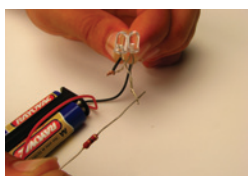
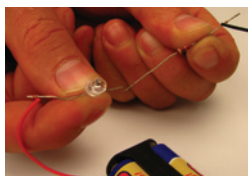


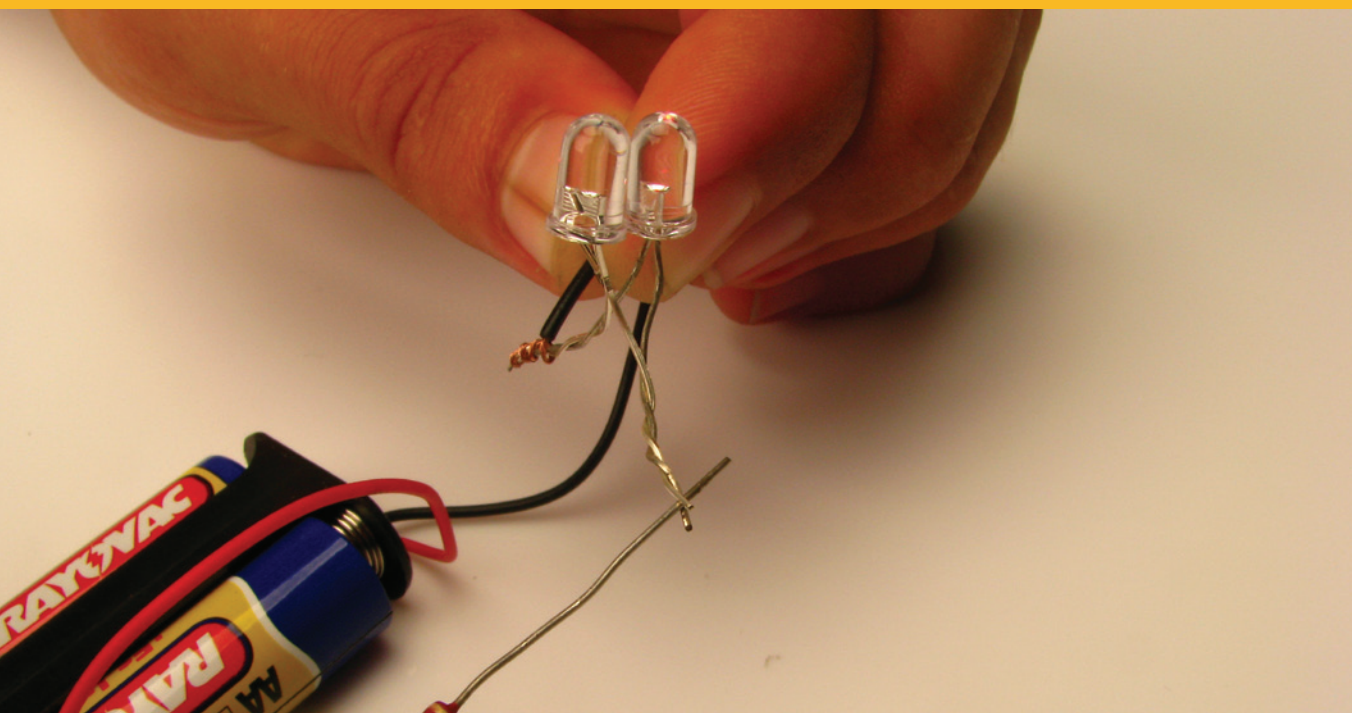
**QUÂNTICA PARA
INICIANTEs:
INVESTIGAÇÕES
E PROJETOS**

**EXPERIMENTOS
E INVESTIGAÇÕES**



1

CORRENTE ALTERNADA E DIRETA (AC/DC)



A corrente elétrica conduzida através dos fios de aparelhos conectados à tomada de energia elétrica de nossas casas é alternada – ou seja, cada um dos orifícios da tomada ora é eletricamente positivo, ora é eletricamente negativo, em relação ao outro. A maioria dos dispositivos eletroeletrônicos que utilizamos precisa, porém, de corrente elétrica direta. Isso quer dizer que a corrente elétrica nesses aparelhos deve circular em apenas um dos dois sentidos possíveis em cada circuito. Sendo assim, como a corrente elétrica alternada (AC), fornecida pela tomada, é convertida em corrente direta (DC)?

PALAVRAS-CHAVE

Corrente alternada. Corrente direta. Aplicação dos diodos. Retificação da corrente.

VOCÊ VAI PRECISAR DE

- > 01 LED vermelho
- > 01 resistor de 10 Ω e $\frac{1}{4}$ W
- > 01 resistor de 10 K Ω e 3W
- > 01 diodo de silício 1N4007, ou qualquer outro com numeração de 1N4001 a 1N4007
- > 30 cm de tubo de PVC de 20 mm de diâmetro para cola
- > 01 plugue macho para tomada
- > 01 LED laranja
- > 01 resistor de 56 Ω e $\frac{1}{4}$ W
- > 01 suporte com duas pilhas de 1,5 V cada uma
- > 01 lâmpada de lanterna para 3 Volts
- > 2,5 m de fio duplo fino

PASSO 01

Informações necessárias à ligação entre LEDs e fontes de tensão elétrica

Em aparelhos eletrônicos, são muito usados dois tipos de diodos: o diodo de silício comum e o diodo emissor de luz, ou LED (*Light Emission Diode*). A aparência externa desses diodos é diferente, porém ambos têm características em comum que permitem identificá-los como diodos.

Utilizando uma lâmpada de lanterna, um suporte com duas pilhas de 1,5 V cada uma, um resistor de 56 Ω e outro de 10 Ω, é possível, facilmente, reconhecer uma característica comum a esses dois dispositivos. Entretanto, antes, de propor uma montagem de circuito, serão fornecidas algumas orientações sobre a ligação de LEDs a fontes de tensão.

Para funcionar, um LED precisa de uma tensão e de uma corrente elétrica adequadas. Sugere-se que a corrente elétrica em um LED fique em torno de 20 mA – ou seja, 20 milésimos de Ampère. A tensão aplicada, no entanto, varia segundo a cor do dispositivo. Por exemplo, os LEDs de cor vermelha e laranja funcionam de modo adequado se alimentados com tensão de 1,8 V a 2,2 V; os LEDs verdes e amarelos funcionam bem com tensão de 2 V a 2,5 V. Já os LEDs azuis e brancos podem ser ligados em fontes de tensão que variem de 3 V a 4,5 V¹.

Se esses valores forem excedidos, pode ocorrer a queima do LED. Por isso, antes de conectar um LED a uma fonte de tensão maior que aquela estabelecida para ele, será preciso conectá-lo a um resistor. O valor desse resistor vai variar de acordo com a tensão da fonte usada em cada caso. Por isso, observe atentamente, na TAB. 1, valores apropriados de resistência para a ligação de LEDs em diversos tipos de fontes.

Dispositivos necessários para fazer LEDs coloridos brilharem

Tipo de fonte	Resistor para LEDs de cor vermelha, laranja, amarela e verde	Resistor para LEDs de cor azul e branca
Duas pilhas em série (= 3 V)	56 Ω	Não precisa
Quatro pilhas em série (= 6 V)	220 Ω	150 Ω
Bateria de 9,0 V	330 Ω	270 Ω
BATERIA DE 12 V	470 Ω	330 Ω
Tomada residencial de 127 V*	10 KΩ	10 KΩ
Tomada residencial de 220 V*	22 KΩ	22 KΩ

1. Podem ocorrer variações desses valores, pois não há uma padronização rigorosa para a produção de LEDs e é grande o número de fabricantes deles.

* Quando for ligar LEDs em tomadas de 127 V ou de 220 V, sempre use resistores com potência de 3 W a 5 W. Desse modo, você vai evitar o superaquecimento e a destruição do resistor.

Atenção: LEDs brancos e azuis não funcionam ligados diretamente à tensão alternada da rede elétrica. Nesse caso, é preciso ligar um diodo de silício, do tipo 1N4001 ou 1N4007, em série com o LED.

PASSO 02

Diferenciando os terminais de um diodo

Para descobrir o que há de comum entre os LEDs e os outros tipos de diodo, realize estas ações:

2. *Terminal:* cada um dos fios que sai de um LED, de um diodo comum, ou de outro componente de circuito.

a) Ligue um dos terminais² de um LED vermelho a um dos terminais de um suporte com duas pilhas e o outro terminal do mesmo LED a um dos terminais de um resistor de 56 Ω. Em seguida, ligue o terminal livre do resistor ao mesmo suporte de duas pilhas, de modo que todos os elementos fiquem ligados em série, como mostrado no circuito esquemático apresentado na FIG. 1.

O LED brilhou depois de completada a montagem do circuito?

