Por convenção, os fatores de atenuação vem impressos na sonda com o sinal X logo após o fator de divisão, ao contrário dos fatores de amplificação, onde o sinal X aparece antes (X10 ou X100). Algumas sondas apresentam uma chave comutadora, onde o usuário poderá escolher a atenuação desejada (1X ou 10X).

REFERÊNCIAS IMPORTANTES:

[1] HAYT, William H.; KEMMERLY, J. E. Análise de Circuitos em Engenharia. McGraw-Hill. São Paulo, 1975.

Roteiro XIII - Transformadores

Objetivos:

- Estudar a Lei de Faraday através do funcionamento de um transformador.
- Familiarizar se ainda mais com circuitos eletromagnéticos.

Introdução:

Transformadores são elementos largamente utilizados em circuitos elétricos. São eles que ajudam a viabilizar a transmissão de energia elétrica através de longas distâncias, aumentando a tensão junto à usina geradora e diminuindo-a próxima do centro consumidor. Com isso a corrente elétrica durante o transporte da energia é diminuída assim como as perdas por efeito Joule.

Além de aumentar ou diminuir a intensidade da voltagem, os transformadores podem também ser utilizados para isolar eletricamente circuitos, evitando que uma perturbação que ocorra em uma seção seja transferida à outra.

O funcionamento dos transformadores está baseado na Lei de Faraday, $\varepsilon = -d\phi/dt$, que mostra que sempre que existe uma variação de fluxo magnético (ϕ), ocorre o aparecimento de força eletromotriz ε (realize um estudo sobre a força eletromotriz induzida, e sobre transformadores).

Para a maximização da eficiência de um transformador, um núcleo ferromagnético deve ser utilizado para conduzir as linhas de campo magnético, que induzirão corrente na bobina secundária, como mostrada na figura 1.

Lista de Materiais:

- Um gerador de funções,
- Um osciloscópio,
- Um núcleo de transformador,
- Uma bobina com N_s espiras, uma bobina com N_p espiras ($N_s \neq N_p$),

- Cabos para conexão e uma placa de montagem (protoboard).

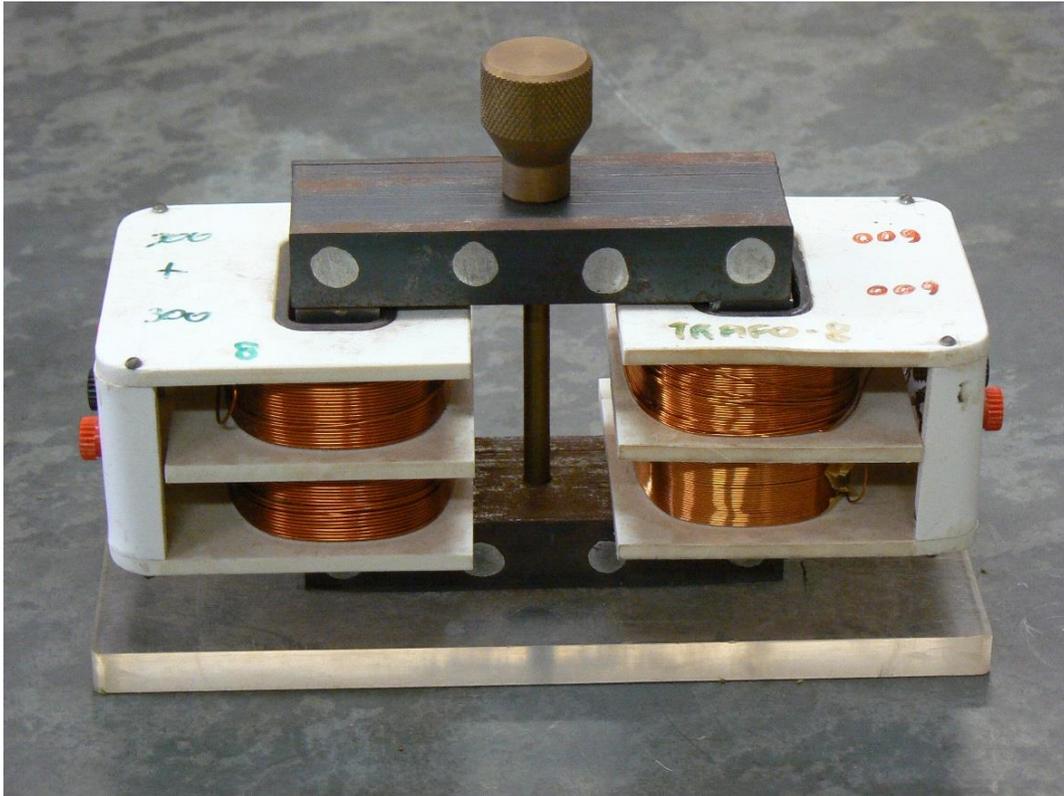


Figura 1: Imagem de um Transformador de laboratório mostrando o circuito magnético (cinza) e os enrolamentos (branco). Os enrolamentos podem ser trocados para se obter diferentes voltagens no secundário em relação ao primário.

