

*Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas*  
N. 1 2014



# Experimentos para a Vida: *Kit Energia*



**Antonio José Ornellas Farias**

 **Edufal**

## APRESENTAÇÃO

A presente apostila acompanha o kit “Energia” desenvolvido no âmbito das ações realizadas no Projeto *Novos Talentos em Alagoas*, subprojeto “*Atividades na Área de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias para o Aprimoramento da Cultura Científica no Ensino Básico de Alagoas*”, edição 2011. Os experimentos aqui propostos procuram mostrar o caráter integrador da energia entre diferentes áreas da Física e de certo modo entre diferentes ciências. Essa grandeza da Física, que foi confundida com a força por mais de 2000 anos, a partir das concepções aristotélicas, trouxe praticidade para a descrição de sistemas complexos, no funcionamento da estrutura da matéria no universo microscópico na composição de átomos e moléculas e do núcleo atômico. Apesar de ser uma grandeza de razão abstrata, pela sua capacidade de integrar diferentes áreas do conhecimento, quando se integra à diferentes áreas da física, às outras ciências, à tecnologia e às questões do meio ambiente, o tema energia exige maior espaço na programação escolar em geral e em especial nas atividades escolares.

A proposta do kit sobre Energia se encontra voltada para uma formação do aluno na perspectiva da reforma do ensino médio. A seleção dos experimentos foi realizada conjuntamente por mim e os estudantes do curso de Licenciatura em Física da UFAL, ao longo de seu trabalho acadêmico. Existem na apostila, experimentos que são adaptações ao estilo do autor, e que podem ser encontrados em projetos de outros autores. A realização dos experimentos exige apenas equipamentos simples e de baixo custo. A idéia deste kit foi possibilitar ao professor e à escola um laboratório portátil com equipamentos e instrumentos que pudessem ser adquiridos com facilidade no comércio. Normalmente o material adquirido exige apenas pequenas transformações, para que se adapte aos experimentos propostos. O Tema Energia se encontra muito presente e é de muita importância no dia a dia das pessoas. A proposta, apesar de estar voltada para o ensino médio, pode também ser usada no ensino fundamental, com algumas simplificações na abordagem do conteúdo. Os roteiros foram estruturados, apresentando, além dos objetivos, um procedimento experimental com algumas ilustrações que podem facilitar a execução dos experimentos. Os roteiros dos experimentos apresentam quase sempre uma breve introdução ao conteúdo teórico envolvido. Trata-se de uma proposta que procura utilizar questões interessantes para a vida. Mesmo quando o experimento não mostra algo diretamente contextualizado, procuramos efetuar uma transposição didática para explicar um fato cotidiano que possa estar associado. O objetivo é procurar despertar no aluno uma consciência crítica que possa proporcionar ao estudante iniciativas para associar ciência, tecnologia e sociedade. O professor deve procurar trabalhar com essa proposta, utilizando os recursos materiais e as idéias experimentais de maneira aberta, para também atender a experimentos propostos em outros livros e aos idealizados por ele próprio. Os experimentos sobre energia na perspectiva da Disciplina Física utilizam os conteúdos clássicos: de mecânica, de calor, de óptica, e de eletricidade e magnetismo. Por outro lado, também fazem algumas inserções na Física Moderna, quando tratam do efeito fotovoltaico e do funcionamento do LED. O kit se caracteriza por conter recursos materiais, instrumentos de medida e equipamentos compactos e de pequeno porte mais necessários e não tanto usuais, são objetos e instrumentos, que normalmente podem não se encontrar disponíveis no momento de realização do experimento. O kit para atender as necessidades de alguns experimentos deve ser complementado por materiais de grande porte, tais como suportes de fixação, vasilhames e outros itens facilmente disponíveis/adaptáveis. Finalmente esperamos que nosso estilo e as abordagens desenvolvidos na elaboração dos experimentos e demonstrações possam auxiliar o professor e o aluno na disciplina Física e em uma preparação para a vida através de um sistema CTS de ensino.

O autor

## KIT ENERGIA: EQUIPAMENTOS

- 1 Lupa;
- 1 Laser (apontador);
- 1 Multímetro Analógico;
- 1 Multímetro Digital;
- 1 Fonte Variável de eletricidade (1,5 a 12,0 V);;
- 1 Bancada elétrica para montagem de circuitos (prontolab) adaptável a fonte de eletricidade
- 1 Bussola;
- 1 Bobina (carretel enrolado com fio de cobre de enrolamento de motor);
- 1 Motor 6,0 V- 1,0 W, c.c. (também com a função de Gerador);
- Cartolinas (preta, branca, azul e vermelha);
- Caixa Plástica (adaptada com 2 eletrodos: um de zinco e o outro de cobre);
- Célula Solar de Calculadora Portátil (adaptável ao Multímetro): estudo do efeito foto-voltaico;
- Pequenos componentes elétricos (10 resistores; 10 leds; 6 lâmpadas decorativas de filamento).
- 2 pequenos ímãs;
- 1 Recipiente metálico pequeno (copo ou forma);
- 1 Dinamômetro de mola (0-12 Kgf ou 0-20 Kgf)
- 3 m de Mangueira plástica transparente fina (adaptável a seringa descartável);
- 1 Carretel de nylon (100 m);
- 3 Seringas plásticas (20 ml, 1 ml e 3 ml);
- 1 Termômetro em escala de -10 a 110 °C;
- 1 Ebulidor elétrico;
- 1 Extensão com bocal e lâmpada para rede elétrica (100 W);
- 1 Calorímetro (caixa de isopor retangular – de 300 a 500 ml);
- 1 Barra de liga a base de alumínio (massa entre: 200 - 280 g);
- 1 Vela;
- Material complementar necessário (não constante do kit): Vasilhame plástico transparente graduado (0-1,5 litros), 2 recipientes plásticos com tampa (entre 2 e 3 litros), balde plástico de 20 litros; 1 caneco de louça ou vidro (aquecer água); canudinho de plástico; um pedaço de filme fino de plástico transparente (embalagem de alimentos); papel alumínio (embalagem de alimentos); um pedaço de tecido (seda, algodão ou lã);fita adesiva; copo plástico de 150 ml descartável; suportes utilizando fixadores em paredes, mesas, solo, para atender a alguns experimentos.

## ÍNDICE

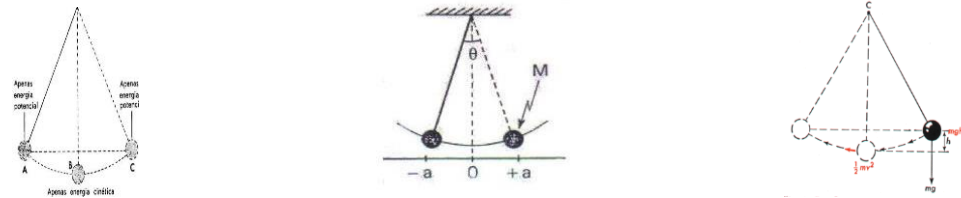
### **OS EXPERIMENTOS PROPOSTOS SOBRE ENERGIA:**

- A conservação da energia mecânica no movimento periódico do pêndulo.
- A vantagem mecânica na força em sistemas rotacionais e a conservação da energia.
- A vantagem mecânica na força em sistemas hidráulicos e a conservação da energia.
- O sifão em sua relação com a variação da energia potencial gravitacional.
- Medindo pressão em busca de uma relação com a energia interna de um gás.
- A água como regulador térmico.
- Aquecimento por irradiação de luz e o efeito estufa.
- A sensibilidade da dilatação térmica dos líquidos em função da variação da energia interna.
- As sensações térmicas do corpo humano: uma relação entre temperatura e calor.
- Concentrando energia através da lupa.
- Luz coerente e luz espalhada.
  
- Medida de diferença de potencial (d.d.p.) na rede elétrica.
  
- Medidas elétricas: determinação da potência e avaliando o consumo de energia.
- O funcionamento e o consumo de energia em circuitos resistivos com lâmpadas e leds.
- Como ligar um led diretamente na rede elétrica sem queimar.
- Indução eletromagnética: o principal recurso de geração de eletricidade.
- O funcionamento da pilha: fonte de energia elétrica móvel.
- Células fotovoltaicas: fonte alternativa na geração de eletricidade.

# A “CONSERVAÇÃO” DA ENERGIA MECÂNICA NO MOVIMENTO PERIÓDICO DO PÊNDBULO

**Objetivos:** desenvolver inicialmente os conceitos de movimento oscilatório, de período e de frequência e estabelecer a relação entre estas duas grandezas. Trabalhar com a definição do período de oscilação para o caso do pêndulo simples. Trabalhar o conceito de energia cinética, o de energia potencial gravitacional e o de energia mecânica. Tratar da lei de conservação da energia mecânica, determinando os limites e possibilidades em nosso dia a dia, em poder considerar, por aproximação, a conservação da energia mecânica.

**Fundamentação Teórica:** Por definição, para certa massa ( $m$ ), a energia mecânica ( $E$ ) é a composição da energia cinética ( $E_c$ ) de movimento com a energia potencial ( $E_p$ ) de armazenamento. Uma energia que ocorre por efeito do campo gravitacional terrestre pelo qual o objeto em questão de massa ( $m$ ) se encontra submetido. Observe pela figura abaixo do pêndulo, que a energia mecânica nas posições A e C é somente de natureza potencial ( $E_p = m.g.h$ ), e na posição B é apenas de natureza cinética ( $E_c = m.v^2/2$ ), se estivermos assumindo que nesta posição a altura ( $h$ ) é nula. No movimento oscilatório do pêndulo simples em movimento harmônico simples (MHS), por definição o período é dado por:  $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ . A dependência do período ( $T$ ) apenas com comprimento do pêndulo ( $l$ ) e com a gravidade ( $g$ ), pode causar inicialmente uma estranheza por não depender da massa e da amplitude de oscilação. Neste sentido a verificação experimental pode ajudar na aceitação desta definição, que para ser válida, mesmo que por aproximação, se encontra condicionada a duas considerações: a conservação da energia mecânica e ao fato que o pêndulo precisa oscilar com pequenas amplitudes ou pequenos ângulos.



**Material Utilizado:** fio de algodão; objeto de massa variável (frasco plástico com tampa de 100 ml contendo: areia, limalha de ferro ou água); cronômetro (do celular ou do relógio); escala milimetrada; fixação para o pêndulo (teto, parede, etc.).

## Procedimento Experimental:

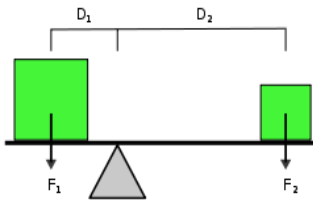
- 1) Coloque o sistema do pêndulo, apresentado abaixo, em oscilação com pequenas amplitudes comparadas com seu comprimento. Determine o período e a frequência procurando relacionar estas grandezas. Em seguida verifique se o período ou a frequência de oscilação varia com a variação da massa, e finalmente se varia para pequenas variações de amplitudes. Associe estes resultados ao descrito teoricamente para o período ou frequência de oscilação. Procure expressar qualitativamente as causas deste movimento a partir da relação energia cinética-energia potencial.
- 2) Retome o experimento, para observar se na oscilação do pêndulo a energia mecânica se conserva ( $E = m.g.h$ , onde  $h$  é a altura inicial relativa ao ponto mais baixo atingido pela massa  $m$ , conforme mostrado na figura acima). Efetue este procedimento para duas situações: para o caso do objeto em oscilação bem massivo e para o caso do mesmo pouco massivo.
- 3) Caso exista uma dissipação de energia mecânica considerável, verifique a perda existente para dez ciclos de oscilação (a perda relativa será obtida por:  $\Delta E/E_0$ ). Em seguida, determine a perda relativa média de energia mecânica para cada ciclo de oscilação. Quais as formas mais prováveis de transformações energéticas verificadas na dissipação da energia mecânica, no experimento em questão? (considerando o princípio de conservação da energia que ocorre em todos os fenômenos naturais).
- 4) Com base no que foi observado, a respeito de considerar ou não a conservação da energia mecânica na oscilação do pêndulo com massa diferenciada, o que podemos concluir sobre a conservação da energia mecânica nos movimentos que observamos em nosso cotidiano. No caso do movimento de um automóvel numa estrada plana horizontal, sem a utilização do

motor para manter o movimento, em que situação fica mais próximo considerar a conservação da energia mecânica?

## A VANTAGEM MÊCANICA NA FORÇA EM SISTEMAS ROTACIONAIS E A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

**Objetivos e fundamentação teórica:** A partir da composição dos momentos das forças  $M = D_x \cdot F_y$ , no equilíbrio rotacional, verificar experimentalmente que vale a relação “razão entre as forças igual a razão inversa entre seus respectivos raios de giração” ( $F_1/F_2 = D_2/D_1$ ). A partir daí, determinar a vantagem mecânica em diversificados sistemas rotacionais usados no dia a dia. Por definição de a vantagem mecânica (V.M.) é a razão: “ $F_{\text{maior}} / F_{\text{menor}}$ ”.

**Material Utilizado:** polias; fio de algodão (barbante); massas aferidas sensíveis às especificações de leitura do dinamômetro disponível; mola ou dinamômetro (balança de mola: 0-12 Kg); régua de Madeira (30 cm) suspensa ao longo de seu comprimento por fio central com adaptação para suportar pesos; sistemas de ferramentas rotacionais (tesoura, alicate, alavanca, chave de fenda, chave de roda). Duas seringas de volumes diferentes (20 ml e de 3 ml ou 1 ml) e mangueira para conexão das duas seringas

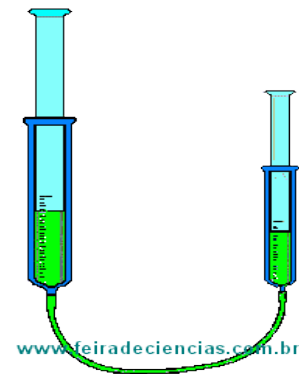
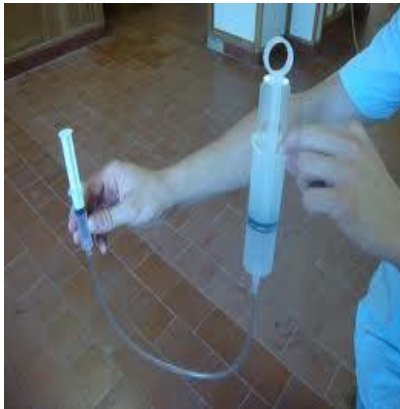


### **Procedimento Experimental:**

- 1) No sistema da balança (régua suspensa) mostrado acima, com a finalidade de simplificar o cálculo do momento da força ( $M = r \cdot P$ ), vamos dispor para estudo do sistema em equilíbrio, sempre mantendo a régua na posição horizontal. Usando a condição teórica para o equilíbrio rotacional, verifique experimentalmente para diferentes pesos ( $P$ ) fixados à régua, a existência de vantagem mecânica a partir da relação entre os pesos e os raios ( $r$ ) que expressa a distância do ponto de fixação do peso ao eixo de giro.
- 2) Observe neste sistema que, apesar de conseguirmos sustentar um peso maior utilizando um peso menor, o trabalho realizado de um lado com o giro do balanço de peso menor da posição horizontal é igual ao trabalho do outro lado do balanço de peso maior. Observe este fato acompanhando que variação da energia potencial para mais do peso que se eleva é igual a variação da energia potencial para menos do peso que desce, em relação ao nível horizontal considerado inicialmente. Diante desta observação, o que podemos concluir com relação à possibilidade de buscarmos vantagem mecânica na realização de trabalho ou mesmo com relação a transformação de energia?
- 3) Determine esta vantagem (a partir das medidas dos raios de aplicação das forças e forças), em outros sistemas rotativos usuais (alicates, tesouras, chaves, pinça, abridor de lata) disponíveis.
- 4) Diante dos fatos acompanhados na vantagem mecânica dos sistemas em rotação, poderia ter sido proposta uma lei de conservação para a força?

## A VANTAGEM MECÂNICA NA FORÇA EM SISTEMAS HIDRÁULICOS E A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

**Objetivos:** A partir do princípio de Pascal (que estabelece que os líquidos transmitem de forma integral as pressões que suportam), e da definição de pressão:  $P = F/A$ , mostrar a existência da vantagem mecânica em sistemas hidráulicos. Mostrar que a vantagem mecânica se restringe apenas a força (demonstra que não pode haver uma lei de conservação da força) e que a vantagem mecânica não pode se aplicar ao trabalho (a partir da realização de um trabalho menor se obter um maior), uma vez que seria contrariada a lei de conservação de energia.



**Procedimento Experimental:** Monte o sistema hidráulico conforme figura acima: duas seringas de volumes diferentes contendo água e interligadas pela mangueira.

- 1) Acione cada seringa com uma mão para observar/comprovar que a vantagem mecânica na força aplicada é causada da seringa menor para seringa maior?
- 2) Determine a área da seção reta do interior de cada seringa e em seguida a razão entre as áreas internas da seringa maior com a da seringa menor.
- 3) Movendo o êmbolo da seringa menor e relacionando seu deslocamento ao da seringa maior, observe se a vantagem na força se estende a uma vantagem no trabalho mecânico realizado? Uma vantagem mecânica na força pode ocasionar uma vantagem mecânica na realização de trabalho? Conseqüentemente a partir de uma quantidade de energia menor se pode obter uma energia maior ( a lei de conservação da energia pode ser violada?).
- 4) Diante dos fatos acompanhados na vantagem mecânica nos sistemas em rotação, em sistemas hidráulicos, e ainda em sistemas de acoplamento de polias para movimentos translacionais, na evolução da Física poderia ter sido proposta e ter se mantido uma lei de conservação para a força?

## O SIFÃO EM SUA RELAÇÃO COM A VARIAÇÃO DA ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

**Objetivos:** O sifão são vasos comunicantes invertidos destinados a transportar líquidos de um recipiente a um nível mais alto para um outro a um nível mais baixo. Aqui pretendemos estudar a dependência da velocidade de escoamento de um fluido em função da variação de pressão, obtida a partir da conservação da energia mecânica (não levando em conta que haja dissipação da energia pelo contato do fluido com as paredes do recipiente).

**Material Utilizado:** 2 recipientes transparentes com tampas (ambas apresentando um orifício central para fixação da mangueira e um outro orifício lateral para contato com a atmosfera exterior); mangueira transparente; escala métrica.