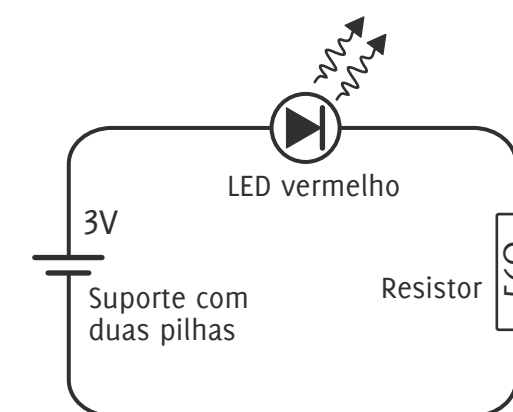
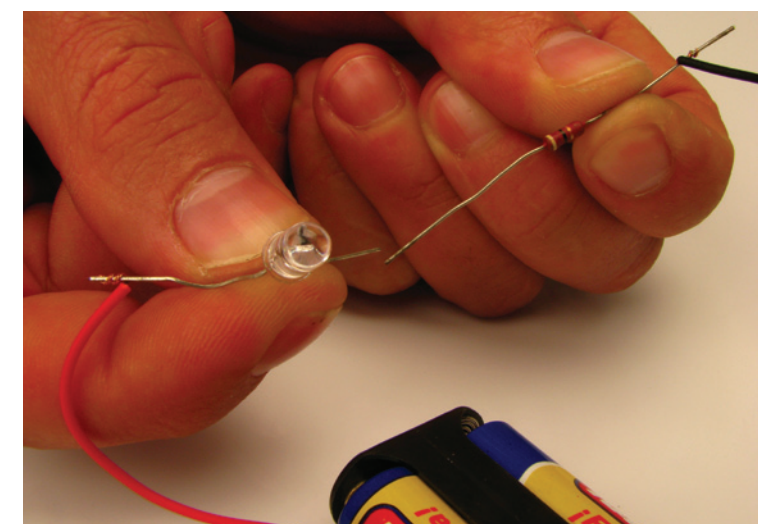


FIG.01



b) Inverta a posição dos terminais do LED e observe novamente o circuito.

Com base no que pôde observar até este ponto, você diria que os dois terminais do LED são diferentes um do outro?

c) Ligue o diodo de silício comum em série à lâmpada de lanterna e ao suporte de pilhas, como mostrado na FIG. 3, sem considerar que terminal do diodo está mais próximo ao polo positivo do suporte de pilhas.

A lâmpada brilhou depois de completada a montagem do circuito?

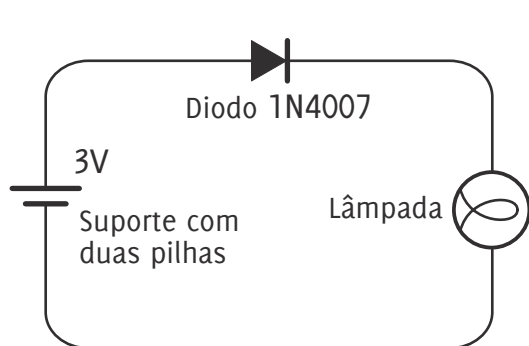
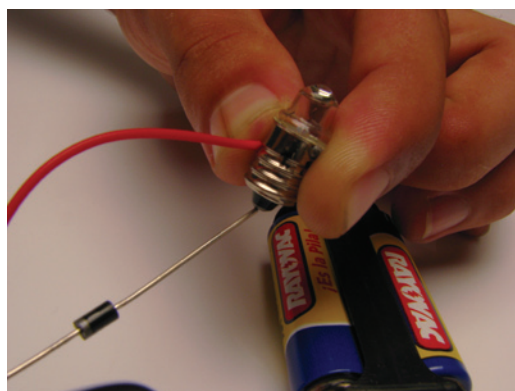


FIG.03



d) Inverta a posição dos terminais do diodo de silício comum e observe a lâmpada novamente. Você diria que os dois terminais desse diodo são iguais?

PASSO 03

Comparando os terminais de diodos e resistores comuns

Os resistores são dispositivos muito usados para controlar a intensidade da corrente elétrica em trechos específicos de circuitos elétricos. Assim como os diodos, os resistores também possuem dois terminais.

Na exploração anterior, você pôde perceber que os terminais de um diodo são diferentes um do outro, pois a ligação de cada um desses terminais ao terminal positivo da fonte de tensão produziu resultados diferentes – ou seja, enquanto, em uma das ligações feitas, houve circulação de corrente, na outra, isso não ocorreu. Essa diferença explica-se porque os terminais de um diodo possuem polaridade – um é eletricamente positivo e o outro é eletricamente negativo.

Para haver passagem de corrente por um circuito elétrico que utiliza um diodo, é preciso que o terminal do diodo com polaridade positiva esteja ligado ao lado do circuito, em que se encontra o polo positivo da fonte de tensão – ou seja, na exploração proposta no Passo 2, um suporte com duas pilhas. Do mesmo modo, o terminal negativo do diodo precisa estar voltado para o polo negativo da fonte.

Isso dito, propomos nova questão: Os terminais de um resistor também exibem polaridade como os terminais dos diodos?

Para responder a essa pergunta, monte um circuito com um resistor de $10\ \Omega$ ligado em série³ ao suporte de pilhas e a uma lâmpada de lanterna. Esse circuito é muito semelhante ao mostrado na FIG. 3, com uma diferença: o diodo é substituído pelo resistor de $10\ \Omega$.

Em seguida, experimente inverter a posição do resistor, alternando o terminal que está em contato com o polo positivo da fonte de tensão. Compare o resultado obtido agora com o que ocorreu antes, quando você ligou um diodo em série à lâmpada de lanterna e à fonte de tensão.

PASSO 04

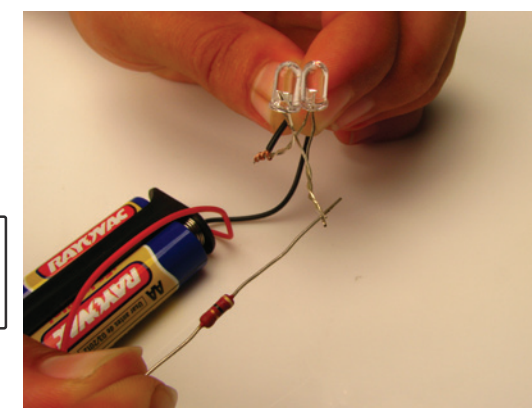
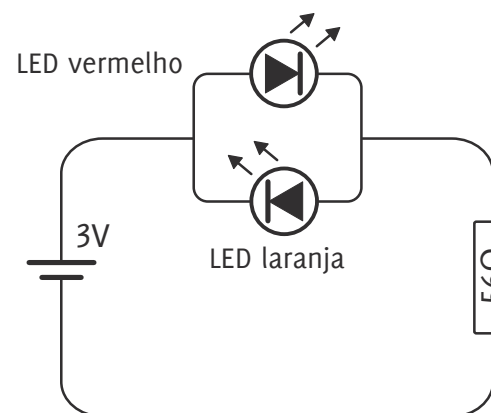
Usando LEDs para identificar o sentido de circulação da corrente

Observe que os dois terminais de um LED têm comprimentos diferentes. Una os terminais de comprimentos diferentes de um LED vermelho e de um LED laranja, de modo que formem uma ligação de LEDs em paralelo, como mostrado na FIG. 5.

Quando ligada em série ao suporte com duas pilhas e ao resistor de $56\ \Omega$, essa associação entre LEDs deve permitir que apenas um dos dois se acenda, enquanto o outro permanece apagado. Para verificar

3. *Ligação em série:* Diz-se que dois ou mais elementos de um circuito estão ligados em série quando há somente um caminho possível para a circulação da corrente elétrica.

FIG.05



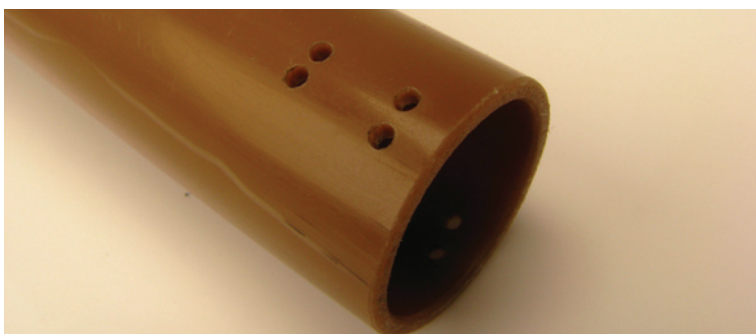
se você fez a ligação de modo adequado, alterne o terminal da mesma que está em contato com o terminal positivo da fonte de tensão.

PASSO 05

Produzindo um bastão luminoso com LEDs

Modificando um pouco o circuito montado no passo anterior, você pode produzir um interessante bastão luminoso que lhe permitirá: (i) verificar se a corrente elétrica fornecida pela tomada de energia elétrica é alternada ou contínua; e (ii) determinar qual é a polaridade de uma fonte de tensão qualquer.

Para a construção desse bastão luminoso, execute os procedimentos descritos a seguir, observando a sequência de fotografias inseridas entre eles.