Procedimento Experimental:

Transformadores

- Utilizando o circuito magnético e as bobinas monte um transformador com N_p espiras no primário e N_s espiras no secundário ($N_p > N_s$). Coloque um gerador na entrada e o osciloscópio na saída, conforme mostrado na figura 2.

- Varie a frequência de acordo com o item anterior, varie a voltagem no primário e observe a relação que existe entre a voltagem no primário e no secundário (pelo menos 5 valores entre 0,5 e 10V).

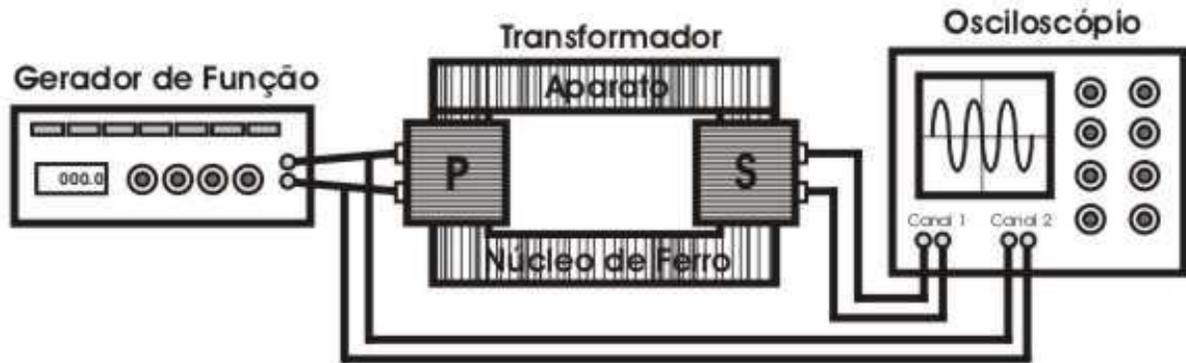


Figura 2: Circuito do transformador ligado aos instrumentos de medida, sendo que “P” e “S” correspondem ao enrolamento Primário e Secundário do transformador, respectivamente, e a área hachurada com linhas verticais corresponde ao núcleo de ferro do transformador.

Sugestão: Monte uma tabela como indicado abaixo:

Frequência= 10Hz		Frequência= 100Hz		Frequência=1kHz		Frequência=100kHz	
Np=.....,Ns=.....		Np=....., Ns=.....		Np=.....,Ns=.....		Np=.....,Ns=.....	
Vp (V)	Vs (V)	Vp (V)	Vs (V)	Vp (V)	Vs (V)	Vp (V)	Vs (V)

- Faça os gráficos de V_p por V_s , para todos os valores de frequência.

- Retire, agora, a parte superior do núcleo de ferro de modo a ter apenas um circuito em formato de U. Repita os procedimentos anteriores para o núcleo aberto para a frequência de 100Hz.
- Inverta agora a configuração das espiras de modo a ter $N_p < N_s$. Repita os procedimentos dos itens anteriores para a frequência de 100Hz.

Observações importantes: (a) Sempre monte seu circuito e faça alterações no mesmo com a fonte desligada, ou na regulagem de mínima tensão. (b) Sempre confira totalmente seu circuito antes de realizar a coleta de dados. (c) não ultrapasse os limites de tensão e corrente para não danificar os elementos e equipamentos. (d) o conteúdo desse roteiro é o mínimo que se espera do aluno. Procure ter novas idéias e explorar as possibilidades da melhor maneira, consultando o professor antes de realizá-las.

Bibliografia¹

- 1) A. M. Portis e H.D. Young ***Berkeley Physics Laboratory Volumes 3 e 6.***
 - 2) F. Sears, M.W. Zemanski e H.D. Young ***Física, LTC Editora SA***
 - 3) P. Horowitz e W. Hill. ***The Art of Electronics, Cambridge University Press***
 - 4) J. Brophy ***Eletrônica Básica, Guanabara Dois..***
-