### Introdução Teórica:

A variação de pressão no interior de um fluido estático, depende apenas da altura da coluna fluida e expressa por:  $\Delta p = d \cdot g \cdot h$ , isto se assumirmos que sua densidade ( $d$ ) e a gravidade ( $g$ ) são constantes. Levando-se em conta a pressão atmosférica superficial ( $P_o$ ), a pressão em um ponto qualquer do interior de um líquido é dada por:  $P = P_o \pm d \cdot g \cdot h$ . O sinal positivo é válido quando caminhamos da superfície livre para baixo, enquanto o sinal será negativo quando nos deslocamos da superfície livre para cima, pelo interior de um mesmo líquido. O esquema do sifão é apresentado na figura abaixo, em que:  $P_A = P_C = P_o$ , e  $P_B = P_o + d \cdot g \cdot H$ . Efetuando a diferença entre  $P_B$  e  $P_C$ , vamos ter que:  $P_B - P_C = d \cdot g \cdot H$  (este resultado nos leva a afirmar que  $P_B > P_C$ ). Considerando que os fluidos se movimentam sempre de uma região de maior pressão para uma região de menor pressão, Uma vez que o fluido esteja sifonado, isto é, preencha a mangueira da superfície livre do vaso ( o ponto A da figura 1), até o outro extremo da mangueira ( o ponto C da figura 1), vai ter início o processo de vazão do líquido contido no recipiente. Em termos de relações de energia ( $E$ ), podemos afirmar que a quantidade de massa do líquido a ser sifonado precisa passar de uma região em que tem uma energia potencial gravitacional maior para uma região em que vai apresentar uma energia potencial gravitacional menor. Considerando que o líquido vai escoar do vaso, do nível (A) para o nível (B), a variação da energia potencial gravitacional ( $E_p$ ) da massa total ( $m$ ) transferida que em média vai ser igual a:

$$\Delta E_p = (m \cdot g \cdot H) / 2.$$

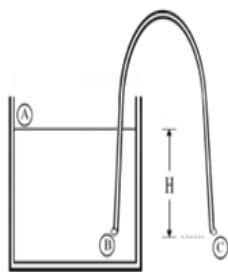


Figura 1 - Esquema do esvaziamento de um recipiente contendo líquido por meio de um sifão.

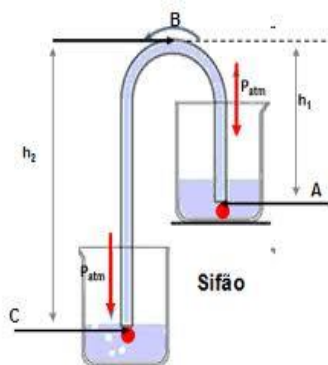


Figura 2 – o sifão entre recipientes.

Uma certa quantidade de líquido a ser sifonado sob efeito da ação da gravidade ao sair de uma região de maior pressão para uma região de menor pressão, vai corresponder a sair de uma região em que apresenta uma energia potencial gravitacional maior para uma região em que apresenta uma energia potencial gravitacional menor (o que significa partir de um nível de superfície livre mais alto para um nível de superfície livre mais baixo). Não podendo deixar de considerar que, inicialmente, para sifonar ainda temos que realizar um trabalho inicial externo para deslocar o líquido para preencher a mangueira até o nível mais alto do sifão. Para isto, vai ser preciso uma "força-motriz" inicial para colocar o líquido no interior da mangueira. Para que daí, o líquido em circuito fechado, possa escoar de uma região de energia potencial maior para uma região de energia potencial menor.

Pelo outro diagrama apresentado acima (Figura 2), quando  $H = 0$ , e ambas as superfícies livres da mangueira estiverem submersas nos vasos, pode ser observado que não há mais vazão. O fluido fica em equilíbrio em todo o sistema, não havendo escoamento de um vaso para o outro. Pode parecer instigante o fato de se manter uma coluna líquida para cima sifonada de um lado para o outro, sem a mesma ser rompida na parte superior, com o líquido descendo para ambos os lados. Porém, lembrando que no experimento de Torricelli é mostrado que a atmosfera consegue sustentar uma coluna líquida de até 10,33 m de altura, teremos neste fato a justificativa de por que a coluna líquida não se rompe no sifão, enquanto nos situamos dentro deste limite. E ainda a justificativa de mostrar porque não podemos transpô-lo, quando for pensado retirar água de uma região para outra em nível mais baixo utilizando o sifão para transpor certo obstáculo ou relevo acima de 10 m de altura.



Em todo escoamento a velocidade de vazão fica condicionada a diferença de pressão que é função da altura:  $H > 0$  ( que é a condição para a vazão no sentido considerado, uma diferença de altura entre as duas superfícies livres da mangueira). Assim na prática, quanto maior for a diferença de nível (H), maior será a diferença de pressão e variação da energia potencial gravitacional que condicionam a vazão e por sua vez, maior será a velocidade de escoamento e a vazão do fluido de um lado para o outro em que a mangueira se encontra em um nível mais baixo (aqui estamos considerando uma condição de escoamento ideal, sem perdas). Porém, na prática normalmente existirem perdas de energia mecânica, e não podemos relacionar a variação da energia potencial gravitacional como igual a variação da energia cinética.

### Procedimento Experimental

- 1) Monte o sistema do sifão conforme mostrado nos diagramas acima (utilize o diagrama da Figura 2 pelo fato de não molhar a sala, e observe, justificando teoricamente, a velocidade de escoamento em função da diferença de nível e da própria intensidade da vazão, para o caso da saída inferior livre. Relacione a velocidade de vazão com a variação da energia potencial gravitacional.
- 2) Para o caso da saída inferior (C) da mangueira se encontrar submersa no outro vaso, o que ocorre com a circulação líquida, quando a superfície livre dos dois recipientes se encontram no mesmo nível ( $H = 0$ )? Qual a relação deste equilíbrio hidrostático com a energia potencial gravitacional?
- 3) Procure justificar teoricamente, o que ocorre no comportamento de vazão do sistema quando isolamos a superfície livre do vaso de cima, do contato com a atmosfera. Utilize a tampa do recipiente bem fechada e sem nenhum orifício para contato com a atmosfera externa. Porque mesmo existindo variação da energia potencial gravitacional entre os dois lados do sifão, não dispomos o fluido em movimento, ou seja, não dispomos o fluido com energia cinética.?
- 4) Com a mangueira (sifão) inicialmente vazia, porém, imersa no líquido do recipiente de cima, como proceder para iniciar o escoamento, isto é, dispor o líquido no interior do sifão, sem a necessidade de desconectar a mangueira do sistema para encher a mesma com o fluido para colocá-la na disposição de sifão?
- 5) Ocorre em todas as situações de escoamento ou é apenas no sifão a seguinte afirmação: todo fluido para se deslocar precisa passar de uma região de maior pressão para uma região de menor pressão? Em um escoamento ideal verificado em uma mangueira disposta em um plano horizontal, esta condição teria a necessidade de existir, para que se processe o escoamento?

## MEDINDO PRESSÃO EM BUSCA DE UMA RELAÇÃO COM A ENERGIA INTERNA DE UM GÁS

**OBJETIVOS:** Medir a pressão gasosa, pressão manométrica, em recipiente usando vasos comunicantes, procurando associar a variação da energia interna do gás. Utilizaremos situações de muito interesse em nosso cotidiano, para expressar tanto as variações de pressão quanto em associar a variação de energia interna ou energia térmica de um gás.

**MATERIAL UTILIZADO:** Mangueira transparente. Bola de soprar (balão de festa). Seringa plástica de 20 ml

Escala métrica. Arame ou fio ou ainda fita adesiva para conectar a seringa e a bola na mangueira.

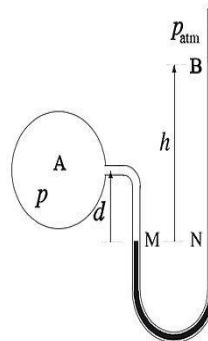
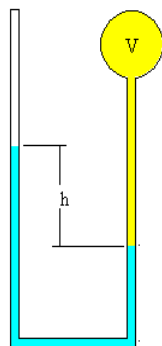
### INTRODUÇÃO TEÓRICA:

O experimento de Torricelli, realizado em condições normais ao nível do mar, usando água, apresenta a pressão atmosférica registrada no barômetro de 10,33m de H<sub>2</sub>O. Isso significa que a pressão atmosférica consegue suportar uma coluna líquida a tubo fechado de um pouco mais de 10 metros. Sabemos também que em vasos comunicantes abertos a altura (h) das colunas de um mesmo líquido, de densidade (d), é sempre igual nos dois ramos independentes de suas seções (princípio dos vasos comunicantes). Isto porque as variações de pressão hidrostática dependem apenas da altura em uma coluna líquida homogênea, como pode ser verificado através da expressão:  $\Delta P = d.g.h$ .

Como pode ser visto, existe uma semelhança formal entre a pressão e a energia potencial sob efeito da gravidade:  $\Delta E_p = m.g.h$ . Entretanto, esta é uma semelhança aparente, já que em Física trocar a densidade (d) pela massa (m) muda muita coisa conceitualmente. Porém, existe uma estreita relação entre a pressão (P) e a energia interna dos gases (E), trazida pela teoria cinética dos gases ideais que identifica a energia térmica como produto da energia cinética média de cada molécula das N moléculas contidas no volume (V) ocupado pelo gás:  $E = 3/2(P.V)$  ou  $E = 3/2(N.K.T)$ . Lembrar que estas duas formas de expressar a energia interna se justificam pela expressão da equação de estado dos gases ideais:  $P.V = N.K.T$  (onde T é a temperatura e K é a constante de Boltzmann). Embora a pressão atmosférica (P<sub>o</sub>), esteja sujeita a pequenas variações (de acordo com as condições meteorológicas da corrente de ar, temperatura, densidade do ar etc.), vamos considerá-la aqui, por aproximação, como uma constante. Em razão disso, quando não consideramos variação na pressão atmosférica ( $\Delta P = 0$ ), não estamos considerando a variação da energia interna do gás atmosférico ( $\Delta E = 0$ ).

Normalmente, no local em que vivemos em nosso cotidiano, não sentimos o poder e os efeitos da intensidade da pressão atmosférica, nem de suas variações. Isso porque, no caso do corpo humano, ela é exercida por dentro e por fora do nosso organismo. O mesmo fato se verifica em objetos ocultos expostos, devido a presença de ar em seu interior se encontrar a uma pressão igual ou próxima. Variações na pressão interna de um recipiente podem existir, mas vão depender da capacidade de elasticidade ou da resistência do material que separa o gás no interior do gás atmosférico. Por exemplo, em nossa fase respiratória, o organismo trabalha no sentido de estabelecer nos pulmões variações de pressão em torno da pressão atmosférica para mais na expiração e para menos ao inspirar o gás atmosférico. A nossa capacidade máxima de realizar o trabalho pulmonar respiratório no sopro e na sucção será objeto de análise e iremos associar a um experimento de medidas de variação de pressão que podemos conseguir no acionamento pulmonar.

Quando estamos interessados na pressão do interior, de uma câmara pneumática, de um balão, em nossa corrente sanguínea, em nossos pulmões etc., não queremos saber o valor da pressão absoluta ( $P_A = P_o + d.g.h$ ) e sim da pressão denominada de manométrica (P<sub>A</sub>) que é a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica ( $P_o = P_{atm}$ ), isto é,  $P_A = P_M - P_o = d.g.h$ . Nos vasos comunicantes da figura abaixo, em um mesmo nível de um mesmo fluido as pressões absolutas dos dois lados são iguais, isto é:  $P_M = P_N$ ; no ramo em contato com o recipiente gasoso, temos então que:  $P_A + P_o = P_M$ ; no outro ramo, por suportar a coluna líquida e a atmosfera:  $P_N = P_o + d.g.h$ ; igualando os dois termos, obtemos:  $P_A + P_o = P_o + d.g.h$ ; onde podemos concluir que:  $P_A = d.g.h$ . Logo, um manômetro de tubo aberto (instrumento que mede a pressão manométrica) consiste do seguinte esquema abaixo:



Para suportar uma pressão interna diferente da pressão atmosférica, algum agente externo ao gás teve que realizar trabalho para expandi-lo ( $P_A$  maior que  $P_o$ ), ou para contrair ( $P_A$  menor que  $P_o$ ). Este trabalho pode ser expresso pelo cálculo da variação da energia potencial gravitacional necessária para elevar a massa total ( $m$ ) da coluna líquida distribuída no curso da altura  $h$  considerada. Considerando que a massa  $m$  se encontra uniformemente distribuída no curso da coluna líquida  $h$ , essa suposição é equivalente a admitirmos a massa total  $m$  localizada na metade da altura  $h$ , isto é, em  $(1/2)h$ . Logo o trabalho vai ser igual a variação da energia potencial gravitacional,  $\Delta E_p = (1/2) m.g.h$ .

Assim, quando expressamos a pressão manométrica ou a pressão interna do gás, em função da coluna líquida de água ( $h$ ), podemos relacionar ao trabalho realizado (variação da energia potencial gravitacional,  $\Delta E_p$ ) ou seja a variação de sua energia interna do gás, para se contrair (com  $h$  negativo) ou se expandir (com  $h$  positivo). A pressão, portanto, pode ser expressa em unidades de metro de coluna de  $H_2O$ , o que se torna um importante mecanismo prático que relaciona-se as medidas de pressões manométricas usuais (utilizaremos a unidade de metros ou de centímetros de coluna líquida de  $H_2O$ ). Utilizaremos como parâmetro, a aproximação de que a pressão atmosférica ( $P_o$ ) corresponde a  $h_0 = 10$  m de  $H_2O$ ), para comparar as diferenças de intensidade de pressão que estaremos medindo. Porém, em uso no cotidiano é muito comum utilizar a unidade de pressão manométrica em libra por polegada ao quadrado ( $1,0 \text{ atm} = 14,7 \text{ lb/pol}^2$ ). Por sua vez, as variações de pressão mantida a volume constante estão associadas as variações da energia interna do gás através da determinação da variação da energia potencial gravitacional ( $\Delta E_p$ ) ocorrida na coluna líquida do manômetro (que podemos expressar em caloria ou em Joule:  $1,0 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ ).

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

- 1) Monte um sistema de vasos comunicantes com a mangueira transparente contendo água ocupando um nível de metade da sua altura. Adapte agora em um dos ramos um balão cheio de ar e meça a pressão de seu interior. Qual a relação desta com a pressão atmosférica?
- 2) Adapte agora uma seringa sem o embolo (aberta) a um dos ramos para facilitar o contato da nossa boca a fim de medir a pressão pulmonar na capacidade máxima de uma pessoa expirar (soprar) e de inspirar (succionar) os gases que se apresentam em nosso ciclo respiratório. Quais são as pressões obtidas e suas relações com a pressão atmosférica? Considerando o limite de nossa capacidade de sopro, o que ocorre se formos adicionando ao ramo aberto mais água, visando aumentar a altura da coluna líquida sustentada? Qual o comprimento máximo que pode ter um canudinho de tomar refrigerante?
- 3) Tente efetuar outras medidas de pressão se existir viabilidade prática (no comprimento da mangueira e nas conexões etc.), para uma câmara pneumática e para uma bola de futebol, procurando sempre relacionar à pressão atmosférica.

### Questionário:

- 1) a) Estime em que intervalo de pressão situa-se a calibragem dos pneus dos automóveis de passeio (em  $\text{lb/pol}^2$ ); b) Em linguagem comum se costuma chegar nos postos de combustíveis e assim proceder: "coloque 28 libras", o que está se referindo cientificamente a  $28 \text{ lb/pol}^2$ . Aproximadamente a quanto essa pressão corresponde em unidade de atmosferas (atm) e em unidade de cm de água.

2) Os pulmões de um ser humano, no processo respiratório do esforço de contração e descontração muscular, podem funcionar quando submetidos a uma pressão do ambiente fluido em que estejam imersos, que não seja superior a 13/12 atm. Com base nesta informação, se uma pessoa deseja mergulhar na água, utilizando um longo tubo respiratório para saída e entrada de ar, até que profundidade ela pode expor seu tórax, utilizando o tubo para respirar? Existe alguma relação entre este limite de 13/12 atm de pressão externa para o funcionamento pulmonar e as medidas efetuadas no item (2) do procedimento experimental?

## TROCAS DE CALOR E MEDIDA DE CALOR ESPECÍFICO

**OBJETIVOS:** determinar o calor específico de alguns materiais e substâncias na troca de calor com outros meios materiais. Avaliar a capacidade térmica de cada objeto/meio material utilizado na troca de calor entre dois sistemas termodinâmicos. Mostrar por aproximação que na troca de calor a energia térmica se conserva (tomando cuidado de expor o sistema por pouco tempo em contato com o ar da atmosfera, efetuando as trocas de calor no interior de um calorímetro ou isolador térmico.

**MATERIAL NECESSÁRIO :** termômetro; isolador térmico (caixa de isopor retangular, quentinha para sanduíche, com a tampa apresentando um orifício central para conexão do termômetro); amostras de ligas de alumínio e de chumbo (entre outras), com massas conhecidas ( em torno de 100 a 150 gramas); 1 aquecedor elétrico de água; 1 recipiente para aquecer água; copo plástico descartável.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

1 - Inicialmente, aqueça certa quantidade de água dentro de um recipiente e meça a sua temperatura, colocando, logo em seguida, esta água dentro do calorímetro. Espere algum tempo para que se houver troca de calor possa ocorrer o equilíbrio térmico com o mesmo, e então meça de novo a temperatura da água. Caso você tenha obtido aproximadamente o mesmo valor, existiu troca de calor significativa entre a água e o calorímetro? Pode ser desprezada a capacidade térmica do calorímetro? Se não for possível desprezá-la, você deverá incluí-la quando for determinar o calor específico dos metais disponíveis. O isopor apresenta muito pouca massa (baixíssima densidade para um sólido), por isto, apresenta dificuldade tanto para conduzir calor quanto para armazenar calor (a capacidade térmica de um corpo também depende diretamente de sua massa:  $C = m \cdot c$ ). Efetue o mesmo procedimento para um copo descartável plástico de água ou cafuninho, a fim de avaliar se sua capacidade térmica é desprezível quando submetido a uma troca de calor com uma certa quantidade de água que comporte seu interior.

2 - Tome certo volume de água (massa conhecida) e aqueça-o ou resfrie, dentro de um recipiente e meça sua temperatura (é conveniente que a mesma não seja muito superior ou inferior a do ambiente). Logo em seguida coloque esta porção de água no calorímetro que contém uma amostra de metal (com massa conhecida e que esteja inicialmente a temperatura ambiente (efetue a medida dessa temperatura). Feche a caixa térmica e espere certo tempo, até ocorrer o equilíbrio térmico (espere o termômetro se estabilizar) para medir a temperatura final do sistema (água-metal). A partir da conservação da energia (o calor cedido é igual ao calor recebido:  $Q_{\text{recebido}} = - Q_{\text{cedido}}$ ), e da definição de calor:  $Q = m c \Delta T$ , determine o calor específico do metal. Compare com o valor tabelado para este componente metálico? Procure repetir o experimento para confirmar os resultados. Repita este procedimento para outros tipos de metais conhecidos (caso estejam disponíveis).

## A ÁGUA COMO REGULADOR TÉRMICO

**OBJETIVOS:** Na relação entre temperatura e calor, estudar o parâmetro calor específico em sua função de regular o armazenamento ou a perda de energia térmica em função da variação de temperatura que ocorre em cada meio material diferente. Comparar o calor específico de um determinado metal com o da água, procurando mostrar a função da água como regulador térmico, o que ocorre em razão de seu elevado calor específico. Assim a água atua como regulador térmico de variação de temperatura em todo meio material que mantenha contato térmico. Pretendemos também avaliar se devemos considerar ou se podemos desprezar a capacidade térmica do calorímetro em

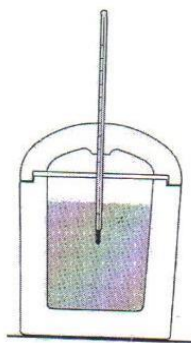
razão de sua pouca quantidade de massa e também pelo fato do material que é constituído, isopor, apresentar isolamento térmico. Estaremos também procurando comprovar a conservação da energia térmica nas trocas de calor (utilizando um tempo mínimo necessário para medir a temperatura final de equilíbrio, não expondo por muito tempo o sistema em contato com o ar atmosférico).