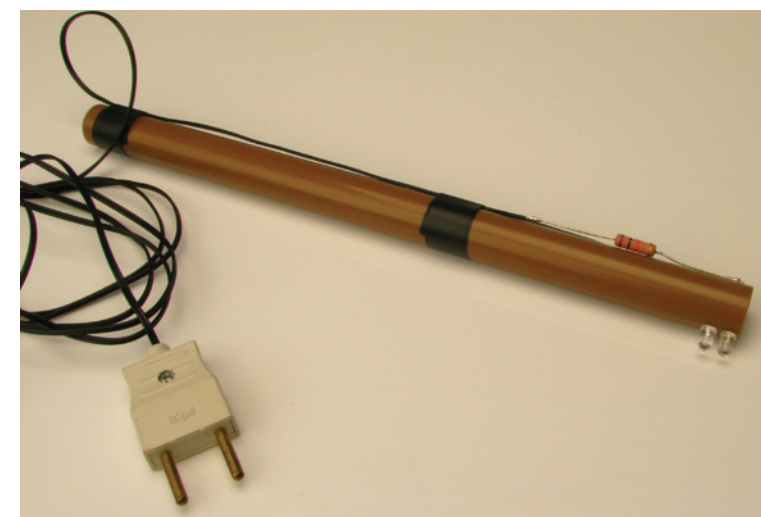
Inicialmente, faça quatro furos na extremidade de um tubo de PVC com 30 cm de comprimento. Esses furos devem atravessar completamente o tubo, para se poder conectar a “cabeça” dos LEDs – o vermelho e o laranja –, colocadas em um dos lados do tubo, com a extremidade dos terminais dos mesmos LEDs, do outro lado do mesmo tubo.



Assim como se verificou na associação entre LEDs feita no Passo 4, o terminal mais comprido do LED vermelho deve ser conectado ao terminal mais curto do LED laranja e vice-versa. Uma dessas ligações entre terminais deve ser soldada ao resistor de $10\text{ K}\Omega$ e 3 W. A outra ligação deve ser soldada a um fio comprido, como mostrado nestas fotografias.



Solde um dos fios de um fio duplo no terminal livre do resistor. O outro fio deve ser ligado à associação entre os terminais dos LEDs que permaneceu livre. Para evitar o risco de choque elétrico, enrole as partes expostas dos fios com fita isolante. A fim de conferir maior resistência mecânica ao bastão luminoso, use fita isolante também para prender o fio duplo ao tubo de PVC.



Na outra extremidade do fio duplo, conecte um plugue macho.

Quando terminar de construir o bastão, ligue o plugue na tomada de energia elétrica e observe como os dois LEDs parecem permanecer acesos simultaneamente.

Como isso é possível, se as correntes elétricas que fazem os LEDs brilharem têm sentido oposto? Será que os dois LEDs brilham realmente ao mesmo tempo? Ou será que apenas piscam rapidamente e nós não conseguimos perceber o pisca-pisca de cada um deles?

Para responder a esta última questão, procure um ambiente escurecido e, nele, agite o cano de PVC para um lado e para o outro, rapidamente, observando a luz emitida pelos LEDs. Essa movimentação do cano desloca os LEDs no espaço, o que permite determinar se cada um deles brilha continuamente ou se ambos apenas piscam rapidamente quando o circuito está ligado à tomada de energia elétrica.

O QUE ACONTECE?

Os resistores são, basicamente, condutores de eletricidade, cuja resistência elétrica é definida no momento da fabricação. Em circuitos elétricos, as resistências mais baixas permitem a circulação de correntes mais intensas e as mais altas restringem a intensidade das correntes.

Constituídos por materiais condutores, os resistores possibilitam o estabelecimento de corrente elétrica em qualquer um dos sentidos de circulação possíveis em um circuito elétrico. No caso dos diodos, contudo, há um sentido privilegiado para a condução de corrente elétrica.

Os diodos são constituídos por materiais semicondutores. Na segunda parte deste livro, apresentam-se mais informações sobre as características e o funcionamento desses dispositivos. Por enquanto, basta dizer que, por serem compostos de dois materiais semicondutores diferentes, os diodos oferecem, por um lado, uma alta resistência à circulação de corrente em um sentido específico e, por outro, uma baixa resistência para a corrente circular no sentido oposto. Essa característica leva-os a contribuir para a ocorrência de um processo importante denominado retificação de corrente elétrica alternada. Por esse processo, a corrente elétrica alternada fornecida por companhias de distribuição de energia elétrica transforma-se na corrente elétrica direta que faz funcionarem os aparelhos eletroeletrônicos domésticos.

Quando agitamos o bastão luminoso construído no Passo 5 desta

exploração, alteramos a posição ocupada pelos dois LEDs enquanto se acendem, se apagam e voltam a se acender. Isso acontece 60 vezes por segundo – que é a frequência da rede elétrica – e, por isso, ao mantermos o bastão parado, em um mesmo lugar, temos a impressão de que os LEDs brilham constantemente.

Todavia, como se sabe, quando o LED vermelho está aceso, o LED laranja está apagado e vice-versa. Essa é a razão de a movimentação do bastão dar origem a traços vermelhos e alaranjados intermitentes. Com o bastão parado, não é possível observar o pisca-pisca dos LEDs devido a uma limitação da fisiologia dos olhos humanos conhecida como persistência da imagem na retina. Trata-se do mesmo fenômeno que, ao assistirmos a um programa na televisão, nos impede de perceber que estamos vendo uma sequência de imagens estáticas e muito similares, que se sucedem a uma taxa de, aproximadamente, 30 quadros por segundo.



2

TEMPERATURA E CONDUÇÃO DE ELETRICIDADE

A medida e o monitoramento da temperatura são processos básicos a quase todas as atividades industriais e igualmente importantes para manter o conforto e a saúde de animais e plantas confinados em ambientes artificiais. Que conhecimentos nos permitem, hoje, medir e monitorar, automaticamente, a temperatura? Descubra nesta atividade.

PALAVRAS-CHAVE

Resistência elétrica. Variação da resistência em função da temperatura. Diferenças entre condutores metálicos e semicondutores.

VOCÊ VAI PRECISAR DE

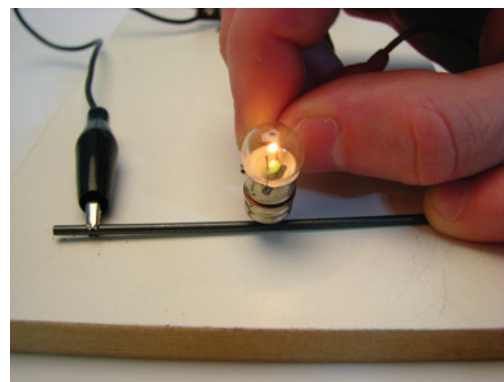
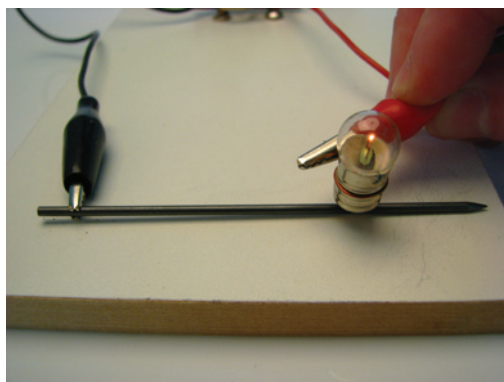
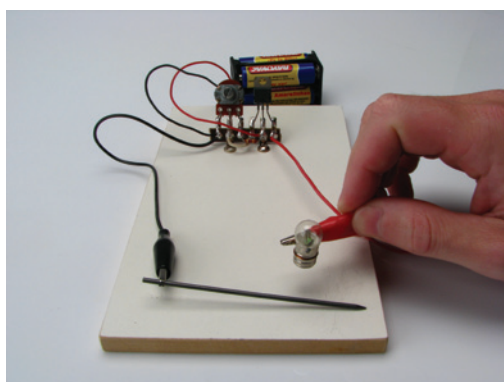
- > 01 multímetro
- > 01 lâmpada halógena, ou lâmpada palito, de 100 W inserida em suporte com fios
- > 01 pedaço de grafite tipo HB, com 2 mm de espessura
- > 01 lâmpada de lanterna para 6 Volts
- > 04 pilhas de 1,5 V
- > 01 suporte com duas pilhas de 1,5 V cada uma
- > 01 suporte com quatro pilhas de 1,5 V cada uma
- > 01 LED vermelho
- > 01 um resistor de 56 Ω
- > 01 diodo de silício 1N4007, ou qualquer outro com numeração de 1N4001 a 1N4007
- > 01 termistor NTC de qualquer valor
- > 01 vela de parafina



PASSO 01

Construindo um circuito com resistência variável

Antes de aprender como medir a resistência elétrica de um elemento de circuito, você deve montar um circuito que contenha um elemento de resistência variável. Um modo bem simples de fazer isso consiste em ligar em série uma lâmpada de lanterna para 3,0 V, quatro pilhas de 1,5 V cada uma, dispostas em um suporte para gerar a tensão de 6 V e um pedaço de grafite, tipo HB, com 2 mm de espessura.



Montado o circuito, deslize um dos terminais da lâmpada de lanterna sobre o grafite e observe se esse procedimento altera o brilho do dispositivo. Cuidado para não aproximar demais a lâmpada do outro terminal, pois assim ela irá queimar.

O circuito que você montou tem, realmente, um elemento de resistência variável?

PASSO 02

Configurando um multímetro para medir resistência elétrica

A resistência elétrica é uma das características de objetos que pode ser afetada pela temperatura. Essa característica determina a dificuldade que um material oferece à passagem de corrente elétrica. Como se sabe mais resistência implica menor intensidade da corrente e vice-versa.

A grande maioria dos sensores de temperatura baseia-se em medidas da resistência elétrica, que, nesse caso, são convertidas em medidas de temperatura.