**MATERIAL NECESSÁRIO:** termômetro (-10 a 110 °C); calorímetro (caixa de isopor); barra de alumínio de massa conhecida; água; papel alumínio; fita adesiva

### **INTRODUÇÃO TEÓRICA:**

A temperatura (T) é uma das grandezas físicas fundamentais e um parâmetro que podemos conceituar, associando ao grau de agitação térmica que todo meio material apresenta. Assim a temperatura do vácuo perfeito deveria ser nula numa escala absoluta (se de fato não existisse matéria, não teríamos o que agitar). Seu conceito pode também ser associado ao fato de que, quando dois ou mais objetos em contato, estão em equilíbrio térmico, isto é não existe troca de calor pelo fato de se encontrarem à mesma temperatura. A partir da conservação da energia, podemos considerar que na troca de calor entre dois meios materiais em contato térmico que, o calor cedido por um é igual ao calor recebido pelo outro ( $Q_{\text{recebido}} = - Q_{\text{cedido}}$ ). As trocas de calor quando não há mudança do estado físico é dada pela definição: " $Q = m.c.\Delta T$ ". O calor específico (c) é uma grandeza que regula a intensidade com que um dado meio material pode trocar calor, como consegue armazenar ou perder energia térmica (regula a capacidade que certo meio material tem de receber ou ceder calor). Por essa razão, o calor específico é expresso por:  $c = Q / m\Delta T$ . Em um sistema "isolado", como admitimos ser o interior de um calorímetro (constituído de um material isolante térmico), no contato entre dois objetos, o calor cedido é igual ao calor recebido. O calor específico de um material na verdade, não é uma constante, pelo fato de depender da temperatura em que o mesmo se encontra. Por essa razão, a tabela de calor específico mostrada abaixo, apresenta os valores para uma temperatura padrão (normalmente se utiliza:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Na equação acima, para efeito de cálculo, estamos considerando o valor médio do calor específico. Por essa razão durante as experimentações, sempre que possível, devemos trabalhar com trocas de calor com variações de temperatura em torno de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

| Calor específico de algumas substâncias |   |  |
|---|---|--|
| Substância<br>(sólidos e líquidos)      | Calor específico<br>(a $25^{\circ}\text{C}$ e pressão normal) |  |
|   | ( $\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )               | ( $\text{cal}/\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) |
| Água                                    | 4200  | 1,0  |
| Álcool etílico                          | 2400  | 0,58   |
| Alumínio                                | 900   | 0,22   |
| Chumbo                                  | 130   | 0,031  |
| Cobre                                   | 390   | 0,092  |
| Concreto                                | 840   | 0,20   |
| Ferro                                   | 450   | 0,11   |
| Gelo (a $-5^{\circ}\text{C}$ )          | 2100  | 0,50   |
| Mercurio                                | 140   | 0,033  |
| Ouro                                    | 130   | 0,031  |
| Prata                                   | 230   | 0,056  |



### **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:**

- 1) Coloque uma certa quantidade de água, a uma temperatura acima ou abaixo da temperatura ambiente, no interior do calorímetro. Observe em seguida pelo comportamento da temperatura do sistema, a existência ou não de uma troca de calor insignificante, entre os meios materiais envolvidos (água e Isopor, conforme mostrado na figura anexa). Necessitamos nos procedimentos seguintes, levar em conta a capacidade térmica do calorímetro? Observe também por um tempo razoável a leitura do termômetro, para avaliar a capacidade de isolamento térmico da água no interior do calorímetro em relação ao meio ambiente exterior.

- 2) Coloque no interior do calorímetro dois matérias diferentes em contato térmico (água e alumínio), em iguais quantidade de massa, mas com temperaturas iniciais diferentes, quando isolados. Determine a razão entre seus calores específicos em função de suas variações de temperatura. Que conclusões podemos tirar da relação entre o calor e a variação de temperatura? Considerando o calor específico da água conhecido, determinar o calor específico do alumínio, comparando com o seu valor tabelado.
- 3) Coloque a água e uma barra de alumínio, em mesma quantidade de massa, em contato até que seja atingido o equilíbrio térmico, isto é, uma mesma temperatura (por exemplo de 50 °C). Em seguida mantenha-os separadamente no mesmo local, sob as mesmas condições de exposição ao ambiente. Procure avaliar por contato manual e com auxílio do termômetro, qual deles irá atingir a temperatura ambiente mais rapidamente (em menor intervalo de tempo). Procure justificar teoricamente o fato observado?

Observação: para acompanhar a perda de calor, o resfriamento do alumínio com o meio ambiente, procure uma forma de envolver todo o bulbo do termômetro com papel alumínio e fixá-lo à barra, com fita adesiva ou algo similar, tentando manter o melhor contato térmico possível do bulbo com a barra.

## AQUECIMENTO POR IRRADIAÇÃO DE LUZES E O EFEITO ESTUFA

**OBJETIVO:** Comparar o aquecimento por irradiação luminosa, nas proximidades de um bom refletor (corpo branco) e de um bom absorvente de calor (corpo negro), através da temperatura ambiente local. Comparar este aquecimento nas proximidades do corpo negro sem efeito estufa e com efeito estufa.

**MATERIAL UTILIZADO:** Copo plástico branco de 200 ml. Cartolina preto fosca. Papel laminado ou plástico transparente. Fonte de luz (lâmpada de 100 W- 220 V) com conexão na rede elétrica. Termômetro.



### INTRODUÇÃO TEÓRICA:

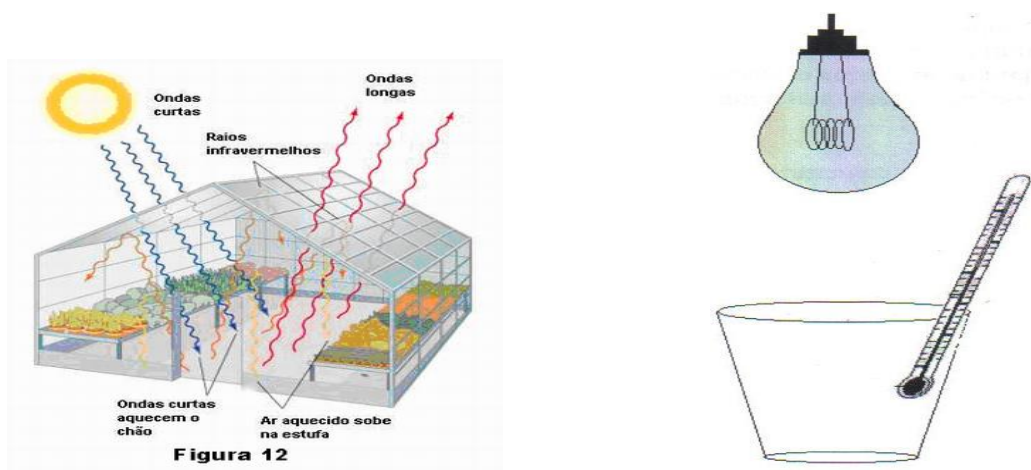
A luz por ser transmissora de energia ao incidir sobre corpos opacos (não-transparentes) é em parte refletida, e o restante absorvida. Os corpos de cores claras refletem a maior parte da luz incidente, enquanto os corpos escuros absorvem a maior parte. Um corpo que absorve toda a radiação luminosa incidente é chamado de corpo negro ideal. Um corpo opaco escuro, por exemplo, que se encontra continuamente sendo irradiado por luz (transmissão de calor por irradiação), chega a um ponto que entra em equilíbrio com sua vizinhança, isto é, não se mantém continuamente sendo aquecido (aumentando sua temperatura). Para que isto ocorra, temos que admitir que se faz necessário um balanceamento energético. Assim, além de absorver continuamente energia, ele necessita também irradiar (emitir) algum tipo de energia com a mesma potência, a qual normalmente não é visível, mas sim constituída de radiação térmica infravermelha. Na verdade a pequena faixa de cores de radiação visível faz parte do denominado espectro de radiação eletromagnética (ondas eletromagnéticas). Este espectro varre desde a radiação gama e raios X (altamente energéticos), a radiação ultravioleta, vai à estreita faixa do visível passando para o infravermelho (radiação térmica) e indo finalmente até as ondas longas de rádio (as menos energéticas). Todo bom absorvedor é também um bom emissor de radiação. A natureza da radiação emitida por um corpo depende da temperatura em que o mesmo se encontra. Normalmente, em um meio ambiente de temperaturas moderadas (que não são muito elevadas), os objetos emitem apenas a radiação térmica infravermelha. Porém, corpos à base de ferro

com temperaturas entre 600°C e 700°C, emitem também luz na cor vermelho escuro. Por outro lado, o filamento da lâmpada usada em nosso experimento, que se encontra aquecido a uma temperatura em torno de 3000°C, emite uma luz branco-amarelada.

A radiação luminosa ao atravessar um meio transparente (como o ar atmosférico), uma pequena parte é absorvida, o que oferece um pequeno aquecimento adicional ao meio (transmissão de calor por irradiação). O efeito estufa ocorre pelo fato de um meio transmissor a um tipo de radiação como a luz, não ser transmissor a outro tipo de radiação como a radiação infravermelha. Como é o caso do vidro, e de algumas moléculas contidas na atmosfera, como o CO<sub>2</sub> e o NO<sub>2</sub>, e alguns plásticos; que são transparentes à luz e não são transparentes à radiação térmica infravermelha. Assim, esses meios ou moléculas que absorvem a radiação infravermelha tem a função de irradiar de volta, aumentando a taxa de radiação incidente (isto é, a concentração da energia no local). O que vem provocar um pequeno aquecimento adicional (pequeno aumento da temperatura ambiente local). Esse fenômeno de absorção da radiação térmica, emissão de volta de pelo menos metade do que foi absorvido, causando um aquecimento adicional, é denominado de efeito estufa. Existe efeito estufa natural na atmosfera terrestre, responsável por um aquecimento adicional na superfície terrestre ao qual estamos aclimatados (provocado principalmente por moléculas de CO<sub>2</sub>, responsáveis pelo ciclo biológico da vida). O que, no entanto, se combate hoje é a estimulação de efeito estufa adicional, causado no mundo moderno dos automóveis e das fábricas, que despejam sem controle diariamente CO<sub>2</sub>, CO, entre outros gases estufas. Isso vem causando uma pequena elevação gradativa na temperatura média da superfície da Terra, o que poderá em um futuro próximo, acarretar em danos já estimáveis ao meio ambiente e que podem ameaçar à própria vida no planeta.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

1. Coloque a lâmpada de 100W ligada frontalmente por cima do copo branco vazio, a 1 cm de sua boca e insira o termômetro no interior do copo, mantendo seu bulbo à meia distância do fundo (conforme figura abaixo). Espere um tempo suficiente para ter certeza que a temperatura estabilizou e anote o seu valor.
2. Meça agora a temperatura ambiente, sem o copo, à mesma distância da lâmpada, mantendo o termômetro na mesma disposição em relação a lâmpada. Tenha o cuidado de não manter obstáculos próximos (paredes, mesa, etc.). Compare esta medida com a obtida anteriormente e comente sobre os resultados.



3. Repita o procedimento do item 1 com o copo revestido no seu interior por cartolina preta. Compare este resultado com o obtido para o copo branco.
4. Procure agora revestir a boca do copo preto com um fino plástico transparente, com um orifício lateral para que possamos inserir o termômetro. Efetue o procedimento anterior para medir sua temperatura interna. Compare este resultado com o obtido para copo preto aberto e comente o ocorrido. A luminosidade que incidiu no interior do copo, nos procedimentos dos itens 3 e 4, foram

iguais? Isto poderia interferir na obtenção de uma temperatura ainda mais elevada para o efeito estufa?

5. Com base no que foi verificado experimentalmente, comente sobre a validade da seguinte afirmativa: Se no interior do copo aberto (representando a crosta terrestre envolta por uma atmosfera normal), considerarmos a existência do efeito estufa natural, então o plástico que revestiu o copo poderia representar o excesso de gases estufas que vem sendo jogados na atmosfera desde o início da era tecnológica moderna.

6. Comente com base no experimento por que pintamos o interior das nossas casas com cores claras, preferencialmente o branco? Independente de questões com a iluminação interna teríamos outros problemas, com uma casa que tivesse suas paredes interiores pintadas de preto ou cores escuras?

## A DILATAÇÃO TÉRMICA DOS LÍQUIDOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA ENERGIA INTERNA

**OBJETIVOS:** Mostrar que os líquidos normalmente são mais sensíveis a expansão térmica que os sólidos, a partir de uma variação de temperatura, isto é aumento de sua energia térmica que se associa ao trabalho termodinâmico:  $W = P \cdot \Delta V$ ; isto é, o produto entre a pressão (P) pela expansão do volume ( $\Delta V$ ). A partir da dilatação acompanhada determinar o coeficiente de dilatação térmica do líquido. Observando que o coeficiente de expansão volumétrica de cada substância líquida, apresenta uma relação diretamente proporcional a seu desvio relativo ( $\Delta V/V_0$ ) e uma relação inversamente proporcional com a variação de temperatura ( $\Delta T$ ). O coeficiente de dilatação médio ( $\gamma$ ) de uma substância é por definição dado por:  $\gamma = \Delta V/V_0 \cdot \Delta T$ . Procure associar os resultados deste experimento com os procedimentos técnicos relativos ao engarrafamento de líquidos, Uma preocupação que ocorre principalmente em regiões onde se verificam grandes variações de temperaturas durante o dia e em diferentes estações do clima local.

**MATERIAL NECESSÁRIO :** termômetro; uma garrafa plástica (de 600 ml ou de 1,0 litro), com tampa plástica de rosca; uma seringa de injeção com agulha e sem o êmbolo; substância líquida: água e álcool; um recipiente grande o suficiente para colocar toda a garrafa em "banho maria"; aquecedor elétrico para aquecer somente a água do recipiente do "banho Maria".

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

- 1) Encha toda a garrafa de água até a boca, de forma a não deixar nenhuma bolha de ar dentro da mesma quando colocar a tampa. É necessário medir o volume ( $V_0$ ) da quantidade de água colocada. Introduza a agulha na tampa antes de fechar a garrafa. Verifique antes de fechar a garrafa se a agulha não ficou entupida.
- 2) Coloque o sistema (garrafa-agulha-seringa) dentro do recipiente do "banho maria" envolvendo apenas a garrafa (sem cobrir a tampa da garrafa), conforme mostrado em figura abaixo.

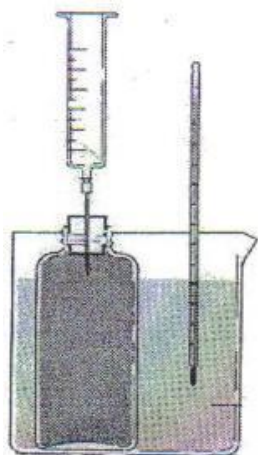


Fig. 1- Determinação da dilatação volumétrica - Uma seringa de injeção é adaptada ao recipiente contendo o líquido em estudo.



- 4) Aqueça o sistema da temperatura ambiente até em torno de 50°C (anote os valor inicial e final da temperatura para determinar o  $\Delta T$ ). Efetue a medida da expansão do volume ( $\Delta V$ ) que aparece na seringa para a variação total de temperatura ( $\Delta T = T - T_0$ ). Através da definição do coeficiente de dilatação médio, determine o coeficiente de dilatação da água ( $\gamma_{\text{água}}$ ), no intervalo de temperatura considerado.
- 5) Compare este coeficiente com o coeficiente volumétrico de dilatação de algum metal (efetuando a razão entre os coeficientes envolvidos), e expresse em ordem de grandeza quanto os líquidos (como no caso da água) são mais sensíveis à dilatação (expansão) em razão do aumento de sua energia térmica. Determine o trabalho termodinâmico ( $W = P \cdot \Delta V$ ) realizado na expansão volumétrica ( $\Delta V$ ), assumindo que a mesma ocorreu à pressão atmosférica ( $P_0$ ). Como o trabalho termodinâmico sobre o líquido contido na garrafa ocorreu por incidência de calor ( $Q$ ), o calor recebido aparece apenas na forma do trabalho realizado ( $Q = W$ )? Responda tomando por base a 1ª lei da termodinâmica.
- 6) Com relação ao verificado experimentalmente, que cuidados devem ser tomados no engarrafamento dos líquidos em seus recipientes?

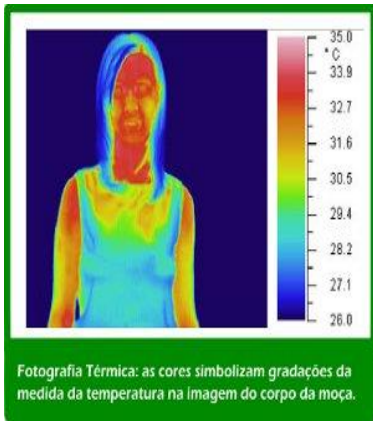
## **AS SENSações Térmicas DO CORIPO HUMANO E A TEMPERATURA AMBIENTE**

**OBJETIVO:** Diferenciar a temperatura do calor (energia), situando o aluno quanto ao fato da sensação térmica de quente ou frio não estar necessariamente ligada apenas à temperatura ambiente, existindo outros fatores. Observar também os efeitos da umidade em nossa sensação térmica e conseqüentemente sua influência no clima.

**MATERIAL UTILIZADO:** termômetro convencional de vidro (escala: -10 a 110 °C); ventilador elétrico; vaso para aquecer água; vela de iluminação, ebulidor elétrico.

### **INTRODUÇÃO TEÓRICA:**

Em estado normal, o organismo humano funciona internamente a uma temperatura média entre 36 e 37 graus Celsius (com o termômetro inserido na boca). Entre diferentes órgãos ou partes do corpo humano sua temperatura é diferenciada, conforme mostrado nas figuras abaixo. Mesmo em repouso o corpo humano consome uma energia (vinda principalmente da alimentação, para ser processada bioquimicamente por reações de combustão na corrente sanguínea), o que ocorre a uma potência da ordem de 100 watts (considerada como a taxa de metabolismo basal). Esse consumo ocorre na manutenção de trabalho de funcionamento dos órgãos, tecidos e células, que em condições normais mantém o aquecimento sanguíneo na faixa da temperatura colocada acima. Considerando o corpo humano como uma máquina térmica de combustão, parte dessa energia, que não desempenha uma função vital, é liberada em forma de calor para o ambiente externo, principalmente pela pele. O corpo humano em funcionamento normal é capaz de manter a sua temperatura, em diferentes condições climáticas, em regiões bem frias ou bem quentes, isto é, bem abaixo ou bem acima de sua temperatura interna. Em um meio ambiente agradável (entre as temperaturas de 20 e 26° C a depender do clima a que se está adaptado em cada região), o corpo humano mais aquecido costuma liberar calor para o ambiente menos aquecido espontaneamente. Porém, uma boa condição climática também depende de outros fatores como o da umidade do ar e da pressão atmosférica local. Mas, normalmente, o corpo humano não se adapta a climas muito frios ou muito quentes, principalmente quando úmidos, necessitando de proteção e de condições especiais para a sobrevivência nesses períodos.



Por quê sentimos calor em ambientes fechados sem circulação de ar em dias quentes? O corpo humano libera calor para o ambiente por transpiração pela pele, que se mantém aquecida. O ar em contato direto com nossa pele se esquenta e forma uma espécie de camada de ar quente junto ao nosso corpo, que não se renova por ar mais frio do ambiente se não existir circulação de ar. Como consequência, o fluxo de calor ( $Q$ ) é inibido, por ser diretamente proporcional à diferença entre as temperaturas interna e externa ( $Q \propto \Delta T$ ). Isto obriga nosso organismo a liberar calor em forma de suor (líquido) para o ambiente externo para poder manter equilibrado seu metabolismo interno de funcionamento, o qual não pode manter aumento de energia térmica, o que causaria aumento de temperatura. O suor representa uma sensação desagradável denominada de "calor", fruto da necessidade de mantermos o funcionamento normal do nosso organismo. Neste contexto, um fato que ajuda a nos trazer conforto é haver circulação de ar frio, o sopro de uma brisa ou vento que estimulem a renovação dessa camada quente mais rapidamente, o que vem oferecer melhores condições de se manter o nosso fluxo normal de calor (manter nossa transpiração normal pela porosidade de nossa pele sem liberar líquido).

Nosso corpo, como toda máquina de combustão, necessita transferir calor para um reservatório frio, o ambiente externo. Assim, para o nosso bem estar, o meio ambiente atmosférico, deveria funcionar sempre como o reservatório de calor mais frio abaixo dos 36 °C e ainda haver circulação de ar. A sensação térmica que sentimos na pele é de mais frio quanto mais veloz sopra o vento. Porém os habitantes de regiões frias conseguem suportar muito mais o clima a baixas temperaturas, quando não sopra o vento. Resultados experimentais mostraram que numa temperatura ambiente de 4 °C, sem a ocorrência de ventos, a nossa pele consegue se manter a uma temperatura de 31° C. No entanto se soprar uma brisa (ventos de velocidade igual a 2 m/s), a temperatura da pele cai para 24 °C. Com um vento mais forte, a uma velocidade de 6 m/s, o resfriamento da pele pode chegar a uma temperatura de 9 °C, bem abaixo de nossa temperatura interna (provocando uma sensação de frio ainda maior com a temperatura ambiente mantendo o mesmo valor 4 °C). É devido a esta mudança na sensação térmica que nosso senso comum de pensar incorpora que quando exposto ou quando protegido do vento, a temperatura ambiente local muda. Essa sensação diferenciada também é observada quando estamos sujeitos a climas quentes (como no caso de uma temperatura de 40 °C). Nos climas tropicais quentes, quando a temperatura do ambiente (que deveria funcionar como o reservatório de calor frio), é superior à do corpo humano (que deveria funcionar como o reservatório de calor quente), o fluxo natural de calor se inverte sendo de fora para dentro. Nosso organismo como um sistema biofísico, no entanto, não aceita esta condição física de inversão do fluxo de calor. Trabalha daí transpirando ainda mais suor para resfriar-se e manter seu metabolismo interno dentro dos padrões normais de funcionamento do corpo humano. Assim, a liberação necessária de calor líquido pelo corpo é ainda maior. O suor retido sobre nossa pele fica pelo menos à uma temperatura igual a de onde se originou, o interior do corpo (uma temperatura menor que a ambiente). Por sua vez, nestes climas mais quentes (que apresenta temperaturas superiores a da nossa pele), quando sopram ventos (corrente de ar quente) essa camada protetora líquida, menos aquecida que o ambiente, é renovada por ar mais quente que nossa temperatura interna. Sendo daí necessário também proteger a pele dos ventos em dias muito quentes. Podemos ver assim, que em dias muito frios ou muito quentes, nosso funcionamento orgânico na liberação de calor, necessita de ajuda de uma camada protetora (pele mais camada de ar próxima), que procura

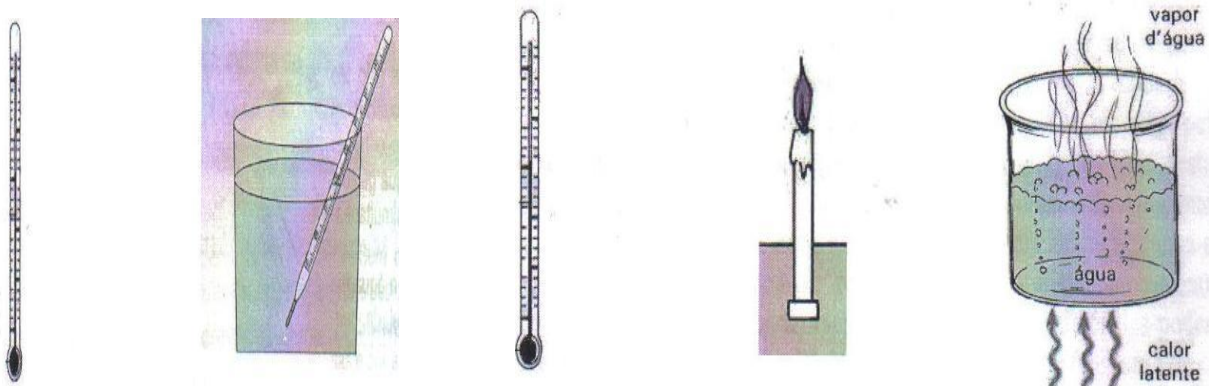
criar um isolamento térmico do meio ambiente para amenizar nossa dificuldade de aclimação. Nestas duas situações o vento não ajuda e sim dificulta, existindo a necessidade de nos abrigarmos e usarmos roupas apropriadas que ofereça um bom isolamento térmico do vento frio e dos ventos aquecidos.

O homem se abrigoando e se alimentando adequadamente, consegue suportar temperaturas muito frias de 40 a 60 graus abaixo de zero (existente em regiões polares) e temperaturas muito quentes de ate 57 graus na sombra nos desertos (alertamos para o fato que a temperatura ambiente não pode ser medida com termômetro exposto a irradiação solar). Em condições especiais, foram feitos muitos experimentos para se verificar qual a temperatura máxima que pode suportar o organismo humano por determinado tempo. O resultado indicou que numa atmosfera de ar seco (sem umidade para evitar o vapor muito aquecido), com a temperatura aumentando paulatinamente, e com um bom isolamento térmico no contato com objetos sólidos, o organismo humano conseguiu suportar temperaturas que podem chegar a 160 °C. Nessas condições, devido a grande tendência do fluxo de calor de fora para dentro do corpo, nosso organismo trabalha transpirando liquido (suor), muito mais intensamente (perdendo líquido), para manter a temperatura normal, entre 36 a 37 C.

Outro fator que condiciona nossa sensação térmica de temperatura é a umidade do ar. A umidade condiciona muito a nossa capacidade tanto de suportar o frio quanto o calor, conforme observaremos experimentalmente. Costuma-se dizer que o calor ou o frio úmido são insuportáveis. Por exemplo, é preferível conviver em um clima frio seco de temperatura menor, do que em um frio úmido de temperatura maior. Estamos nos referindo a um excesso de umidade (além dos limites que necessitamos organicamente para viver). Os problemas que enfrentamos com o excesso de umidade se relacionam, principalmente, ao elevado calor especifico da água (sua maior capacidade térmica de armazenar calor em relação aos outros elementos gasosos da atmosfera). Assim, as trocas de calor que efetuamos com o ambiente atmosférico através de nossas vias respiratórias ou mesmo pela pele são muito maiores nas regiões de climas mais úmidos. Isto estabelece uma sensação térmica de temperatura ainda menor (no frio) ou ainda maior (no calor) do que a verificada em temperatura ambiente de igual valor numa região de umidade mais baixa.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Meça a temperatura interna do seu corpo conforme se procede na orientação médica. Tente em seguida medir a temperatura externa de nossa pele (procurando manter pelo menos, metade do bulbo de termômetro em contato e a outra metade exposta ao ar) Justifique as diferenças existentes entre essas temperaturas? Pode ser também observado que sob efeito de um ventilador (circulação de ar) ~~que~~ a temperatura da pele não muda.
2. Meça a temperatura ambiente local, primeiro sem circulação do ar e depois com a circulação de ar (ou vento). Compare as medidas efetuadas e associe a sua sensação técnica de temperatura, quando o ambiente se encontra sem e com circulação de ar?
3. Utilize um vasilhame com água que esteja à mesma temperatura ambiente e observe (experimente) se a sensação térmica de temperatura sobre a mão dentro da água é igual a da outra mão que se mantém exposta a atmosfera. Justifique suas observações.



4. Disponha agora o bulbo do termômetro sobre uma vela acesa (ambiente seco), suficiente afastado para que seja registrada uma temperatura, por exemplo, em torno de 60 °C do ar aquecido. Em seguida coloque a mão nessa posição para avaliar a sensação térmica dessa temperatura. Efetue o mesmo procedimento sobre um recipiente com água em ebulição (ambiente úmido), na região onde a temperatura do vapor seja a mesma temperatura anterior, em torno de 60°C. Procure comparar e justificar as sensações térmicas experimentadas nas duas situações. É possível relacionar diretamente temperatura com sensação térmica?

### QUESTIONÁRIO

1) Duas saunas, uma com aquecimento a ar seco e a outra a vapor, são mantidas com seu interiores a uma mesma temperatura. Em qual delas conseguirmos permanecer por mais tempo sem alterar nossas funções orgânicas (qual delas é mais suportável) Justifique a resposta.

2) Porque sentimos frio, mesmo em dias quentes, quando saímos da água com a pele umedecida exposta ao vento?

## CONCENTRANDO ENERGIA ATRAVÉS DE LUPAS

**OBJETIVOS:** Estudar o comportamento óptico de lentes convergentes (biconvexas), determinando sua vergência e os efeitos da concentração da luz solar sobre superfícies opacas de cores diferentes (transmissão de calor por irradiação).

### INTRODUÇÃO TEÓRICA:

Sabemos que nas lentes convexas, os raios de luz que incidem paralelos ao eixo óptico refratam-se, convergindo para o foco. Podemos usar esta característica de forma aproximada com os raios solares, para determinar a vergência ou grau da lente ( $V = 1 / f$ ); medida em dioptrias, uma unidade que expressa o inverso da unidade em metro da distância focal ( $f$ ). O raio de curvatura da esfericidade de superfície da lente é muito importante para definir o seu grau, conforme é usado na equação dos fabricantes de lentes. Através da observação dos objetos com a lupa, vamos ter a formação de imagens reais como na formação da imagem do Sol no foco desta lente. Com a imagem formada do Sol nesse experimento, projetada em uma folha de papel ou cartolina, com o uso da lupa para concentrar os raios solares no foco da lente, iremos promover um aumento ou amplificação da intensidade luminosa da radiação solar direta incidente. É de nosso interesse aumentar a intensidade da radiação solar, para observar em um pequeno intervalo de tempo os efeitos dessa radiação sobre a superfície de objetos opacos com diferentes cores. A lupa ao receber a potência ( $P$ ) da energia solar direta sobre sua superfície de captação ( $A$ ) concentra esta energia em urna superfície bem menor (no foco), aumentando a intensidade da radiação solar ( $I$ ). Essa intensidade é definida por:  $I = P/A$  (razão da potência com a área). Esta amplificação de intensidade traz como consequencia o aumento do poder de queima da luz, isto é, o aumento da transmissão de calor por irradiação. Sendo a constante solar igual a  $1360 \text{ W/m}^2$  (intensidade da luz que chega na atmosfera superior) e considerando que a reflexão e as perdas por absorção na atmosfera até chegar a superfície da Terra causem uma redução média em torno de 50% da constante solar, vamos assumir que a luz direta, que incide na lente é igual a  $680 \text{ W/m}^2$  (no entanto, em dia limpo sem nebulosidade, em torno do meio dia, podemos considerar que a intensidade é  $1000 \text{ W/m}^2$ ). Assim, a partir da superfície da imagem real do sol formada pela lente sobre um anteparo, e da superfície de captação da lente, podemos determinar a intensidade de luz ampliada. Para isso vamos considerar que a potência incidente na lupa é igual a potência de luz convergente para o foco ( $P_{\text{lupa}} = P_{\text{foco}}$ ), que implica que  $I_{\text{lupa}} \cdot A_{\text{lupa}} = I_{\text{foco}} \cdot A_{\text{foco}}$ . Com esta equação podemos determinar o aumento da intensidade ou o aumento do poder de queimar, isto é, da transmissão de calor através da irradiação solar que está sendo amplificada em sua intensidade ( $I_{\text{foco}} = I_{\text{lupa}} \times (A_{\text{lupa}} / A_{\text{imagem}})$ ).

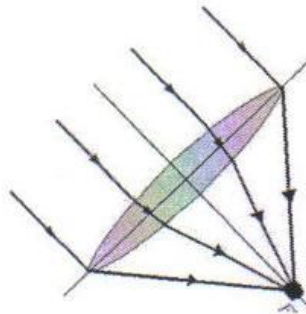
Neste experimento estaremos efetuando uma análise da absorção da energia térmica solar relativa à cor da superfície dos objetos. Estaremos acompanhando a capacidade de queima por

absorção da radiação solar em diferentes cores da superfície de certo material (transmissão de calor por irradiação solar seguida da capacidade de absorção em superfícies coloridas). Um fato que pode ser comprovado facilmente é o de que os corpos negros queimam rapidamente (absorvem praticamente toda a energia transmitida), enquanto os brancos (refletem quase completamente toda energia transmitida), levando muito tempo para queimar, por um processo gradativo de descolorização da cor branca. Na comparação entre duas superfícies coloridas, como o azul e o vermelho, podemos tomar para análise que a energia luminosa para cada fóton de luz é expressa por “ $E = h.c/\lambda$ ”. Como o  $\lambda_{\text{vermelho}}$  é menor do que o  $\lambda_{\text{azul}}$  isto significa que a superfície que reflete a luz vermelha, que corresponde a uma maior quantidade de energia, absorve uma menor quantidade de energia que a superfície que reflete a cor azul, que corresponde a uma menor quantidade de energia. Por esta razão a cor vermelha deveria queimar depois que a azul (levar um tempo maior para queimar), quando submetidas as mesmas condições de intensidade de irradiação solar (essa diferença na queima entre o vermelho e o azul é muito sensível requerendo uma observação mais aprimorada, sendo necessária a fixação da lupa e do anteparo para manter uma distância focal definida na captação de energia para que incida uma mesma intensidade, que o tipo de material utilizado em diferentes cores seja o mesmo, e que as cores características sejam definidas, por exemplo, não envolvendo um papel vermelho com tendência ao escuro e um azul com tendência para o branco).

**MATERIAL UTILIZADO:** lupa; cartolinas preto, branca, azul e vermelha, régua; luz solar direta.

**PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:**

a) Disponha a superfície da lupa na posição frontal à radiação solar (conforme mostrado abaixo) e a partir do ponto de focalização da imagem em um anteparo, determine a distancia focal e a vergência da lente.



b) irradie a luz solar convergida em sua intensidade máxima para o anteparo (focalize a imagem solar, sobre a cartolina usando diferentes cores: preto, branco, vermelho, e azul). Justifique o efeito da queima sobre cada cor, em função do tempo de exposição. Meça também o diâmetro médio da imagem solar projetada no foco ( $A_{\text{foco}}$ ) e o diâmetro da superfície da lente ( $A_{\text{lupa}}$ ). Determine a capacidade de amplificação da energia incidente (o aumento do poder de fogo da lupa causado pela transmissão de calor por irradiação). Considere que a intensidade de luz que chega na lente seja de  $1000 \text{ W/m}^2$  (um valor que ocorre em torno do meio dia solar).

## **LUZ COERENTE E LUZ ESPALHADA**

**OBJETIVO:** Analisar o comportamento de um feixe de luz propagando-se em determinado meio material transparente, quando a luz é coerente (aquele que apresenta uma frequência definida característica de uma determinada cor primária) de uma luz que é incoerente (aquela composta de diferentes frequências que caracterizam as diferentes cores primárias misturadas), procurando estudar e caracterizar o fenômeno de dispersão da luz.

**MATERIAL UTILIZADO:** fonte de luz a *laser* e uma fonte de luz comum branca; um diopetro plano ou em forma de um prisma (uma garrafa ou vasilhame contendo água, de faces planas em formato retangular ou em formato de um prisma triangular).

**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:** Os fótons que transitam por um determinado meio material não se propagam livres como no vácuo. Os mesmos interagem com o meio material sendo absorvidos por átomos ou moléculas aí existentes. Essa absorção vai causar uma excitação de elétrons de um nível de energia fundamental menor para o nível de energia maior com uma posterior transição para o estado de energia original seguida da emissão de um fóton para se dar continuidade a propagação dos fotons (estas duas etapas de absorção seguida de emissão são denominadas de absorção ressonante). Em todo o meio material, uma igual probabilidade de variação dos níveis de energia vai ocorrer na absorção e emissão coerente dos fótons pelos átomos e moléculas participantes deste processo. O fato dos fótons se transmitirem no meio de maneira coerente (luz de uma cor primária definida), vai caracterizar apresentarem uma mesma fase, a que se associa uma mesma frequência ( $f$ ) e conseqüentemente uma mesma quantidade de energia para cada fóton (a energia de um fóton é expressa por:  $E = h.f$ ; sendo ( $h$ ) uma constante, denominada de constante de Planck). Quando neste processo de absorção-emissão, os fotons não mantêm uma mesma fase no meio, isto é, quando os fótons estão sendo transmitidos com diferentes frequências, a luz transmitida passa a ser denominada de incoerente (uma luz caracterizada por apresentar diferentes cores primárias). Podemos observar que para explicar o processo de absorção e emissão na propagação da luz em um meio material temos que considerar a luz em sua natureza corpuscular. Lembrando que a luz também apresenta uma natureza ondulatória e a depender do fenômeno se exige um tratamento da luz como onda e (ou) como partícula (fótons). Como ondas eletromagnéticas a luz transmite energia através de um campo elétrico e de um campo magnético oscilantes. Quando a luz é coerente ela é formada por ondas de mesma frequência e direção que mantêm uma relação fase constante entre si. Tratando a questão da coerência com mais especificades, pode-se dizer que, dois pontos de uma onda são ditos coerentes quando guardam uma relação de fase constante, ou seja, quando conhecido o valor instantâneo do campo elétrico em um dos pontos, é possível prever o do outro. Na verdade existem duas manifestações diferenciadas de coerência: a coerência temporal e a coerência espacial. A coerência temporal está relacionada com a correlação da fase da onda em um determinado ponto alcançado pela mesma em dois instantes de tempo diferentes. Nos geradores a laser existe um elevado índice de coerência temporal. Já a coerência espacial se refere a uma relação de fase definida na propagação do campo elétrico entre dois pontos distintos de uma seção transversal de um feixe luminoso. O que significa dizer que quando a diferença de fase entre os campos permanece constante entre os dois pontos considerados que, a todo instante, entre estes dois pontos, existe uma coerência espacial perfeita. No entanto, normalmente, em um feixe de laser se verifica uma coerência espacial parcial (por existir uma pequena diferença na frequência), o que vai influir numa pequena divergência/dispersão verificada na propagação/percurso do feixe de laser, e que também afeta o tamanho do ponto de focalização quando o feixe de laser atravessa uma lente.