A vantagem dos sensores de temperatura que funcionam desse modo deve-se ao fato de que tais dispositivos podem ser usados em procedimentos automáticos de medida e controle de temperatura, o que não ocorre quando se utilizam termômetros convencionais, que dependem da presença de um operador para ler a informação da temperatura e para decidir como usá-la.

A compreensão do modo como a resistência elétrica pode ser usada como critério para medir e controlar a temperatura por meio de sensores depende da resposta a esta questão: Como a temperatura e a resistência elétrica se relacionam?

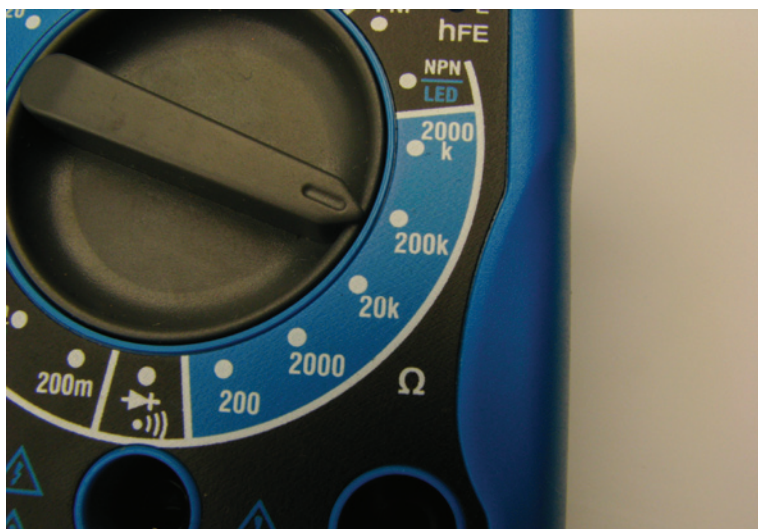
Para começar a responder a essa questão, o primeiro passo consiste em aprender a fazer medidas de resistência elétrica. Isso é possível mediante o uso de um aparelho conhecido como multímetro, palavra que significa “múltiplas medidas”.

Para medir resistências com um multímetro, é preciso, inicialmente, configurar esse aparelho de forma adequada, o que implica inserir os dois cabos do aparelho nas posições corretas e girar a chave, que o integra, até ela alcançar a região de valores de resistência desejada, que é medida em ohms (Ω).

É importante saber, porém, que a resistência elétrica de qualquer elemento conectado a um circuito não pode ser medida com o multímetro. Assim sendo, para se fazer corretamente tal medida, deve-se, primeiro, retirar o elemento do circuito e, só então, medir a resistência elétrica desse elemento.

Além disso, como a chave do multímetro pode ser colocada em diversas posições no âmbito da região reservada às medidas de resistência elétrica, é necessário entender, antes, por que há tantas posições e, também, como escolher a mais adequada.





Cada posição dessa chave identifica um valor máximo de resistência que pode ser medido com a chave nessa posição. Esse valor é conhecido como **fundo de escala**. Quando a resistência a ser medida é maior que o fundo de escala escolhido em um dado momento, o aparelho não realiza a medida. Nesse caso, é preciso ir mudando a posição da chave até encontrar um fundo de escala compatível com a resistência a ser medida.

Para testar seus conhecimentos sobre como usar um multímetro para medir resistência elétrica, pegue o pedaço de grafite usado no Passo 1 desta atividade e desloque os cabos do multímetro sobre ela.

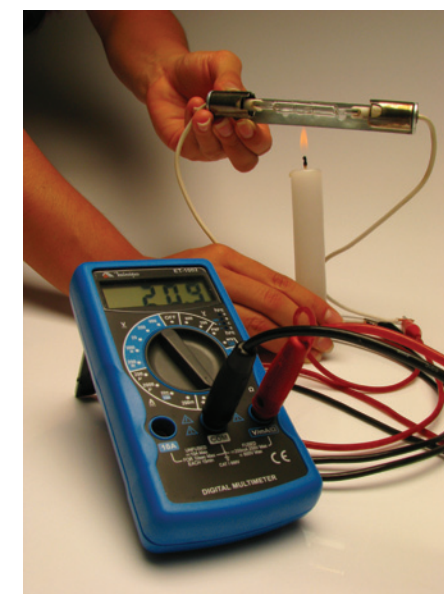
As medidas que você obteve são coerentes com a variação do brilho da lâmpada observada no Passo 1 desta atividade?

PASSO 03

Temperatura e resistência em um filamento de tungstênio

Configure o multímetro para medir a resistência elétrica de um filamento de tungstênio contido em uma lâmpada halógena, ou palito.

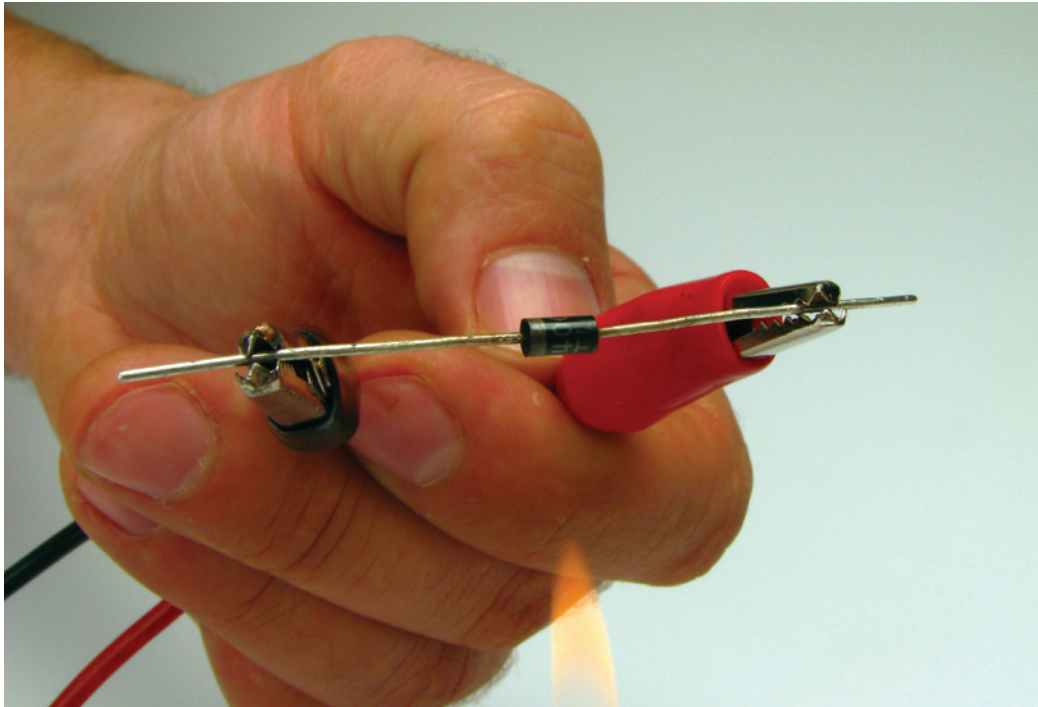
Em seguida, aqueça o mesmo filamento de tungstênio, colocando-o sobre a chama de uma vela. Observe a variação da resistência elétrica do filamento sob aquecimento e faça anotações para futuras comparações.



PASSO 04

Temperatura e resistência elétrica em um diodo

Ligue o diodo aos terminais do multímetro. O terminal cinza do diodo deve ser ligado ao terminal COM. A seguir, aqueça o diodo, colocando-o sobre a chama de uma vela. Observe que, sob aquecimento, a resistência elétrica do diodo, mostrada na tela do multímetro, sofre uma variação acentuada. Faça anotações e, em seguida, compare o comportamento do diodo ao do filamento de tungstênio investigado no Passo 3 desta atividade.



Se estiver curioso em relação a medidas de resistência elétrica em um diodo, leia também as informações a seguir.

Para medir a resistência elétrica de um elemento, o multímetro aplica a ele uma tensão elétrica. Como o diodo possui polaridade, se o terminal COM do multímetro – ou seja, a ponta de prova preta desse dispositivo – for ligado ao lado do diodo que não contém uma faixa cinza, o multímetro vai indicar uma resistência muito alta, normalmente superior à do maior fundo de escala permitido em leituras de resistência. Se isso ocorrer, inverta a ligação dos terminais e observe o que ocorre.

O fato de que o modo de ligar o diodo ao multímetro determina se a resistência do dispositivo apresenta valores superiores à capacidade de leitura do aparelho é mais uma indicação de que o diodo só conduz a corrente elétrica em um sentido e de que, por outro lado, oferece alta resistividade para o sentido inverso.

Se ligar o terminal do diodo que contém a faixa cinza ao terminal COM do multímetro, você vai fazer, adequadamente, leituras de resistência. Ainda assim, observe que, ao girar a chave e, assim, alterar o fundo de escala da medida de resistência do multímetro, a leitura indicada no aparelho também muda. Isso se explica porque, para cada faixa de leitura, o multímetro aplica uma tensão diferente ao dispositivo.