A descoberta do laser tem início no ano de 1917, quando o físico Albert Einstein descreve o fenômeno de emissão estimulada (fótons incidindo sobre átomos, gerando feixes de luz com alta quantidade de energia, se propagando em uma determinada direção). Porém na prática o raio laser foi produzido pelo físico americano Theodore Maiman em maio de 1960, desenvolvendo um aparelho que consistia em um objeto de formato cilindro de rubi com as extremidades polidas para funcionar como espelhos entre as pedras de rubi, que mostravam ser capaz de suportar a alta energia do feixe de laser produzido.

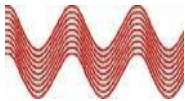
A diferença entre a luz incoerente e a luz coerente é mostrada nas duas ilustrações abaixo: no caso da luz incoerente de uma lâmpada, a mesma por ser policromática se dispersa em um meio transparente se propagando em muitas direções. Já a luz coerente do laser, é uma luz bem comportada em sua direção de propagação, uma vez possa ser considerada monocromática.



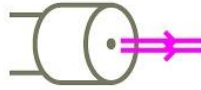
Assim, são multicromáticos e não coerentes.

Texto/foto de UnB Agência.

O laser



No laser, a luz viaja em feixes organizados, paralelos. Possuem frequência bem definida, com apenas uma cor.

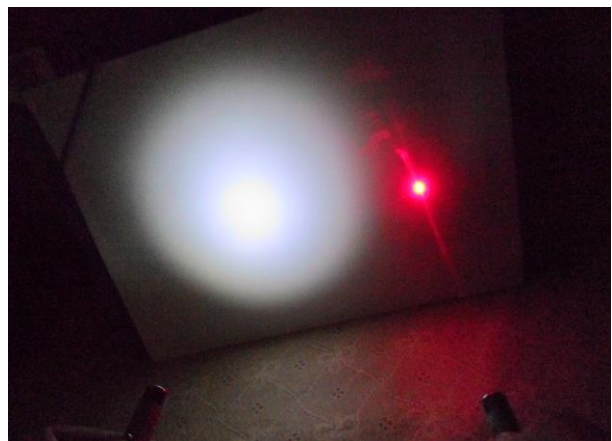


São portanto coerentes e monocromáticos.

Imagens de Apoena Pinheiro/UnB Agência

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

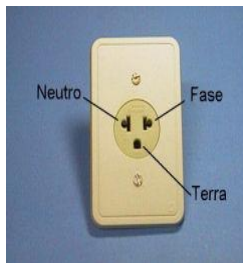
- 1) Utilize uma lanterna-laser, isto é, uma lanterna que traz simultaneamente duas fontes de luz: uma monocromática de um laser e a outra uma fonte de luz policromática. Proceda inicialmente com a emissão de luz a laser e depois com a emissão de luz de cor resultante branca. Fazendo cada uma das fontes incidir sobre um anteparo branco. Observe na propagação de cada luz o comportamento do feixe com relação a dispersão da luz (acompanhada pela incidência no anteparo utilizado). Justifique em cada caso se a potência de energia transmitida por unidade de área (a intensidade de luz transmitida) se mantém aproximadamente constante ou se varia ao longo da propagação da luz?
- 2) Em seguida proceda incidindo cada feixe de luz de maneira inclinada, sobre um dióptro plano, em relação a direção normal a superfície de incidência. Verifique com relação ambas as fontes de luz incidentes no dióptro, se ocorre a decomposição de um dos feixes. Em razão dos fenômenos que estão sendo observados, justifique teoricamente o comportamento de coerência ou não-coerência nos feixes de luz utilizados, com relação a propagação quando se muda o meio homogêneo de propagação (quando se utiliza dois meios transparentes diferenciados).



## MEDIDA DE DIFERENÇA DE POTENCIAL (D.D.P.) NA REDE ELÉTRICA

**OBJETIVOS:** Desenvolver o conceito de potencial elétrico associado ao fornecimento de energia pela rede elétrica, a partir de medidas de d.d.p. (tensão ou voltagem) nessa rede. Tomando como base o relacionamento da d.d.p. (tensão), entre: fase-neutro, fase-terra, e neutro-terra. O experimento também procura propiciar uma melhor compreensão do funcionamento da rede de energia elétrica a partir do relacionamento e da função técnica nos circuitos residenciais dos componentes: fase, neutro e terra.

**MATERIAL UTILIZADO:** Tomada da rede elétrica em funcionamento contendo o fase, o neutro, e o terra; multímetro digital (Voltímetro em corrente alternada); chave-teste da rede elétrica.



### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:**

O experimento procura desenvolver o conceito de potencial elétrico a partir do fornecimento de energia pela rede elétrica. Para isto, procura medir a diferença de potencial entre o fase e o neutro, o fase e o terra, e o neutro e o terra, utilizando um voltímetro em uma escala de funcionamento em corrente alternada (uma corrente que é variável). Em termos de polarização elétrica o significado na rede elétrica de corrente alternada, significa que existe uma inversão de polaridade entre os pontos do fase e neutro em que, por um período muito curto, ora o fase se apresenta como um polo positivo e o neutro como um pólo negativo e ora essa polaridade é invertida (o que se encontra regulado pela frequência de oscilação de 60 Hz da rede elétrica). Como existe uma relação direta entre a corrente e a tensão (d.d.p.) a variação na corrente implica também numa variação de tensão. Para simplificar este funcionamento oscilante da tensão e da corrente na rede elétrica para efeito de medidas elétricas se utiliza um valor equivalente de tensão como se o circuito funcionasse com valores constantes de tensão e corrente. Este padrão equivalente de tensão no abastecimento da rede doméstica local é de 220 V (normalmente o valor do padrão para a d.d.p. utilizada em todo o mundo é o de 110 V ou 220 V). Podemos considerar que com esta simplificação para uma rede que funcione a corrente contínua, isto é, uma rede que funcione com o fase e o neutro com polaridades fixas ou definidas, podemos associar/convencionar que, de maneira equivalente ao circuitos em corrente contínua, o fase apresenta uma polaridade positiva e conseqüentemente, o neutro uma polaridade negativa (uma convenção que se pensada de maneira inversa não alteraria as especificações/valores das grandezas envolvidas nos circuitos (potência elétrica, tensão elétrica, e corrente elétrica). Neste contexto a produção/consumo de energia elétrica ou da potência elétrica nos circuitos elétricos é a mesma. O conceito de potencial elétrico se encontra por definição diretamente associado ao conceito de energia potencial elétrica na teoria da eletrostática e por está razão iremos considerar aqui apenas, a concepção do potencial elétrico a partir da diferença de potencial elétrico na rede elétrica (entre o fase, neutro, e terra) utilizando os fundamentos da eletrostática, sem envolver a dinâmica dos circuitos elétricos alimentados pela rede elétrica. Neste sentido procuraremos associar a função técnica de cada um destes pontos de eletricidade (fase, neutro, e terra), considerando que em toda a usina geradora de energia elétrica e conseqüentemente em toda linha de transmissão desta energia é trazida pelo fio/cabo fase que necessita apresentar um determinado valor para seu potencial elétrico.



O que ocorre em razão de que o Planeta Terra é um condutor de eletricidade e que, por essa razão, participa da rede elétrica fazendo a conexão/retorno no fechamento dos circuitos com a usina geradora de energia elétrica. Neste sentido a Terra como um grande condutor de eletricidade conectado as usinas geradoras (sendo o ponto do fio neutro uma conexão com a Terra), necessita apresentar por convenção um potencial elétrico definido, ao qual é associado o de zero Volts. É por esta razão que no uso doméstico associamos que, o fase apresenta um potencial elétrico de 220 V em razão do potencial do Planeta Terra, ao qual se encontra associado o ponto neutro da tomada, por convenção apresentar o potencial de zero Volts (uma vez que a d.d.p. utilizada pelo consumo doméstico de eletricidade conforme já situamos é de 220 V). Vale lembrar que por definição sabemos apenas relacionar a geração de energia potencial elétrica a diferença de potencial e conseqüentemente, para efeito de medida sabemos apenas medir a voltagem (ou d.d.p.). Sendo por esta razão que atribuímos um valor ao potencial elétrico do fase, considerado 220 V. Porém é importante observar que apesar da importância do parâmetro diferença de potencial para o fornecimento de energia, o mesmo, isoladamente, não estabelece o consumo de energia, que é efetuado pela potência (P) que por definição é o produto entre a d.d.p. e a corrente. Como a rede elétrica residencial funciona com uma d.d.p. padrão de 220 V, temos que nos circuitos residenciais quanto maior a corrente maior será a potência e conseqüentemente o consumo (entretanto, está questão não é objeto deste experimento e vai aparecer mais adiante).

### **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:**

- 1) Utilize o Voltímetro em escala adequada de corrente alternada para efetuar a medida de d.d.p. entre os dois terminais da tomada localizados na parte cima (ver figura em anexo). Justifique o resultado obtido em razão do valor utilizado pela rede elétrica? Efetue em seguida a medida de d.d.p. de cada um dos terminais da tomada com o terminal de baixo (convencionalmente utilizado para ligar a um aterramento). Com base nos resultados obtidos qual dos terminais de cima é o fase?
- 2) Utilize agora a chave-teste de eletricidade (ver figura em anexo), para comprovar qual entre os terminais na parte de cima na tomada é o fase. Nas relações entre cada d.d.p. obtida anteriormente, o que representa o fase no fornecimento de energia elétrica? Na chave-teste cujo indicador do fornecimento de energia é efetuado pelo acendimento de uma lâmpada, verifique se existe uma diferença na luminosidade da mesma, quando o indivíduo efetua o teste isolado do solo (calçado) e descalço (mantendo um maior contato com solo). Nas duas situações envolvidas, o que representa esta diferença com relação a d.d.p. obtida e com relação ao maior contato com a Terra?

### **MEDIDAS ELÉTRICAS**

**OBJETIVOS:** Observar no consumo de energia elétrica a necessidade de medida da corrente e da tensão (d.d.p.) para determinar a taxa de consumo de energia elétrica (potência elétrica). Saber manusear os instrumentos de medidas elétricas (Amperímetros, Voltímetro e o Ohmímetro) na medida e análise de comportamento dos circuitos elétricos.

### **MATERIAL NECESSÁRIO:**

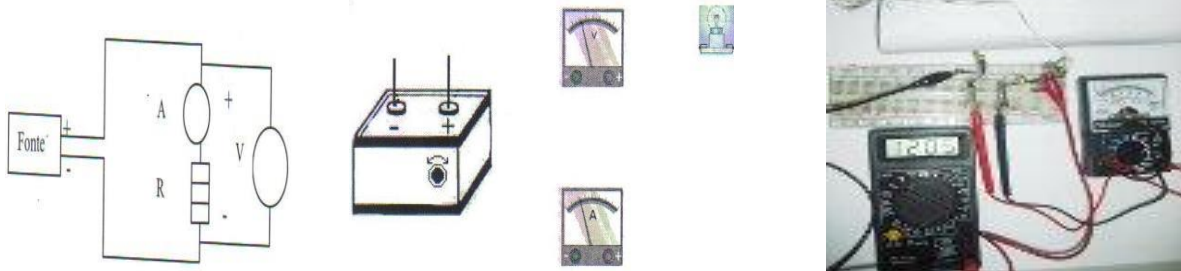
a) Fonte de alimentação C.C. variável (0V à 12V) b) Instrumentos de medidas (Multiteste: Amperímetro, Voltímetro e Ohmímetro). c) lâmpadas diferentes d) bancada e fios para ligações.

### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:**

Nos circuitos elétricos existe uma relação bem definida entre a tensão da alimentação ou ddp (V), a corrente elétrica (I) de entrada e a resistência elétrica R do circuito, que dada por  $R = V/I$ , a qual vamos utilizar junto com a definição de potência (P),  $P = V.I$  para analisar o consumo de componentes elétricos. Quanto aos instrumentos de medidas usados nesta análise, são dispostos segundo o diagrama abaixo, onde o amperímetro que mede a corrente é ligado em série no circuito e o voltímetro, que mede a tensão, é ligado em paralelo, conforme mostramos na figura abaixo, tendo o cuidado de usar uma escala adequada e ligar os polos do aparelho corretamente para não danificá-lo. Quando necessitamos usar o ohmímetro, que mede a resistência elétrica, isolamos o resistor do circuito e ligamos seus extremos aos terminais do instrumento, que apresenta um circuito próprio para efetuar esta medida. Normalmente antes da medida, procede-se o ajuste do zero da escala do ohmímetro, ligando-se os terminais entre si e movendo o botão de ajuste.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL :

- 1) Monte o circuito descrito na figura usando inicialmente o resistor (R). Tenha o cuidado em ligar corretamente as polaridades positivas e negativas do amperímetro (A) e do voltímetro (V) para não danificá-los. Na ausência dos dois instrumentos independentes, ligue um de cada vez no circuito dentro de sua característica e especificação, para efetuar suas respectivas medidas. Efetue as medidas da tensão de da corrente para o cálculo da potência elétrica da lâmpada. Efetue esse cálculo para diferentes valores de tensão versus corrente, procurando relacionar a potência determinada ao brilho (intensidade luminosa) emitido pela lâmpada?



## CIRCUITOS RESISTIVOS COM LÂMPADAS

**OBJETIVOS:** Relacionar a descrição teórica estudada, quanto ao comportamento da tensão, da corrente, da resistência e da potência com as dos circuitos resistivos aqui tratados, procurando relacioná-los a situações do cotidiano; Desenvolver habilidades em técnicas experimentais manuseio de instrumentos de medidas elétricas (amperímetro, voltímetro, ohmímetro).

**MATERIAL UTILIZADO:** Fonte de alimentação variável de 0 a 12 V-c.c.; Multiteste de medidas elétricas; mini bancada de ligações; pequenas lâmpadas de filamento de 6 V- 30 mA (utilizadas em ornamentação natalina); fios de ligações.

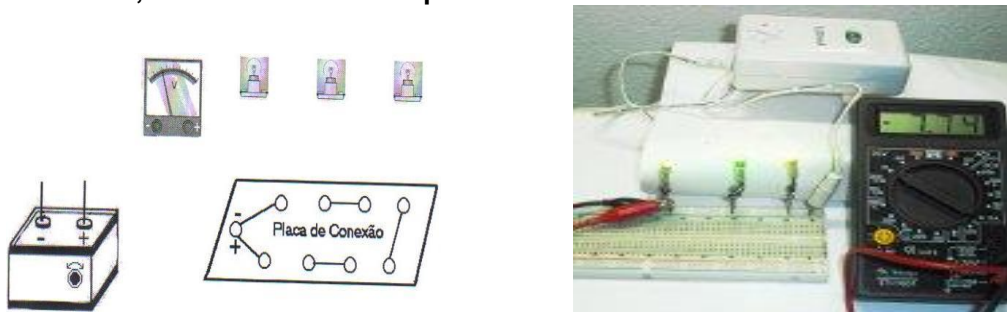
### **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:**

- 1) Ligue a fonte de alimentação ao voltímetro c.c. e inicie uma variação sucessiva no botão de abertura da tensão da fonte. Procure relacionar as variações de tensão indicada na fonte com a indicada no voltímetro. Procure interpretar o que ocorre entre o que registra a fonte com o registrado no voltímetro. Observe que estamos usando a fonte em um circuito fechado praticamente sem carga, isto é, que utiliza da fonte uma baixíssima corrente (sem um outro componente no circuito, apenas o

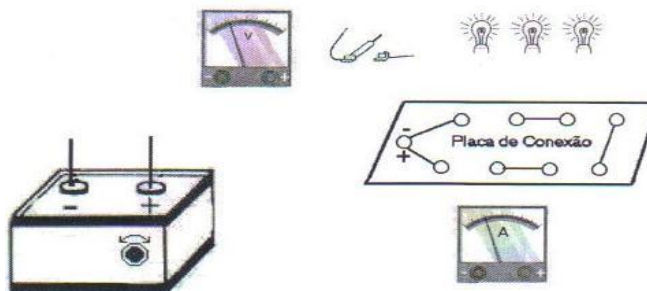
voltímetro que traz internamente uma altíssima resistência elétrica). Veja antes na figura abaixo como os componentes devem ser conectados.



- 2) Ligue agora inicialmente uma lâmpada disponível à fonte de tensão, mantendo no botão de saída uma tensão para 6 V. Mantenha também o voltímetro associado em paralelo à lâmpada. Compare a tensão medida agora com a do item anterior na mesma especificação de 6,0 V. Ligue em seguida, sucessivamente e em paralelo, uma segunda e uma terceira lâmpadas, efetuando a mesma comparação anterior (estude na figura abaixo como os componentes devem ser conectados). Que conclusões se podem tirar quanto ao comportamento da tensão de saída da fonte, levando-se em conta que a mesma foi mantida com a chave fixa?



- 3) Disponha as 3 lâmpadas pequenas de filamento conectadas em paralelo à placa de circuito ligada à fonte para estudar o comportamento da tensão e da corrente em cada uma (a partir das medidas de tensão e de corrente), procurando relacionar tensão e a corrente obtida na entrada e saída do circuito. Posteriormente efetue o mesmo procedimento com as lâmpadas dispostas em série. Use uma chave em série em uma das lâmpadas de cada um dos circuitos montados, a fim de observar nos mesmos a interdependência elétrica, relativa ao fato de ligar e desligar o componente (veja na figura abaixo uma imagem que representa os componentes desconectados a serem usados nas montagens). Responda: Que diferenças existem entre estes dois circuitos, e qual o mais comum em nosso uso diário? Determine o consumo de energia (potência) de cada um deles, justificando a razão de serem diferentes?



- 5) Efetue uma disposição mista qualquer com as 3 lâmpadas no circuito, e estude o comportamento da tensão, da corrente e da potência em cada componente e também a do circuito total (usando os mesmos componentes anteriores).

### O MOTOR COMO COMPONENTE DE UM CIRCUITO

**OBJETIVO:** Estudar o comportamento do consumo de energia elétrica nos motores elétricos quando utilizado em suas diferentes funções ( e mostrar os cuidados que é preciso ter em seu funcionamento relacionados a sua vida útil). A potência elétrica de consumo vai ser estudada a partir da relação entre a corrente elétrica e a resistência, em função do fato que a resistência elétrica nos motores variar com a frequência de rotação estabelecida em seu eixo.

### **INTRODUÇÃO TEÓRICA:**

A força magnética que atua sobre um condutor quando percorrido por uma corrente elétrica e submetido a um campo magnético é usada para fazer funcionar (realizar trabalho mecânico), em um grande número de aparelhos elétricos, como os medidores (amperímetros e voltímetros) e muitos motores elétricos, de uso muito frequente em nosso dia a dia (como os utilizados para funcionar geladeiras, furadeiras, liquidificadores, bombas d'água etc.). No motor, temos um processo de transformação de energia elétrica em energia mecânica, ao ligarmos a uma fonte de energia elétrica. Porém, nesse processo, não temos toda a energia elétrica sendo convertida em energia mecânica, devido ao fato que a resistência interna do motor atua como dissipador da energia elétrica em forma de calor (efeito Joule). De um modo geral, qualquer aparelho no qual a energia elétrica é transformada em outro tipo de energia, que não seja a energia térmica, é denominado um gerador de força contra eletromotriz (f.c.e.m) ou receptor.

Quando não está conectado a uma fonte de energia, o motor apresenta uma resistência interna muito pequena, sendo esta apenas a resistência do fio condutor que compõe o enrolamento da bobina do mesmo (um material condutor, como o fio de cobre em grande extensão, vai apresentar uma pequena resistência denominada de resistência ôhmica). Ao ser submetido a uma d.d.p. para dar partida à sua rotação, por apresentar uma resistência muito pequena, vai se estabelecer no início uma corrente muito grande. O que dura um pequeno intervalo de tempo, até o eixo motor atingir em rotação estável, o que faz com que apareça em sua bobina, um fenômeno conhecido como reatância indutiva, cujo efeito é criar uma resistência adicional bem mais significativa que a resistência ôhmica inicial à passagem da corrente elétrica. Este aumento na resistência irá diminuir bastante a corrente inicial. Essa resistência adicional variável induzida pela rotação, esta associada a frequência de rotação do motor através da expressão:

$$R_{\text{induzida}} = 2\pi fL$$

Onde: f = frequência de rotação da bobina; L = indutância da bobina (parâmetro característico da bobina, o qual depende do número de espiras e do volume ocupado pelas espiras).

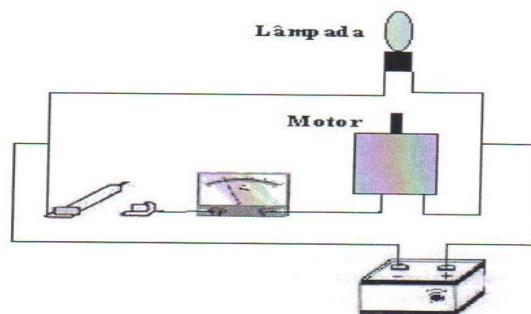
Evidentemente, a resistência total é dada pela soma da resistência induzida (presente apenas quando existir rotação do motor) com a resistência ôhmica do fio da bobina. Ou seja,

$$R_{\text{total}} = R_{\text{fio}} + R_{\text{induzida}}$$

O fato de  $R_{\text{induzido}}$  ser diretamente proporcional a frequência de rotação do motor, faz com que o motor, quando trabalha livre ( com rotação máxima ), tenha sua resistência induzida máxima e conseqüentemente a menor corrente ( $I = V / R.$ ), isto é, o menor consumo de energia elétrica (o motor funciona utilizando sua potência elétrica mínima). O motor quanto mais trabalha forçado apresenta uma menor frequência de rotação (menor resistência elétrica induzida) e conseqüentemente um maior consumo de eletricidade (maior potência elétrica de funcionamento). Um motor ligado à rede elétrica não pode trabalhar forçado a ponto de ter a rotação de seu eixo travada pois  $R_{\text{induzido}} = 0$ . Pois conseqüentemente irá ocorrer uma corrente máxima, que persistindo por algum tempo, aquecerá o suficiente o enrolamento motor a ponto de fundir o isolamento do fio bobinado, provocando um curto-circuito, que conseqüentemente danificará o motor. Na prática o valor de  $R_{\text{induzido}}$  será determinado medindo-se a voltagem no motor e a sua respectiva corrente de alimentação (usando daí a relação:  $R_t = V / I$ , e posteriormente subtraindo  $R_t$  do valor de  $R_{\text{fio}}$ , que deve ser medido através do uso de um ohmímetro.

**MATERIAL NECESSÁRIO:** a) motor elétrico; b) fonte de alimentação; c) multímetro analógico; d) um lâmpada pequena; e) chave liga-desliga.

**PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:** o circuito deve ser montado segundo mostrado no diagrama mostrado abaixo.



1) Inicialmente, meça com o ohmímetro a resistência do motor (desligado) e anote o resultado obtido. Em seguida, ligue a fonte aos terminais do motor e meça a voltagem (V) e a corrente de alimentação (I) no mesmo para, através da relação  $R = V/I$ , determinar o valor da resistência elétrica (R) do motor em funcionamento no circuito. Compare a mesma com a resistência elétrica do motor desligado. Comente sobre os resultados obtidos.

2) Com um amperímetro ligado em série com o moto, verifique o comportamento da corrente no instante em que o motor é ligado. Em seguida vá aos poucos travando o eixo do motor, exigindo mais trabalho mecânico e observe o que acontece com a corrente. Justifique o comportamento da mesma, admitindo que a tensão de alimentação permanece constante.

3) Agora, conecte a pequena lâmpada de filamento em paralelo com o motor, conforme figura apresentada acima, e observe o que ocorre na luminosidade da mesma, logo que o motor é ligado. Justifique o que foi observado no comportamento da lâmpada, e procure relacionar a situações similares observadas em nosso cotidiano quando um motor entra em funcionamento associado em paralelo a uma lâmpada.

### CIRCUITOS COM LED

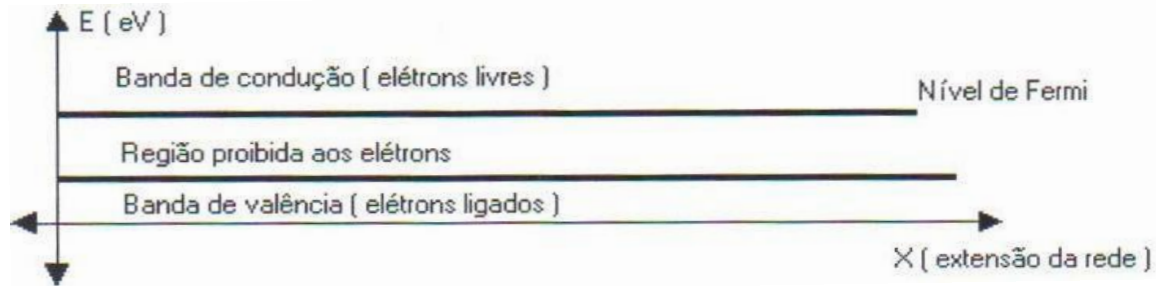
**OBJETIVO:** mostrar o comportamento quântico do LED como emissor de energia luminosa, em função das diferentes cores. Mostrar suas características e os cuidados que se fazem necessários, por suas sensibilidades e limitações, quando ligados aos circuitos elétricos, em seu diversificado uso na iluminação e como sinalizador.

**MATERIAL UTILIZADO:** Fonte de alimentação (0 - 12V - 1,0 A); Diodo comum retificador; Resistor 1/2 W - 47 KV; Bancada de circuitos para conexão de componentes; LED de diferentes cores, (vermelho, amarelo , verde, azul, e branco); Fios para ligações; Multe-teste analógico; Multe-teste digital

#### **INTRODUÇÃO TEORICA:**

Procuraremos abordar de forma simplificada e fenomenologicamente, alguns aspectos da condutividade elétrica em meios sólidos, e a emissão de luz em semicondutores por excitação elétrica. Algumas características de um diodo, principalmente as relativas ao emissor de luz, serão também abordadas.

Para efeito da condutividade elétrica, a matéria sólida em sua estrutura atômica (rede atômica), apresenta três regiões de energias características. Elas estão descritas de forma simplificada no diagrama abaixo, onde vamos encontrar na extensão da rede duas bandas de energias separadas por uma região de energia proibida.



Assim, por si só, em condições normais, a matéria, que em sua estrutura atômica apresentar apenas seus elétrons situados na banda de valência, isto é, os elétrons ligados, não pode conduzir (constituem-se em materiais isolantes elétricos). Por sua vez, para conduzir é necessário que existam naturalmente muitos elétrons pertencentes à banda de condução (os elétrons livres). Por fatores externos (quando submetidos a uma energia potencial elétrica ou elevação da temperatura com aumento da energia térmica etc.), os elétrons da banda de valência podem ser excitados (ganham energia suficiente) para transporem a faixa de energia não permitida, passando para a banda de condução. Os metais normalmente são bons condutores, por apresentarem uma larga banda de condução bem definida.

Existem matérias que apresentam uma propriedade intermediária, de não serem bons condutores, nem bons isolantes (apesar de não existirem isolantes perfeitos. Esses meios que normalmente apresentam uma característica intermediária são denominados de semicondutores, como ocorre no silício e no germânio. Nestas matérias os elétrons em sua maioria povoam a banda de valência (característica de isolante), em um intervalo bem estreito de energia da região proibida. Isso permite com certa facilidade a excitação de muitos elétrons a transporem o nível de Fermi, e passam para a banda de condução, por elevação da temperatura ou por aplicação de uma tensão externa, e ainda por incidência de luz. É porém através da dopagem de semicondutores, isto é, da colocação de pequenas porções de impurezas (elementos característicos), que se estabelece uma condutividade definida nestes materiais. Diferentemente dos metais, onde a condução só se dá por elétrons, nos semicondutores através de diferentes tipos de dopagens se consegue conduzir por elétrons (carga negativa), denominados de tipo N e se conduzir por portadores de carga positiva denominados "buracos" (ausência de um elétron), chamados de matérias do tipo P.

Temos muitas aplicações na eletrônica, com a junção desses dois tipos de matérias P e N. A mais elementar delas é o diodo, que consiste em um acoplamento ou junção de um condutor tipo P com um condutor tipo N. Esse componente no circuito conduz, quando sua região do tipo N é ligada à polaridade positiva da fonte e a do P é ligada à polaridade negativa da fonte. A tensão aplicada nesse sentido em um diodo é denominada de direta, e o componente apresenta uma baixa resistência elétrica nesta situação podendo passar por este componente uma corrente elevada. O sentido de ligação contrário ao anterior deste componente com a fonte de alimentação polarizada estabelece uma alta resistência elétrica à passagem da corrente, o que caracteriza o diodo neste sentido como um "isolante" ou um pequeno condutor elétrico. Isto porque, com o componente submetido a uma tensão inversa, o mesmo oferece uma barreira muito grande de potencial contrário ao sentido de polarização de ligação da fonte; ao que se associa uma alta resistência elétrica à passagem da corrente. Assim, um diodo, de acordo com as ligações de polarização (P e N) com os pólos positivo e negativo da fonte é praticamente condutor em um sentido direto (sua junção P ligada ao pólo positivo da fonte e a junção N ligada ao pólo negativo da fonte) e "isolante" no sentido inverso (com as junções ligadas aos pólos contrários da fonte). O primeiro diagrama do circuito elétrico abaixo mostra um diodo comum ligado no sentido direto à polarização da fonte de polarização definida, com um amperímetro em série, para registrar a possibilidade de corrente nesta disposição. No diagrama seguinte com a disposição do diodo invertida com relação à polaridade da fonte o amperímetro praticamente não deve registrar a passagem de corrente.

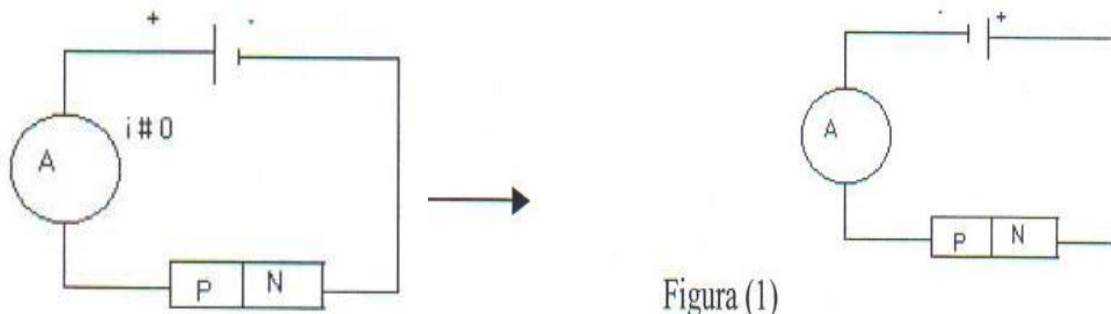


Figura (1)

O LED (Light Emitting Diode), em português significa, diodo emissor de luz. Esse componente apresenta as mesmas características de condutividade de um diodo comum, só que com sua função diferenciada dos diodos comuns, como fontes luminosas para atender a diferentes fins, são mais sensíveis a tensão e corrente que podem ser submetidos sem sofrer danos. Em geral, um LED operam submetidos a uma tensão entre 1,6 a 3,3V, sendo recomendado que sejam alimentados por uma fonte de corrente contínua, utilizando : pilha, bateria, e para ligar a rede: fonte retificada e dispositivos de alimentação mais sofisticados que controlam a variação de tensão e da corrente para manter a intensidade de luz (controlar a frequência com que oscila o brilho). As fontes de corrente contínua (c.c.) são importantes por evitar que este dispositivo seja submetido a tensão reversa oriunda da rede elétrica que funciona em corrente alternada. Para não danificar e manter o tempo normal de vida útil os LEDs não devem ser submetidos a tensão reversa maior que sua tensão nominal de funcionamento. A tensão específica que alimenta os LEDs depende do comprimento da onda relativo a cor emitida. Assim, os LEDs infravermelhos geralmente funcionam com menos de 1,5V, os vermelhos com 1,7V, os amarelos com 1,7V a 2.0V, os verdes entre 2.0V e 3.0V, enquanto os LEDs azuis, violeta e ultra-violeta geralmente precisam de pouco mais que 3V.

Os primeiros LEDs produzidos para sinalização (liga-desliga) dos aparelhos eletro-eletrônicos, apresentam uma baixa potência (consomem entre 10 a 150 mW de energia elétrica) enquanto que os LEDs mais recentes de alto brilho desenvolvidos para a iluminação consomem numa potência na ordem de grandeza em torno de mil vezes maior (entre 1 a 10 W). Atualmente existem LEDs de alto brilho no mercado que consumo cuja potência é de 1, 3, 5, 10, e 30 W). Quanto ao tempo de vida útil a literatura coloca que pode variar de 50.000 a 100.000 horas de funcionamento (podendo do tipo de proteção se pode chegar a até mais). Para efeito de ilustração um LED de alta potência de 1 W, apresenta como característica: uma vida útil de 50.000 horas; fluxo luminoso de 55 lúmenes (uma eficiência de 55 lm/W); voltagem de operação entre 3 e 4 Volts (c.c.); e uma corrente de operação de 350 mA (c.c.).

Quando ligado diretamente a rede de corrente alternada sem queimar, se deve obter proteção procurando uma maneira para o LED funcionar sob efeito de sua tensão (V) nominal. O procedimento básico é dividir a tensão da rede entre o LED e um resistor (R) colocado em série no circuito (uma vez que:  $V_{rede} = V_R + V_{LED}$  e ainda que,  $V_R = R/I$ ). Assim com este procedimento vamos obter que a resistência a ser utilizada apresenta um valor dado por:  $R = (V_{rede} - V_{LED}) / I$ . Assim conhecida a tensão  $V_{LED}$  e sua corrente nominal(I), se pode chegar a qual o valor da resistência a ser associada ao circuito. Uma proteção ainda mais indicada a manutenção da vida útil de um LED, é eliminar de todo o efeito da tensão reversa. A forma mais simples de efetuar isto é colocando um diodo comum retificador que deixa o circuito submetido apenas corrente em um sentido (c.c.)

Os diodos comuns (não emissores de luz) em sua função de permitir a corrente num sentido e impedir a corrente inversa, são utilizados nos circuitos de corrente alternada como retificadores desta corrente alternada por eliminar a corrente em um sentido permitindo apenas um sentido único (denominado de corrente contínua). Assim, quando usamos apenas um diodo em série no circuito de corrente alternada estamos limitando o circuito a metade da corrente disponível e conseqüentemente disponibilizando apenas metade da energia potencial elétrica disponível para o funcionamento do circuito. Em suas características os diodos comuns conseguem suportar uma tensão reversa de 800V (bem acima dos 311 V da rede cuja tensão eficaz é 220 V), e uma corrente máxima suportável alta (na ordem de grandeza de 1 a 100 A), o que vai depender de suas especificações.

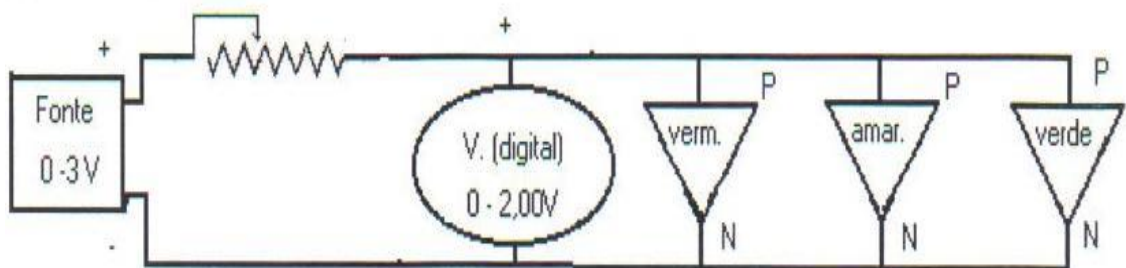
Conforme já nos referimos um diodo comum poderia ser usado para proteger um LED da tensão reversa, precisando para isto ser ligado em série com o LED. Porém para o funcionamento adequado sem danificar o

LED este recurso somente não é o suficiente necessitando-se ainda anexar um resistor em série cujo valor já definimos anteriormente. Normalmente nesse circuito o resistor pode se aquecer bastante (por efeito Joule), e também se requer cuidados com a especificação de potência do mesmo. Essa é uma forma simples, de baixo custo, que dispomos para ligar um LED diretamente na rede mantendo sua vida útil. Na aplicação prática deste circuito se pode tanto utilizar o aquecimento do resistor, como é feito no uso do repelente elétrico contra mosquitos, quanto utilizar o LED para sinalizar se o circuito se encontra fechado ou aberto. Pode ainda servir de teste para avaliar o funcionamento da rede (ligada-desligada) e ainda para testar componentes eletrodomésticos (se funcionando ou se danificado). A foto colocada abaixo mostra alguns equipamentos e componentes do Kit que iremos utilizar durante o procedimento experimental apresentado a seguir.



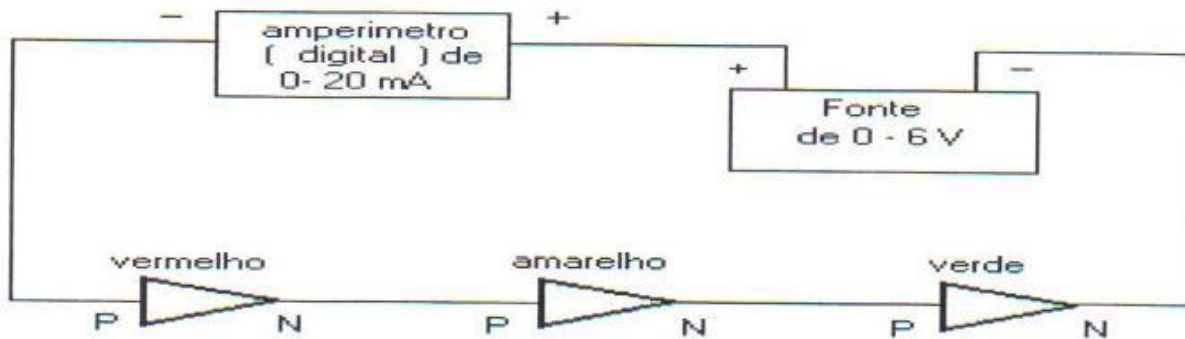
### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

1. ligue um diodo comum e depois um LED, separadamente (um de cada vez), a uma fonte de alimentação em 2,0V e com um mili-amperímetro em série no circuito. Determine as junções P e N desses componentes, após inverter o sentido de ligação dos mesmos, e a partir do sentido de condutividade observado. Esses dois componentes apresentam as mesmas características de condutividade? ( segundo figura 1)
2. ligue os 03 LEDs na bancada de montagem de circuitos numa disposição em paralelo, juntamente com o voltímetro digital, com todos estes elementos conectados a fonte de alimentação. (figura abaixo). Inicie a variação de tensão da fonte (a partir de 0 V) lentamente, para determinar o valor da d.d.p. em que cada LED, o vermelho ( $\lambda = 675\text{nm}$ ), o amarelo ( $\lambda = 575\text{nm}$ ) e o verde ( $\lambda = 525\text{nm}$ ), começa a emitir luz. Procure justificar teoricamente o observado na prática. Determine se a energia potencial de cada portador de carga (o elétron) da corrente ( $E_p = eV$ ), usada para emissão de fótons e igual a energia de cada fóton emitido ( $E = h c / \lambda$ ) ? Justifique a resposta obtida.