PASSO 05

O termistor NTC como sensor de temperatura

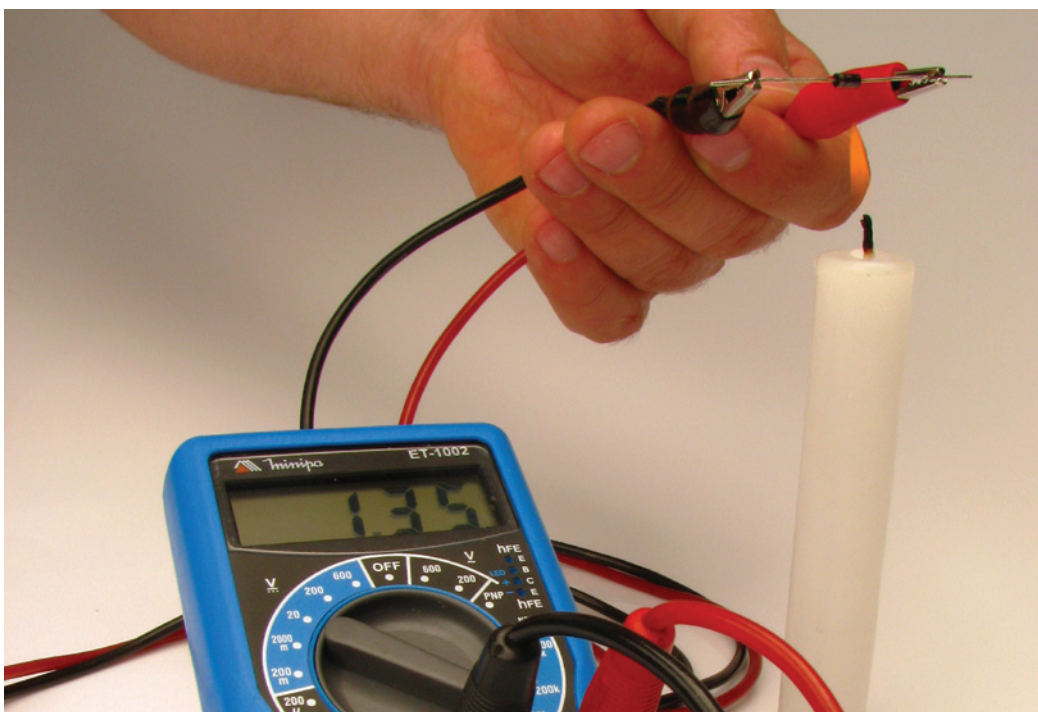
Muito utilizado em sistemas automatizados de controle de temperatura, o termistor NTC é um dispositivo semicondutor constituído de dois terminais. Note que a “cabeça” de um termistor apresenta forma de disco.

Para possibilitarem maior gama de aplicações, há NTCs que apresentam diferentes valores de resistência elétrica para uma mesma temperatura. Qual é, porém, o comportamento da resistência elétrica de um NTC submetido a variações de temperatura?

Para obter uma resposta a essa pergunta, realize estas ações:

a) Configure o multímetro para medir a resistência elétrica do NTC, escolhendo uma posição adequada da chave. Para obter a leitura da resistência elétrica do termistor à temperatura ambiente, não segure o NTC com as mãos.

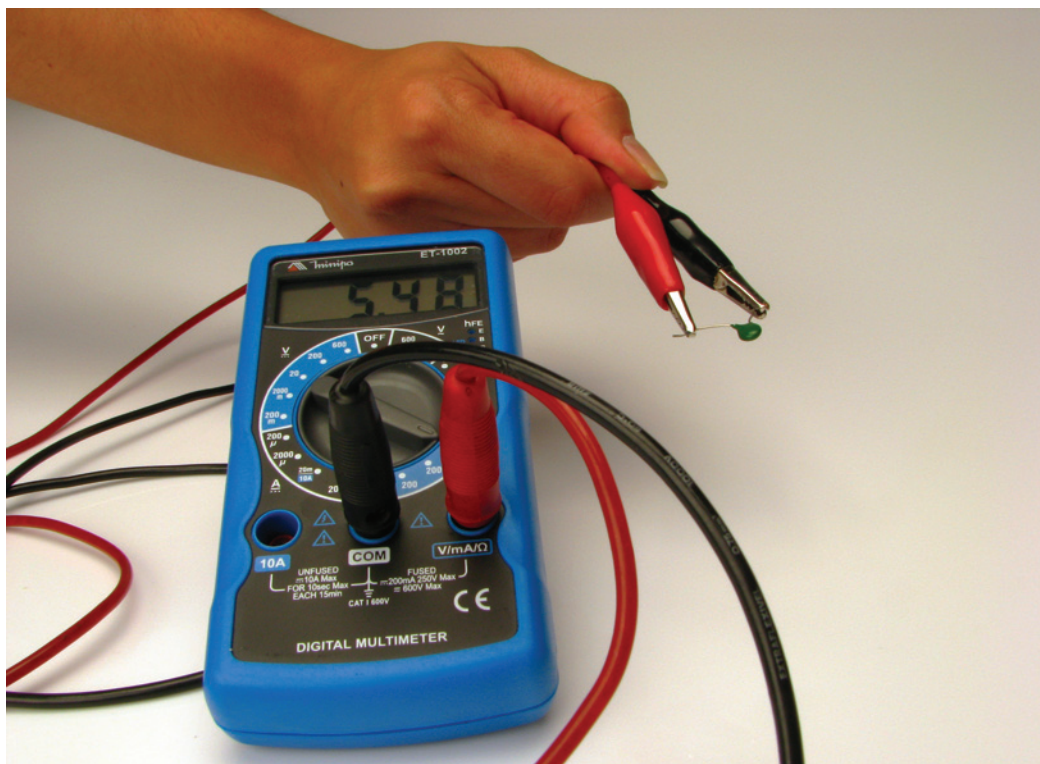
b) Coloque seus dedos sobre o termistor e observe o que ocorre com a leitura fornecida pelo multímetro. Depois, ponha o NTC em um



copo com água quente e, em seguida, em um copo com água e cubos de gelo, sempre observando as variações da resistência elétrica indicadas pelo multímetro.

c) Inverta a ligação dos terminais do NTC ao multímetro e observe se ocorrem mudanças nas leituras, como acontece no caso do diodo.

Com base em suas observações, você pode afirmar que o NTC possui polaridade como os diodos?

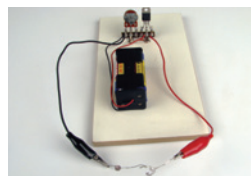


O QUE ACONTECE?

Um dos métodos mais utilizados para a medição de temperatura envolve a relação entre a temperatura e a resistência elétrica de um metal. Termômetros e sensores de temperatura que utilizam essa relação são comumente chamados de bulbos de resistência. Alguns deles, feitos de platina, são usados para a medição de temperaturas na faixa de $-259,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$, segundo definição do Padrão Internacional (ITS-90).

Os sensores usados no monitoramento automático de temperaturas são construídos, geralmente, com materiais semicondutores. Assim sendo, há sensores em que a resistência elétrica aumenta com a elevação da temperatura e outros em que a resistência elétrica diminui com tal elevação.

Uma compreensão mais sofisticada da relação entre a variação da temperatura e a resistência elétrica de um material envolve modelos da estrutura da matéria construídos por uma ciência denominada **Física do Estado Sólido**. Na segunda parte deste livro, apresenta-se uma noção introdutória de alguns desses modelos. Por enquanto, basta saber que a mobilidade das cargas elétricas capazes de permitir a circulação de corrente elétrica em um elemento de circuito depende da temperatura desse elemento. Em alguns casos – como no dos metais –, o aquecimento implica redução dessa mobilidade, com conseqüente aumento da resistência elétrica do material; em outros – por exemplo, no do diodo e no do termistor NTC –, o aquecimento aumenta a mobilidade das cargas elétricas, o que, por sua vez, diminui a resistência elétrica do material.