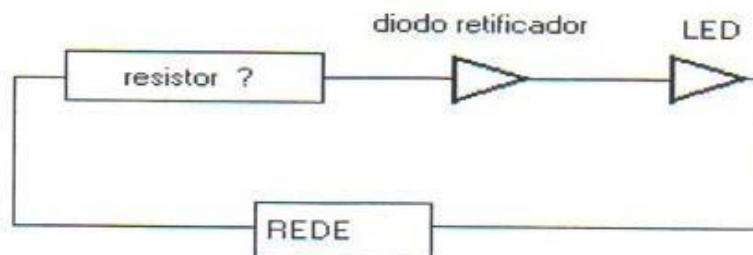
3. Ligue o mili-amperímetro em série com cada um dos LEDs e obtenha a intensidade mínima de corrente necessária a que cada LED inicie sua emissão. Compare as intensidades obtidas para cada cor. Determine a potência elétrica ( $P = V \cdot I$ ) usada para o funcionamento normal de um LED (vermelho) (tome por referência, por exemplo,  $I = 10 \text{ mA}$  e para esse valor anote a d.d.p.). compare essa potência, a de uma pequena lâmpada de filamento de 6,0 V - 220 mA (isto é determine a razão entre a potência maior e a menor). Justifique daí uma vantagem do uso do LED, como sinalizador no lugar das lâmpadas.





### EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO (FACULTATIVO)

Como ligar um LED diretamente a rede de eletricidade (sem uso de transformador abaixador de tensão) sem queimá-lo? Observe inicialmente a corrente e a tensão direta e reversa máximas, que um LED pode ser submetido e conclua se o mesmo pode ser ligado sozinho a uma tensão tão alta quanto a da rede. Porém associando um resistor em serie com o LED vai ocorrer uma divisão de tensão entre os dois componentes! Isso poderia viabilizar a ligação? Desprezando inicialmente a resistência elétrica do LED e considerando,  $I = 10 \text{ mA}$ , uma boa corrente para seu funcionamento normal, qual o valor do resistor a ser usado (com  $V = 110\text{V}$  ou  $220\text{V}$ )? Se quisermos retificar a corrente no circuito para um único sentido, evitando as tensões reversas sobre o LED (como um mecanismo de proteção), qual o componente a ser ligado para efetuar essa função? Com base nas sugestões acima, observe o diagrama abaixo, efetuando os isolamentos necessários e tomando os devidos cuidados em não efetuar contato elétrico com fios descobertos conectados a rede. Uma vez montado o circuito do diagrama procure colocá-lo em funcionamento. Pense em possíveis aplicações para esse circuito.



### INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

**Objetivos:** mostrar qualitativamente o fenômeno da indução eletromagnética descrito pela lei de Ampère (o magnetismo obtido a partir da eletricidade) e pela lei de Faraday (a eletricidade obtida a partir do magnetismo), procurando associar as aplicações tecnológicas, como a da geração de energia elétrica em corrente alternada, o funcionamento dos transformadores, e o funcionamento do eletroímã. Mostrar também o funcionamento do diodo na retificação da corrente alternada para a contínua e o do capacitor com a função de um filtro regulador da tensão e consequentemente da corrente (mantendo a tensão e a corrente próxima a uma situação estável, isto é, de um valor constante).

**Material Necessário:** Ímã: 2 bobinas de fio condutor, adaptável a um núcleo de ferro móvel. Fonte de alimentação: de 18 W - C.C. - tensão variável (0-12V). Galvanômetro de zero central. Multiteste analógico: micro-amperímetro - c.c. Diodo de germânio. Capacitor. Motor elétrico- 6 V. LED e Lâmpada 6V. Um pedaço de barbante para acionar o eixo motor (na função de uma correia para girar o eixo).

## Introdução Teórica:

Oersted e Ampère, a partir de 1820, divulgam suas experiências realizadas independentemente sobre o efeito magnético produzido pela corrente elétrica. Observam a circularidade do magnetismo em volta de um fio reto com corrente. Ampère propõe que o produto do “campo magnético” ( $B$ ) pela circularidade em volta do fio ( $2\pi.r$ ) era proporcional à corrente elétrica. Na atualidade essa descoberta é conhecida como lei de Ampère -Oersted, que formalmente é expressa por:  $B(2\pi.r) = \mu_0.I$ ; com ( $\mu_0$ ) sendo denominada de permeabilidade magnética do meio. Ampère também estuda o comportamento do magnetismo em uma bobina de fio condutor com corrente denominada de solenoide, afirmando que no solenoide com corrente ocorrem efeitos magnéticos semelhantes aos verificados nas barras imantadas. Inicia-se com esta descoberta uma unificação dos fenômenos elétricos com os magnéticos, antes estudados em separado. Faraday, quando começou a trabalhar com os efeitos da corrente elétrica percebeu que Oersted-Ampère não haviam investigado o sentido inverso de tentar mostrar que a partir do magnetismo se poderia obter a eletricidade. Faraday comprovou essa ideia ao observar que o deslocamento de um ímã nas proximidades de um fio produzia corrente elétrica. Observou ainda que uma corrente variável passando por uma bobina também provocava o aparecimento de uma corrente em outra bobina. A estes fenômenos Faraday denominou de indução magnética. Nesta mesma época inventou o primeiro gerador (que veio a se constituir em nossa principal forma de gerar energia elétrica em grande quantidade nos dias atuais).

No entanto faltava algo para complementar a Lei de Faraday que justificasse a geração de eletricidade em atendimento a lei de conservação de energia. Uma vez que essa lei não tratava das relações de transformação de energia, coube a Lenz descobrir que os efeitos de uma corrente induzida por uma força eletromotriz sempre se opõem à força eletromotriz que induziu este efeito. O que significa dizer que para se produzir uma força eletromotriz na bobina, precisa ser produzida uma força motriz para movimentar o ímã que gerou este efeito. O fenômeno de efeito contrário (Lei de Lenz) impõe, para mantê-lo, a necessidade de realização de um trabalho externo (força vezes deslocamento), o que expressa a necessidade de transformar parte da energia mecânica (a fonte de energia primária do fenômeno de indução), em energia elétrica (energia secundária ou energia útil). Em razão destas duas contribuições para a indução magnética é que passamos a denominar de Lei de Faraday-Lenz.

Para propor sua lei, em 1838 Faraday idealizou as linhas de força do campo magnético. Nessas linhas ocupavam todo o espaço em volta do ímã, que atuava como um campo de forças. Uma grandeza que em sua concepção se propagava no espaço apresentando uma característica vetorial, a que denominou de campo magnético ( $B$ ) em 1845. Precisou ainda estabelecer a ideia de um fluxo ( $\Phi$ ) para este campo de força como:  $\Phi_B = B.A$  [o produto do campo magnético ( $B$ ) pela área frontal ( $A$ ) em que se considera o fluxo]. Este fluxo estático não gerava eletricidade (o que corresponde a uma situação de um ímã parado frontalmente ao núcleo de uma bobina), necessitando, assim, se estabelecer uma variação deste fluxo ( $\Delta\Phi_B$ ) em função do tempo ( $\Delta t$ ), que ocorria com o movimento do ímã em torno da bobina, que iria produzir força eletromotriz induzida ( $\epsilon$ ). A expressão formal da lei de Faraday é:  $\epsilon = \Delta\Phi_B/\Delta t$ . Para a tecnologia atual, essa lei possibilitou obtermos a forma mais eficaz e em elevada potência, que o ser humano consegue dispor para desenvolver tecnologia para gerar energia elétrica. A importância do fenômeno da indução eletromagnética para a humanidade se constitui no principal fator que justifica os meios de produção, desenvolvimento e consumo, facilidades e lazer, a que a sociedade contemporânea atingiu.

A energia elétrica associada a força eletromotriz produzida aciona o funcionamento do circuito produzindo uma corrente elétrica, se a bobina se encontrar em circuito fechado. A natureza não permite que um ímã estacionário próximo a bobina ou em movimento livre gere eletricidade. Existindo a necessidade de uma força possa realizar trabalho (a necessidade de uma fonte de energia mecânica), para induzir energia elétrica na bobina. Até porque estaríamos contrariando o princípio da conservação de energia, se pudessemos obter a energia elétrica sem haver nenhuma transformação energética. Como vimos no experimento sobre magnetismo, na primeira conexão que efetuamos entre a eletricidade e magnetismo, a energia elétrica usada na produção da corrente elétrica, originava propriedades magnéticas no circuito. O que ocorria era que, a bobina usada no experimento se tornava um magneto (com as mesmas propriedades de dipolo magnético do ímã: o norte de um lado e o sul magnético do outro, que ficavam na dependência do sentido da corrente que circulava na bobina). Pela necessidade de transformação de energia, quando aproximamos o ímã por exemplo, pelo seu norte magnético, a corrente que é induzida ocorre em um sentido de circulação de forma a apresentar na bobina também um norte no lado da aproximação. Isto irá dificultar a aproximação do ímã (em virtude dos pólos de sinais iguais se repelirem), o que vai necessitar a realização do trabalho mecânico para a aproximação. Por razões técnicas de continuidade de produção de energia elétrica, necessitamos ter o ímã continuamente se movimentando, se aproximando e se afastando da bobina. Daí ser necessário também criar dificuldade no afastamento do ímã. Para isto se estabelece a inversão da corrente

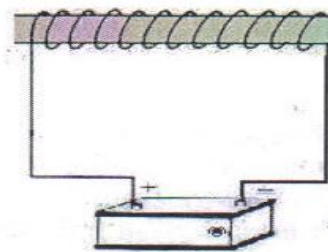
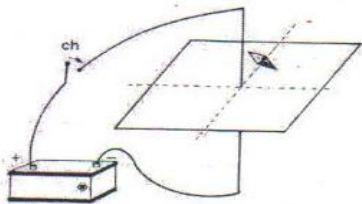
na bobina no sentido de mudar a polarização magnética, pois o polo sul da bobina impedirá o livre afastamento do ímã sem a realização de trabalho. Esta é a causa do aparecimento natural de uma força eletromotriz induzida de forma alternada. Conseqüentemente vamos ter a circulação da corrente nos circuitos também de forma alternada. Em nossa forma mais comum de gerar energia elétrica, por indução eletromagnética, se algum gerador estiver produzindo corrente contínua em um circuito é porque o mesmo dispõe de algum mecanismo interno de conversão da corrente alternada para a de um único sentido (corrente contínua).

Neste experimento devido a não existência de um galvanômetro (micro ou mili-amperímetro, de zero central), para acompanhar as oscilações da corrente, podemos usar um aparelho em corrente contínua, adaptando ao mesmo um diodo (componente básico dos circuitos eletrônicos, por permitir a corrente em um sentido e praticamente isolar eletricamente no outro). Assim a função do diodo é a de permitir a corrente apenas em um sentido e impedir a corrente em sentido contrário (no experimento devemos conectá-lo no sentido a permitir a deflexão normal do ponteiro do instrumento). Para obter uma corrente constante (sem variações), próxima às verificadas nos circuitos com geradores eletroquímicos, existe a necessidade de ser usado um capacitor (acumulador de carga elétrica). Trata-se de um componente básico dos circuitos eletroeletrônicos, que uma vez associado em paralelo ao circuito tem a função de estabilizar a flutuação original da tensão no circuito. Na prática dizemos que a função do capacitor é a de filtrar as variações alternadas de tensão nos circuitos. Enquanto o diodo transforma corrente alternada em corrente contínua, o capacitor procura estabilizar as oscilações de corrente mantendo a mesma constante.

Uma outra aplicação da indução eletromagnética a ser experimentada é o princípio de funcionamento dos transformadores, que consistem em duas bobinas próximas e fixas. Uma, a primária, ligada em um circuito de corrente variada (usada com a mesma função do ímã anterior), que é a de induzir uma força eletromotriz na outra bobina próxima, a secundária (que se encontra eletricamente isolada da primária). Estas bobinas apresentam em comum um núcleo de ferro para facilitar a indução magnética da primária na secundária. Os transformadores, conforme deve ser verificado experimentalmente, funcionam em corrente alternada ou contínua variável. Analogamente ao ímã parado, uma corrente contínua constante na bobina primária, não induz nada na bobina secundária. O transformador, cujo princípio de funcionamento é abordado em muitos livros de textos usuais, exerce um função vital na tecnologia eletrotécnica de nossos circuitos cotidianos. Isto porque ele funciona tanto como redutor ou elevador da tensão de entrada, como também funciona como redutor da potência de entrada da energia fornecida pela rede elétrica (o que diminui em muito os riscos que sofremos com o uso dos aparelhos eletro-eletrônicos). A função do experimento a ser realizado é simplesmente mostrar a indução de energia da bobina primária para a bobina secundária.

### Procedimento experimental:

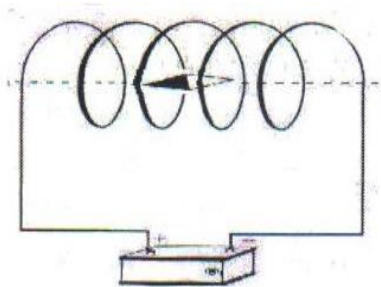
1. Aplique uma corrente num fio reto e verifique em sua volta, usando o procedimento anterior, se há campo magnético e o comportamento assumido pelo mesmo. Inverta em seguida o sentido da corrente e observe o que ocorre. Observe também a intensidade do campo próximo e afastado do fio, variando a intensidade da corrente. Relacione o observado ao previsto pela lei de Ampère para esta situação. Comente sobre a perceptível interferência do campo magnético terrestre neste experimento.



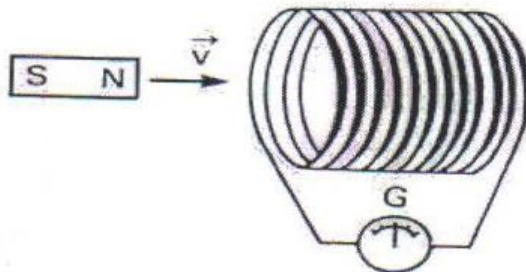
2. Observe o comportamento do campo magnético ao redor de um eletroímã com uma bobina com núcleo de ferro, inicialmente com a corrente em um sentido e depois invertendo a corrente. Compare o comportamento deste campo com o do ímã permanente retangular.

3. Verifique o comportamento do campo magnético produzido por um solenóide com corrente, em seu interior e em suas proximidades. Procure justificar teoricamente o comportamento assumido. Observe a interferência do campo magnético terrestre, a partir de uma mudança de posição do solenóide, isto é, do giro de alinhamento de seu eixo em relação a direção norte-sul magnética terrestre, de uma situação em paralelo

para uma perpendicular. Com o eixo do solenóide posicionado na direção leste-oeste magnética, verifique o ângulo de declividade da agulha da bússola, isto é a direção do campo resultante, ocasionado pela composição dos vetores campo magnético, perpendiculares entre si, aí presentes. Use por aproximação que o campo terrestre em regiões equatoriais apresenta uma intensidade de 0,5 Gauss, e a partir de uma composição vetorial, determine a intensidade do campo produzido pelo solenóide

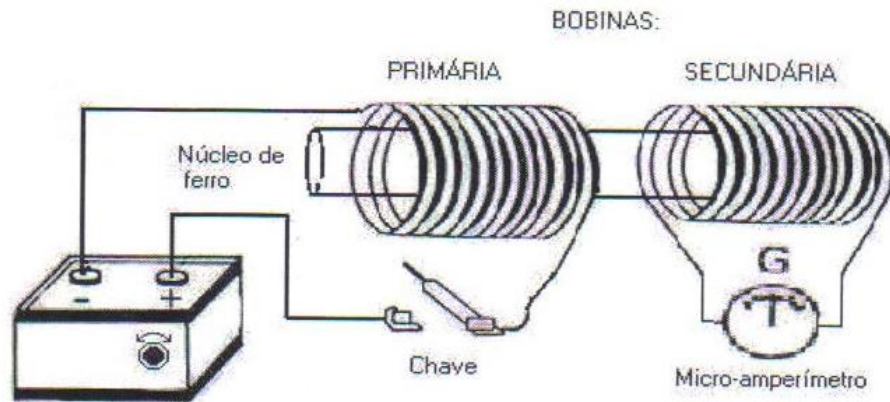


4. Ligue a bobina ao galvanômetro e observe seu comportamento, a partir do movimento do ímã nas proximidades do núcleo da bobina (veja a disposição na figura abaixo). Verifique se não melhora a eficiência da indução, conectando um prego no núcleo da bobina e acionando seu movimento através do contato com o ímã. Se existir uma mola, disponha o Ímã com o prego para oscilar na vertical, afim de induzir uma corrente alternada numa frequência mais definida, que a efetuada com as mãos. Procure associar a oscilação mecânica a oscilação da corrente e veja o que ocorre com a inversão da polaridade de aproximação do ímã. Procure sempre justificar teoricamente o verificado experimentalmente?



5. Conecte o diodo de germânio em série com o micro-amperímetro - c.c., numa disposição em consonância com a corrente permitida por este instrumento e observe nesta situação o comportamento da corrente em relação ao que ocorria anteriormente. Em seguida, no mesmo circuito, disponha um capacitor ligado em paralelo com o micro-amperímetro, e observe o que ocorre com a corrente. Procure justificar teoricamente os fenômenos observados?

6. Substitua no sistema anterior, o ímã por uma segunda bobina ligada a uma fonte de energia elétrica c.c. - 1,5V ou 3,0V, mantendo as duas bobinas juntas e com um núcleo de ferro em comum (conforme fig. abaixo). Observe se com a corrente estável na bobina primária existe alguma indução na bobina secundária (a ligada ao galvanômetro). Para obter uma variação na corrente, como a fonte usada é de tensão constante, a forma mais simples é ligar e desligar a fonte do circuito da bobina primária. Verifique daí pelo amperímetro, o que ocorre na bobina secundária. Procure justificar teoricamente, o que foi observado.



7. Tome agora o motor elétrico disponível com a função de um contra-motor (gerador), ligando-o ao multímetro na função de amperímetro. Ao contrário do funcionamento na função de motor (que usa a energia elétrica com a função de produzir energia mecânica), na função de gerador, o mesmo deve ser acionado pela rotação de seu eixo primeiramente como mecanismo de entrada, a partir de uma fonte de energia mecânica disponível. O que vai levar o ímã acoplado ao eixo a se movimentar para induzir uma variação de fluxo de campo magnético na bobina ou indução magnética na bobina que como efeito de saída vai gerar energia elétrica. A depender da rotação produzida, verifique se este gerador apresenta uma potência variável e verifique quando a mesma consegue colocar em funcionamento uma lâmpada (um LED e ou uma lâmpada pequena de filamento- 6V - 30 mA). Justifique as observações efetuadas.

Observação: na falta de um galvanômetro de zero central, use o micro-amperímetro do multímetro para observar pequenas deflexões em corrente alternada. Para isto, gire no instrumento desligado o parafuso de regular o ponteiro a fim de colocá-lo em um valor um pouco acima do zero. Após o uso volte o ponteiro para a posição normal.

### CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

**Objetivos:** observar fenomenologicamente o efeito fotovoltaico, e efetuar medidas com a finalidade de determinar a eficiência desta célula, usando a relação entre a potência de incidência de luz na célula com a potência de energia elétrica produzida.

**Material Utilizado:** lâmpada de 100 W com bocal e extensão ligada na rede (110 ou 220 V) e (ou) luz solar direta; célula solar; multímetro analógico; multímetro digital; escala métrica; conexões entre a célula e o multímetro; bateria (pilha) recarregável; LED usado em lanterna, pequena lâmpada de filamento utilizada na ornamentação natalina.

**Introdução Teórica:** A cada dia que passa aumenta nossa necessidade de consumo de energia elétrica, com a preocupação que devemos fazê-lo através de fontes geradoras que possam interferir o mínimo possível com nossa qualidade de vida no meio ambiente. Usando a energia solar, nossa fonte mais abundante de energia renovável, uma vez desenvolvida com mais eficiência (atualmente as células mais comuns de silício apresentam uma eficiência entre 10 a 15 %) e viabilizada em baixo custo tecnologicamente (o custo destas células para alimentar todo circuito residencial, mesmo excluindo os dispositivos de aquecimento, ainda é muito caro), a eletricidade solar fotovoltaica, na certa no futuro será uma das formas de geração mais utilizada. Suas vantagens em relação a outras fontes são a de não necessitar de partes móveis, a de não produzir resíduos para a atmosfera, a de não alterar o equilíbrio da biosfera, a de não trabalhar com materiais radioativos. De forma que, por todas estas razões, podemos caracterizar a célula solar como a fonte de energia de maior qualidade termodinâmica para o meio ambiente. A qualidade de transformação energética do efeito fotovoltaico, se assemelha mais ao fenômeno da fotossíntese que aos processos convencionais de produção de energia. As células solares só ficaram conhecidas a partir dos anos 60, como fonte de energia elétrica das aeronaves espaciais. Porém a influência da natureza corpuscular da luz sobre

as propriedades elétricas de determinados materiais já vinha sendo estudada desde o início do século XX, destacando-se aí a teoria para o efeito fotoelétrico, desenvolvida por Einstein. Segundo esta teoria um fóton de luz de energia:  $E = h \cdot f$  (sendo,  $h$  a constante de Planck e  $f$  a frequência da radiação luminosa), ao incidir sobre a superfície de uma placa metálica e ser absorvido por um elétron de condução, transfere energia suficiente para provocar sua liberação do material, isto é, arranca para fora da placa estes elétrons pertencentes a nível de energia de condução da rede atômica. Nos materiais semicondutores, os elétrons se encontram num nível de energia que os mantêm mais fortemente ligados aos átomos do que os elétrons de condução dos metais. Por esta razão, ao absorverem o fóton de luz visível, em vez de serem arrancados do material, ganham energia apenas para sua transferência da banda de valência para a banda de condução. Qualquer que seja o material (condutor ou semicondutor) em que se de o efeito de transferência de energia do fóton para o elétron, pela conservação da energia, vale a seguinte relação:  $h \cdot f = \frac{1}{2}(m_e \cdot v^2) + \phi$ .

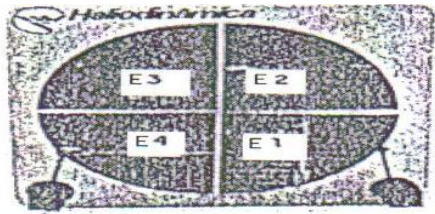
Isto é, a energia do fóton absorvido se transforma em energia cinética de migração dos elétrons somado a uma função trabalho ( $\phi$ ) de arrancar o elétron do nível de energia em que se encontrava.

Para relacionarmos este efeito à produção de eletricidade em semicondutores, vamos antes compreender a constituição interna das células fotovoltaicas. Estas são compostas de uma junção de dois materiais semicondutores dopados, um do tipo P e o outro do tipo N (formando o que já caracterizamos em experimento anterior de um diodo). Segundo já foi colocado anteriormente. Na junção P-N de um diodo existem os portadores de carga positiva (condução elétrica caracterizada como por buracos), e os de portadores de carga negativa (condução elétrica caracterizada por elétrons). Na região do contato entre a junção P-N, vai ocorrer espontaneamente, uma transferência de elétrons da região N para ocupar os buracos existentes na região P, até ser atingido um estado de saturação onde o fenômeno cessa. Vale observar que tanto o material do tipo P quanto o do tipo N inicialmente se encontravam eletricamente neutros. Por esta razão, a região do tipo N, de onde saíram elétrons, fica eletrizada positivamente e a região do tipo P, para onde os elétrons migraram, fica eletrizada negativamente (conforme mostrado na fig. abaixo).

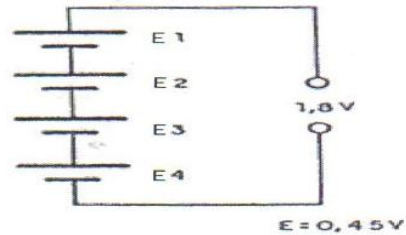
Pelo que colocamos para o componente diodo, se na própria junção P-N surge espontaneamente duas regiões de carga contrárias, para que necessitamos da luz na produção do efeito fotoelétrico? Quando fechamos o circuito por um agente externo entre estas duas regiões de carga, os elétrons migram de volta da região negativa para a região positiva procurando restabelecer a neutralidade antes existente em cada um dos tipos de semicondutores isoladamente. Para continuar mantendo d.d.p. que estabelece a corrente elétrica no circuito, é necessário o restabelecimento ou a manutenção destas regiões de cargas contrárias. A transferência espontânea de elétrons da região p para n, é lenta e não acompanha as necessidades de reposição de carga, o que inviabiliza o fenômeno como gerador de energia elétrica para o funcionamento permanente de circuitos. É neste momento que surge a necessidade natural de uma fonte de energia, isto é, a incidência de luz na junção para ser absorvida, com a função de excitar elétrons do nível de valência para o nível condução (pelo efeito fotoelétrico), estimulando e disponibilizando daí uma maior quantidade de elétrons para a migração espontânea da região n para a região p. A incidência de luz sobre a superfície da célula é necessária para manter uma eletrização permanente em cada lado da junção de maneira eficiente. Este efeito é denominado de fotovoltaico, por que a incidência dos fótons de luz, permite que a d.d.p. na junção procure se manter constante em circuito fechado (em torno de 0,45 V por elemento da célula).



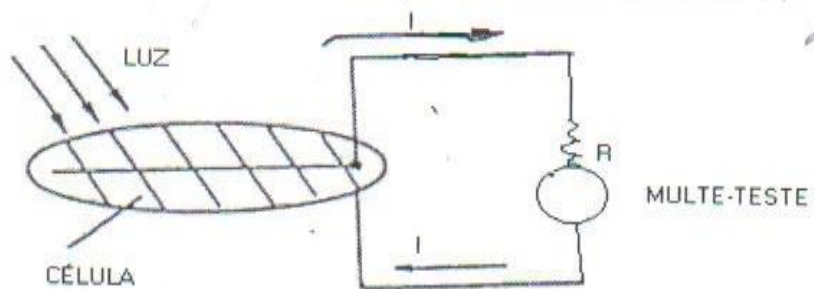
Isto vem se constituir em algo equivalente as placas de carga positiva e negativa existentes nos geradores eletroquímicos (baterias ou pilhas elétricas). Para cada elemento de junção p-n temos uma diferença de potencial entre as regiões positiva e negativa igual a 0,45 V. Um sequenciamento destes 4 elementos em série mostrados no diagrama abaixo, forma um conjunto que fornece uma d.d.p. de 1,8 V.



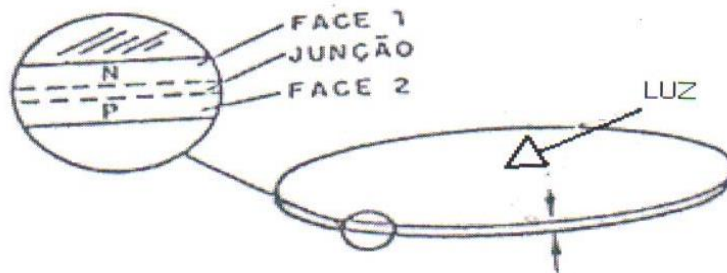
d.d.p. de saída = 1,8 V



Um empilhamento em paralelo de vários destes conjuntos continua a fornecer uma d. d.p de 1,8 V, mas com uma disponibilidade de energia potencial elétrica multiplicada pelo número de conjuntos. Na célula solar de pequeno porte utilizada neste experimento, podemos avaliar sua capacidade na alimentação de calculadoras elétricas, em relógios de pulso, na emissão de luz por um LED. Na verdade, como em todo gerador de energia elétrica, as células solares precisam apresentar uma disponibilidade de potência elétrica definida e característica. Daí na alimentação de circuitos, a célula que utilizamos podem trabalhar fornecendo uma d.d.p. de saída em torno de 4,5 V, o que vai depender da potência exigida pelo circuito que se encontra em funcionamento (a figura abaixo mostra a célula solar que utilizamos em circuito fechado e ao lado um diagrama desse circuito).



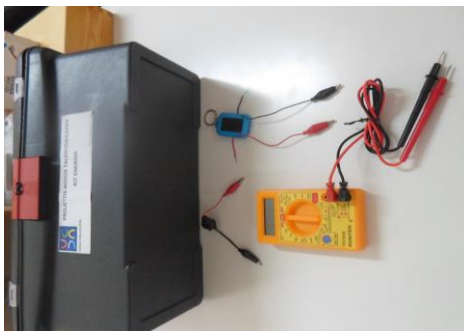
Um ponto importante a observar, que diferencia estas células dos diodos comuns, é que a produção da energia elétrica por incidência luz a junção P\_N tem que está distribuída propiciando um efeito de superfície, o que requer o formato laminar desta junção (conforme mostrado no diagrama abaixo).



Buscando uma relação analógica destas células com a pilha podemos dizer que, a função da luz na célula solar, produzindo o efeito fotovoltaico, é a mesma da reação química entre a solução ácida e as placas nas pilhas. O que significa dizer que a produção e manutenção de duas regiões de cargas permanentes, iguais e opostas, é uma característica necessária a todo gerador que fornece diretamente uma corrente contínua (uma polarização permanente). Na transformação de energia, qualquer que seja a natureza de transformação ocorrida no gerador, se necessita realizar trabalho. Para efetuar a transformação de energia de uma forma para outra forma, normalmente por princípio a eficiência é sempre menor do que unidade. A eficiência ( $\epsilon$ ) é expressa pela razão entre a potencia energética de saída pela potencia energética de entrada ( $\epsilon = P_{\text{elétrico}} / P_{\text{luminosa}}$ ). Neste experimento ao determinarmos a potencia ( $P$ ) da luz incidente na célula e a da energia elétrica gerada ( $P = V \cdot I$ ), teremos os dados necessários para mostrar que nas células solares atuais o efeito fotovoltaico apresenta uma eficiência ainda muito baixa, conforme já nos referimos anteriormente.

### Procedimento Experimental:

- 1) Coloque uma lâmpada acesa de 100 W com seu filamento frontalmente localizado a 20 cm acima da célula. Considere, por aproximação teórica, a lâmpada como uma fonte pontual, cujos 100 W de irradiação de energia se propagam uniformemente para todas as direções do espaço, numa simetria esférica de área  $= 4\pi r^2$ . Estamos assim projetando toda a potência luminosa para uma superfície esférica de raio  $r = 20$  cm, que contém a célula, ocupando uma pequena fração desta área. Calcule esta fração da área, para determinar que quantidade, da potência total 100 W incide na célula para ser absorvida e gerar o efeito fotovoltaico. Este procedimento experimental também pode ser realizado sob efeito da radiação solar direta, considerando que a potência de energia da luz solar direta em torno do horário do meio dia é de aproximadamente 1000 W por  $m^2$  da superfície da Terra (determine a área da superfície da célula solar para saber que fração da potência da energia solar é utilizada na geração de eletricidade).
- 2) Sob as condições do procedimento anterior de incidência de luz, com apenas a lâmpada iluminando a célula (ou utilizando a luz solar direta), conecte o multímetro digital a saída da célula (conforme mostrado em diagrama acima), observando as polaridades e o efeito de geração. Inicialmente use o aparelho na função de amperímetro em uma escala adequada, para efetuar a leitura da corrente (I). Posteriormente use a função de voltímetro (escala: 0- 20 V), para efetuar a leitura da tensão de saída (V). Determine a partir destas leituras, a potência de energia elétrica (P) gerada na célula ( $P = V \cdot I$ ).
- 3) Relacione a potência de saída com a de entrada, com a finalidade de determinar a eficiência desta célula. Compare este resultado experimental, com as especificações colocadas na introdução teórica.
- 4) Ligue agora o multímetro analógico, na escala adequada, para acompanhar fenomenologicamente, a variação da geração de corrente com a variação de incidência de luz na célula (a luz solar direta ou a luz emitida pela lâmpada). Procure também isolar a célula de qualquer incidência luminosa, a fim de observar se o efeito de geração de eletricidade cessa.
- 5) Utilize agora a célula solar com a função de carregar uma pilha/bateria recarregável de d.d.p. igual ou um pouco menor que a d.d.p. estabelecida na célula com a incidência de luz. Verificar inicialmente se a pilha/bateria se encontra descarregada tentando acender uma lâmpada/led. Em seguida procure utilizar a célula para recarregar a pilha/bateria por um tempo de transferência de carga elétrica que seja o suficiente para a mesma funcionar. Finalmente verifique se a pilha/bateria consegue fornecer energia elétrica na potência necessária a que a lâmpada/led consiga funcionar. Explique a razão deste procedimento ser muito utilizado no dia a dia quando se quer utilizar geradores elétricos a energia solar?



### PILHA ELÉTRICA

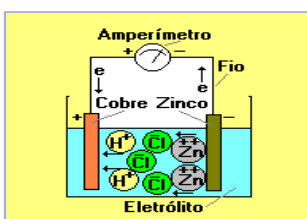
**Objetivo:** mostrar o princípio de funcionamento da pilha elétrica pela ocorrência da geração de corrente elétrica registrada por um amperímetro conectado aos eletrodos de zinco e cobre, quando imersos em solução ácida, procurando associar a geração de energia elétrica por efeito eletro-químico (uma reação química entre as placas de zinco e de cobre e uma solução ácida).



**Material Utilizado:** placa de zinco e uma placa de cobre (cada uma adaptada a uma garra de fixação); micro-amperímetro (do multíteste analógico); recipiente para conter solução ácida (becker de 150 ml).

### Introdução Teórica:

No século XIX, já eram conhecidas as primeiras pilhas (baterias elétricas), formas eficientes de geração de eletricidade para alimentar circuitos com altas correntes elétricas e baixo potencial elétrico (os geradores eletroquímicos). Na época, estes geradores eram uma necessidade emergente para o desenvolvimento da Química, no estudo de novos elementos químicos, decompostos por eletrólise e na utilização de “circuitos galvânicos”. As pilhas possibilitaram também o desenvolvimento da teoria eletromagnética com a associação dos fenômenos elétricos aos fenômenos magnéticos. As pilhas promoveram o desenvolvimento das primeiras fontes de energia elétrica com eletricidade dinâmica, atendendo à produção de elevadas correntes (como as utilizadas nos circuitos atuais). Em seu funcionamento, utilizam o processo eletroquímico (produção de eletricidade em duas placas metálicas de material diferente, a partir de reações químicas de oxi-redução em substâncias ácidas). A reação química ocorre de forma diferenciada nos eletrodos: por oxidação no cobre que se eletriza positivamente e por redução no zinco que se eletriza negativamente. A reação química mantém a eletrização nas placas de zinco e cobre nas pilhas, provocando a produção de energia potencial elétrica. A primeira bateria elétrica data de 1801 na França, sendo idealizada por Alexandre Volta. Em 1836, John Daniell aumentou a vida média das pilhas voltaicas separando com uma membrana seus elementos de cobre e zinco. Com o passar do tempo, as pilhas, como geradores de eletricidade, vem ganhando funcionalidade para acionar circuitos com diferentes finalidades práticas. É importante observar que o desenvolvimento de pilhas mais eficientes e duradouras, como as de níquel-cádmio, continua nos dias atuais, sendo as pilhas e baterias consideradas hoje em dia nossa principal fonte de energia elétrica móvel.



### Procedimento Experimental:

- 1) Monte uma pilha elétrica para geração de energia elétrica por efeito eletroquímico: uma reação química em duas placas, uma de zinco e outra de cobre, quando as mesmas estiverem imersas em uma solução ácida.
- 2) Observe a variação da potência de geração de eletricidade a partir da elevação da intensidade da corrente elétrica registrada em um amperímetro conectado aos eletrodos, em função da imersão da superfície das placas na solução ácida. Associe o fenômeno ao fato das pilhas ou baterias que funcionam a uma mesma especificação de d.d.p. ou voltagem, como por exemplo, as de 1,5 V ou 12 V, terem seu aumento de potência em função do aumento de seu volume ou da superfície dos eletrodos utilizados (disponibilidade de energia potencial elétrica em razão do tempo de funcionamento se relaciona a dimensão ou tamanho da pilha ou bateria).

### **Questionário Proposto:**

Em que difere duas baterias de automóvel de 12 V sendo que, uma de 45 A.h e a outra de 60 A.h? Que relação estas características com o procedimento experimental efetuado?

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS:**

Beatriz A., Maximo A.- Física- vol. UNICO - ed. Scipione

Anjos I. e Arruda M. - Física na Escola Atual - vols. 1,2,3 - Atual Ed.

Tipler P. - Física - vols. 1,2,3 – 4ª ed. ed. LTC.

Ciência Hoje - Revista. de Div. Cient. da SBPC - vol.5 n° 25 e n° 29, e vol. 9 n° 54.

GRAF - Física- vols. 1,2,3 \_ 3ª ed.-. EDUSP

Gaspar A. - Física - vols. 1,2,3 \_ 1ª ed. - ed. Ática

Saber Eletrônica: As Células Solares: Braga N.; n° 181, 1987.

Perelman Y. - Física Recreativa - vols. 1 e 2 \_ 5ª ed. em espanhol - ed. MIR, Moscou.

Ornellas, A. –A energia dos Tempos Antigos aos Dias Atuais- 1ª Ed.-EdUfal