3

LUZ E CONDUÇÃO DE ELETRICIDADE

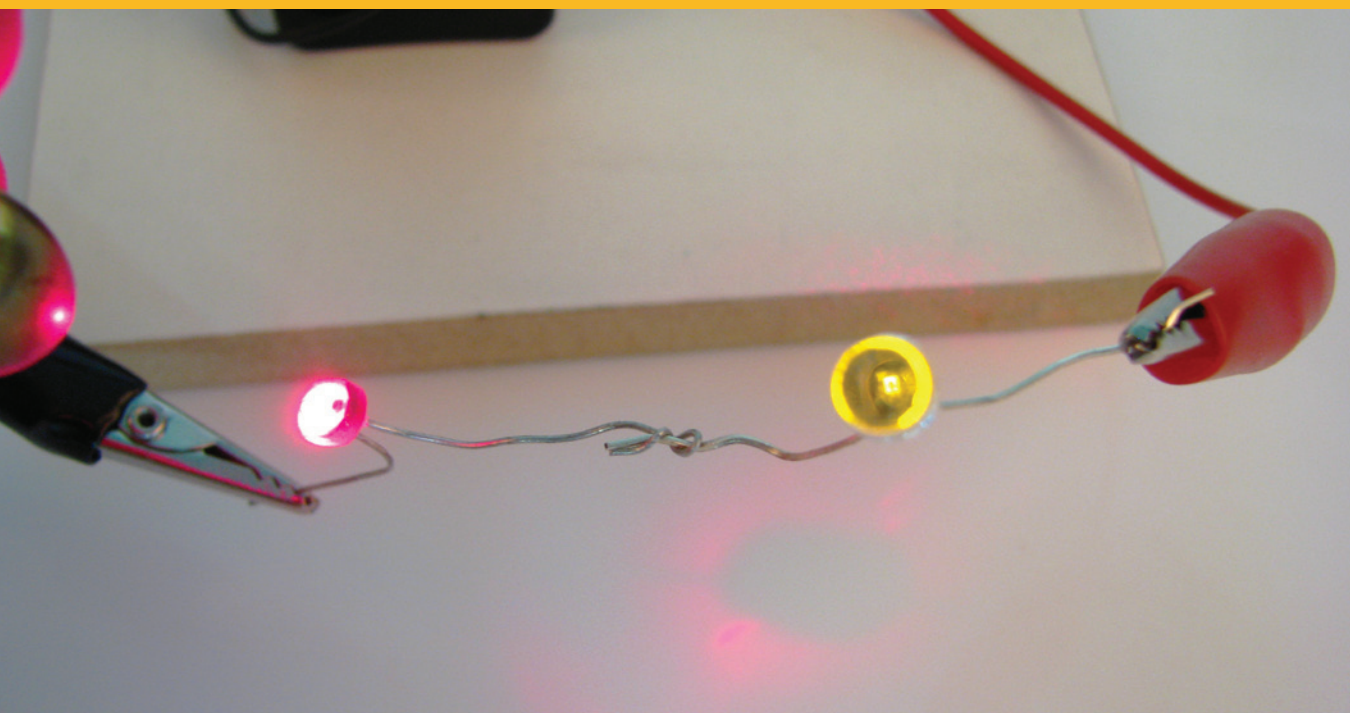
A medida da intensidade de luz é essencial em diversas situações – entre outras, na utilização de sensores de intensidade luminosa por fotógrafos profissionais, que buscam a iluminação adequada para obter fotografias de boa qualidade, e no acionamento automático da iluminação pública, quando ocorre redução da luz natural. Que conhecimentos permitem tanto a medida da intensidade da luz, quanto o controle de processos a partir dessas medidas? Comece a responder a essa questão nesta atividade.

PALAVRAS-CHAVE

Resistência elétrica. Sensores de intensidade luminosa. Fotocondutividade.

VOCÊ VAI PRECISAR DE

- > 01 canetinha de laser
- > 01 fonte de tensão variável (Você pode construir uma fonte barata e segura, agora mesmo, realizando o primeiro projeto da Parte III deste livro)
- > 02 cabos de ligação com garras jacarés nas extremidades
- > 01 LED vermelho
- > 01 LDR – ou seja, um tipo específico de resistor
- > 01 lâmpada halógena, ou lâmpada palito, de 100 W, em um suporte com fios
- > 01 multímetro



MÃOS À OBRA

PASSO 01

Cuidados necessários para utilização de fontes de tensão variável

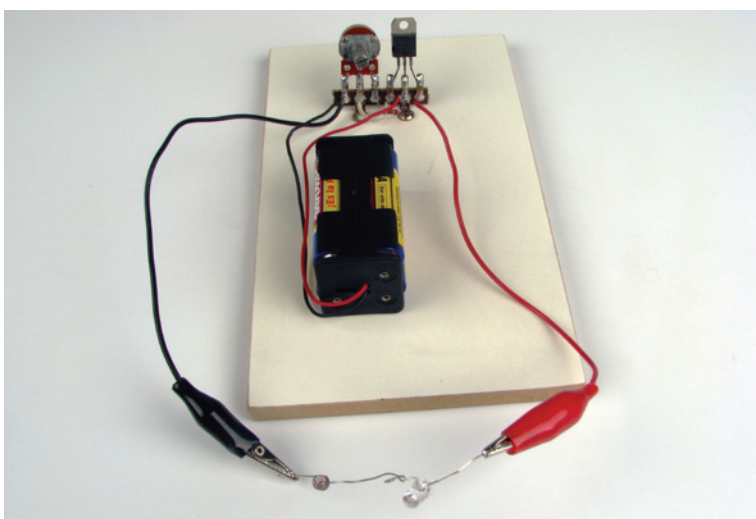
Sempre que for usar uma fonte de tensão variável na montagem de um circuito, tome os seguintes cuidados:

- Antes de ligar o circuito, verifique se o potenciômetro da fonte de tensão se encontra na posição “mínimo”.
- Entre uma utilização e outra, sempre retorne o potenciômetro para a posição “mínimo”.
- Para não queimar os componentes ligados à fonte, varie a tensão dela com muito cuidado.
- Sempre configure o multímetro corretamente, antes de ligá-lo a um circuito elétrico.

PASSO 02

Montando um circuito com um LDR

O LDR é um dispositivo muito útil, pois sua resistência elétrica varia com a intensidade da luz que incide sobre ele. Seu nome originou-se das letras iniciais das palavras que formam a expressão, em inglês, *Light Dependent Resistor* (Resistor Dependente de Luz). Esse dispositi-



tivo é constituído de uma face plana, sobre a qual se pode observar uma espécie de “caminho em zigue-zague”.

Para começar a explorar um LDR, monte um circuito usando um LED vermelho, um LDR e uma fonte de tensão variável (cujo controle esteja, inicialmente, no “mínimo”), todos ligados em série, como mostrado nas FIG. 1 e 2.

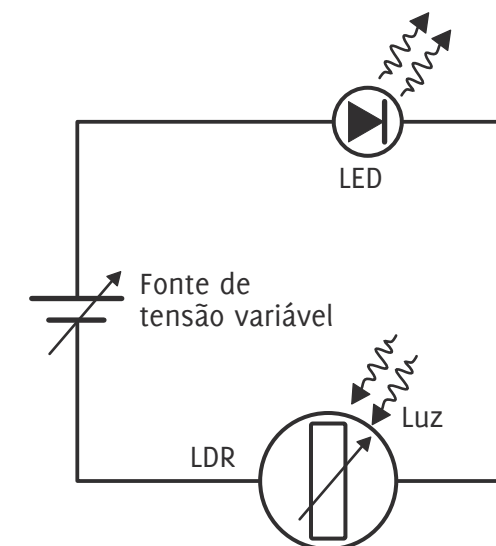
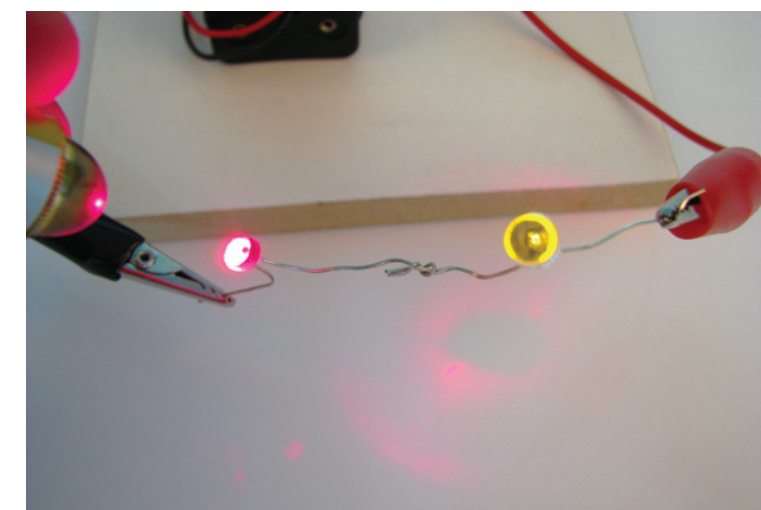


FIG.02

Utilize a canetinha de *laser* para iluminar a superfície do LDR, sem atingir significativamente o LED. Feito isso, aumente a tensão da fonte, progressivamente, até fazer o LED brilhar. Então, observe o brilho desse dispositivo para comparações futuras.



Desligue a canetinha de *laser* e observe se há variação no brilho do LED. Experimente diminuir a intensidade de luz que incide sobre o LDR, colocando, por exemplo, sua mão sobre ele, e observe, novamente, se há variação no brilho do LED.

Como já informado, a sigla LDR sugere que esse é um dispositivo cuja resistência depende da luz que incide sobre ele.

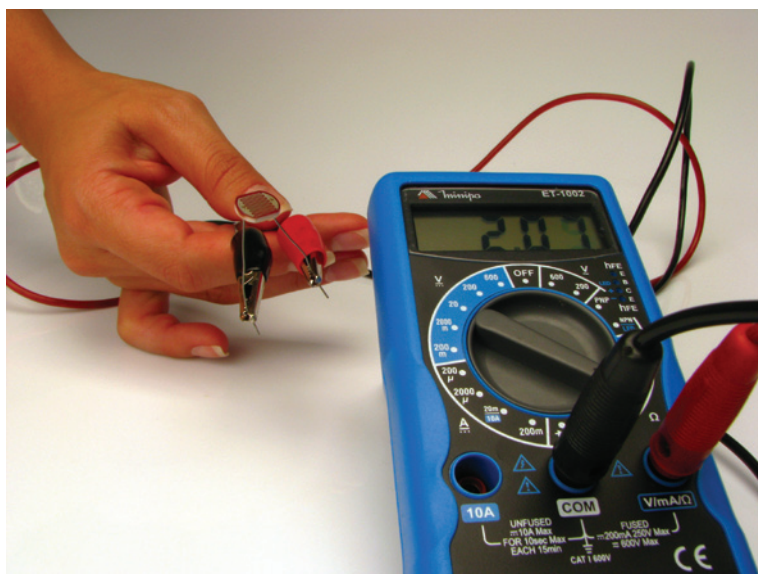
As observações feitas até este ponto permitem dizer como a luz afeta a resistência de um LDR?

PASSO 03

Estudando a resistência de um LDR com o auxílio de um multímetro

Para avaliar a influência da luz na resistência de um LDR, utilize um multímetro configurado para funcionar como ohmímetro – ou seja, como um medidor de resistência elétrica. Ligue as pontas de prova do multímetro aos terminais do LDR por meio dos cabos com garras jacaré. Depois disso, submeta o LDR a diferentes situações de iluminação, observando atentamente o que ocorre em cada uma delas. Observe, também, o que acontece se você colocar a mão sobre o LDR, impedindo que a luz o atinja.

Compare essas observações com as que você realizou nos passos anteriores desta atividade.



Ligação do LDR a um ohmímetro.

PASSO 04

Comparando o comportamento de filamentos metálicos e de LDRs

Para avaliar se a intensidade de luz exerce alguma influência sobre a resistência oferecida por um filamento de tungstênio contido em uma lâmpada halógena, ou palito, utilize, mais uma vez, um multímetro. Conecte as pontas de prova desse dispositivo aos fios do suporte da lâmpada, para obter a leitura da resistência elétrica dela. Experimente, então, submeter o filamento da lâmpada a diferentes situações de iluminação, como você fez com o LDR, observando tudo o que ocorre em cada caso.

Compare essas observações com as que você realizou ao investigar o comportamento de um LDR.

O QUE ACONTECE?

Os LDRs, ou Resistores Dependentes de Luz, são dispositivos amplamente utilizados como sensores de luz e podem compor circuitos por meio dos quais máquinas e equipamentos reagem a mudanças na intensidade de luz disponível em determinado ambiente. O controle da iluminação das vias públicas, por exemplo, é feito por um aparelho que utiliza um LDR como sensor. Conhecendo as características de um LDR, podemos conceber vários circuitos capazes de soar alarmes, ou de produzir outros sinais, em decorrência de alteração da intensidade luminosa ambiental.

O LDR, como já informado, é feito de material semicondutor. A mobilidade das cargas elétricas responsáveis por conduzir a corrente elétrica no interior desse tipo de material é muito afetada pela incidência de luz. Ou seja, no interior de um material semicondutor, a energia transportada pela luz é absorvida e, assim, faz aumentar a mobilidade das cargas elétricas nele presentes. Portanto, quanto mais iluminado for um LDR, maior será a facilidade com que ele vai conduzir a corrente elétrica e menor será sua resistência elétrica.

Para saber mais sobre esse assunto, consulte a segunda parte deste livro. Nela, você encontrará modelos, conceitos e teorias que permitem à ciência contemporânea explicar esse e outros comportamentos interessantes dos materiais semicondutores, largamente utilizados na construção de dispositivos presentes no nosso dia a dia.



4 UM APARELHO PARA ANALISAR A LUZ



Como caracterizar a luz emitida por diferentes fontes luminosas para identificar suas semelhanças e diferenças? O que a luz emitida por determinado material pode dizer sobre a constituição química deste? Comece a procurar respostas para essas questões nesta atividade.

PALAVRAS-CHAVE

Espectro da radiação luminosa. Caracterização de materiais a partir do espectro de emissão.

VOCÊ VAI PRECISAR DE

1. A webcam e o computador são utilizados apenas no passo 2. Esse passo poder ser saltado sem prejuízo para a realização do restante da atividade.

- > 01 folha de papel-cartão preto fosco
- > 01 rede de difração, que é fornecida juntamente com este livro
- > 01 pedaço de fita de velcro
- > 01 *webcam* ligada a um computador¹

- > 01 pedaço de madeira
- > 01 pedaço de arame
- > Sais de elementos diferentes
- > 01 fonte de chama azul

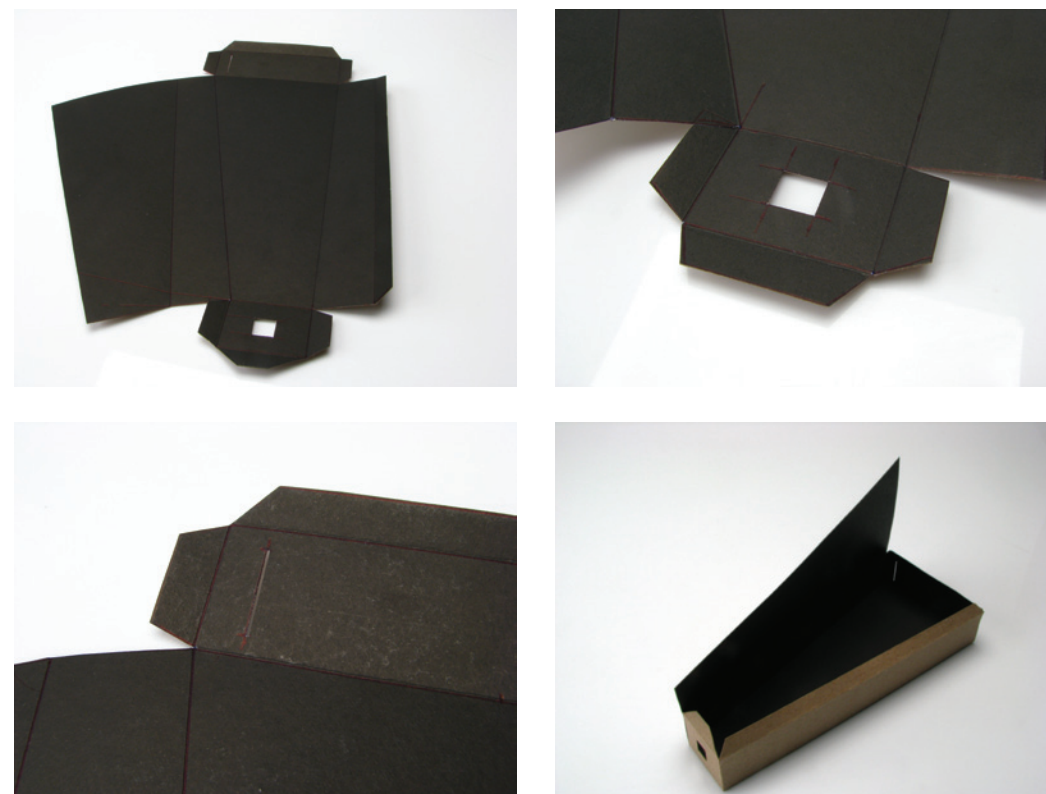
Construindo um espectroscópio

O arco-íris é um fenômeno que ajuda a entender o fato de que a luz proveniente do Sol é, na verdade, uma “mistura” de luzes coloridas. A decomposição de um feixe de luz, aparentemente monocromático, em um conjunto de luzes coloridas dá origem a um registro chamado espectro.

Esse registro pode ser observado usando-se um aparelho conhecido como espectroscópio. Trata-se de um aparelho surpreendentemente simples, que você pode fazer com uma folha de papel-cartão e uma rede de difração que foi incorporada a um encarte deste livro. Essa rede de difração é um dispositivo que permite decompor e identificar o espectro de um feixe de luz.

A sequência de figuras a seguir o auxiliará na construção de um espectroscópio. Para tanto, siga as orientações que se seguem.

a) Na FIG. 1, apresenta-se o molde de uma caixa de papel-cartão que



vai servir de base para o aparelho a ser construído. No site do pontociencia – <http://pontociencia.org.br> –, você pode fazer o download do arquivo em pdf que contém esse molde. Isso feito, você pode imprimir o molde, colar sobre a folha de papel-cartão e, em seguida, recortá-lo com cuidado. A fenda da caixa do espectroscópio deve ter 1 mm de largura e situar-se em uma das abas da caixa, como indicado na FIG. 1.

b) Se não quiser, ou não puder, imprimir esse molde, você pode,

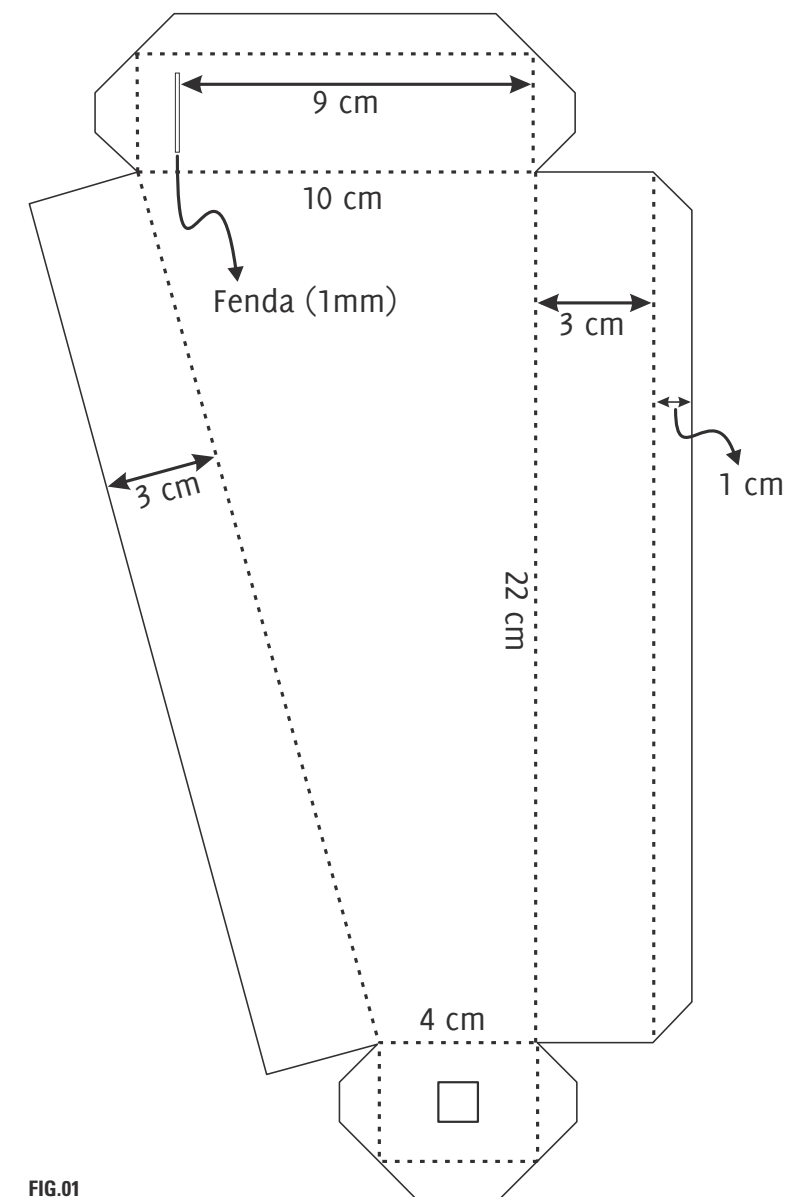
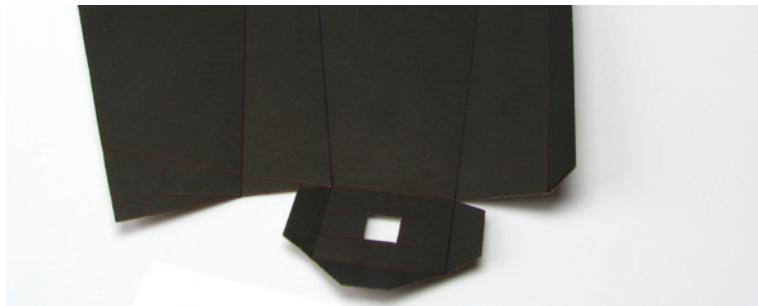


FIG.01

simplesmente, copiá-lo no lado marrom da folha de papel-cartão. Lembre-se, nesse caso, de observar as medidas propostas na FIG. 1.

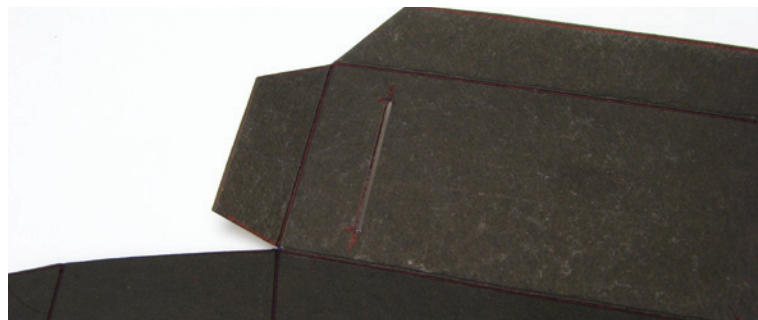
c) Recorte, então, o molde pelas linhas contínuas e dobre-o nas linhas pontilhadas, como indicado na figura.

d) Faça uma fenda bem fina, com cerca de 1 mm de largura, no local



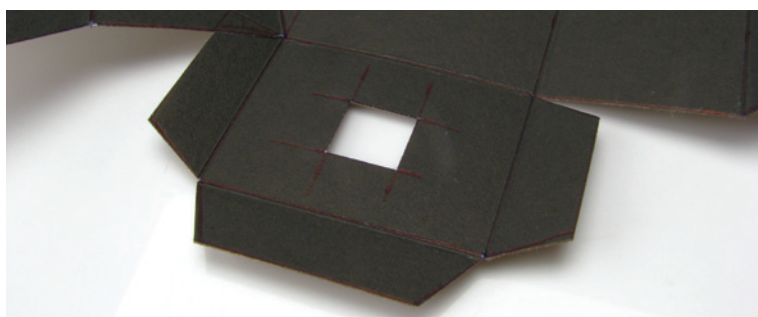
indicado, utilizando um estilete com muito cuidado.

e) O local onde a rede de difração deve ser colocada é um pequeno



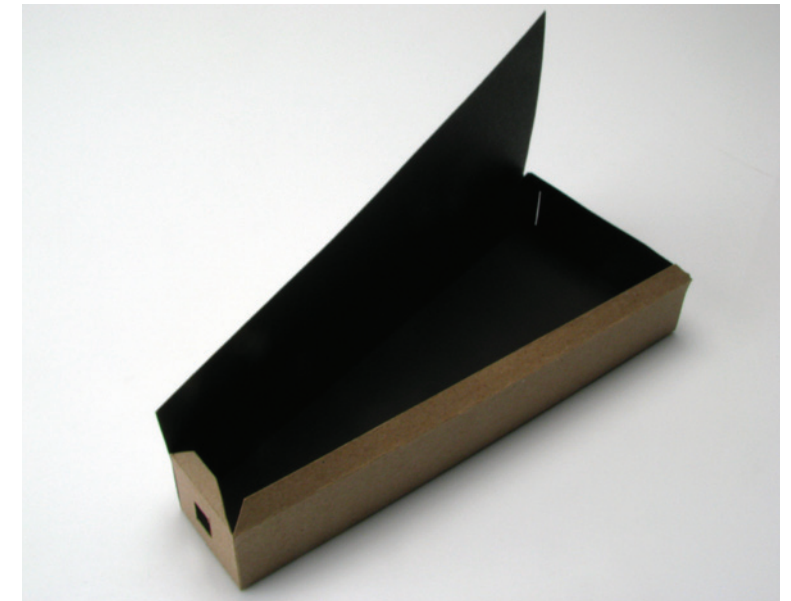
buraco na forma de quadrado, com 1 cm de lado, que aparece na parte inferior da FIG. 1.

f) Para montar a caixa do espectroscópio, passe cola nas abas



formadas pelas dobras que você fez e cole-as.

g) Fixe a rede de difração no local apropriado, utilizando fita adesiva.



Está pronto seu espectroscópio.



PASSO 02

O espectrôscópio acoplado com uma webcam

Você pode montar um suporte para colocar uma pequena câmera, do tipo usado em computadores – ou seja, uma *webcam* –, acoplada ao espectrôscópio que acabou de construir. Dessa forma, você vai poder fotografar, filmar ou, mesmo, projetar os resultados de seus experimentos.

Para tanto, usando tiras de velcro, prenda o espectrôscópio a um pedaço de madeira. Assim, você pode retirar o aparelho quando quiser.



A lente da câmera deve ficar praticamente encostada na rede de difração. As fontes de luz a serem analisadas devem ficar na altura da fenda do espectrôscópio.

A câmera mostrada nessas figuras era dotada de foco ajustável. Para o ajuste do foco, colocou-se uma folha de papel em frente à câmera com uma figura a uma distância igual ao comprimento do espectrôscópio.

PASSO 03

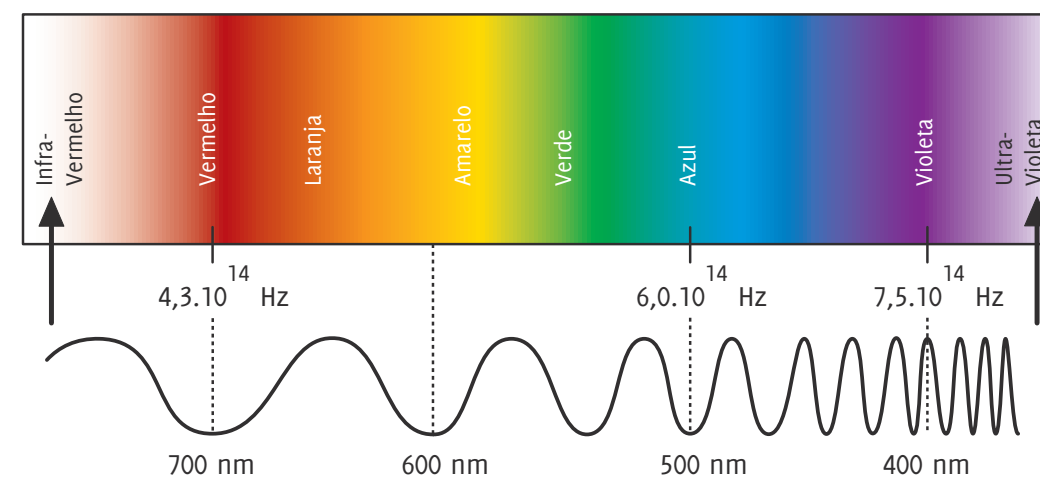
Análise da luz emitida por uma lâmpada incandescente

Coloque a fenda do espectrôscópio alinhada com o filamento de uma lâmpada incandescente. Isso feito, olhe o interior do espectrôscópio através da rede de difração, procurando por uma faixa colorida que se parece com o arco-íris.

As diversas cores que compõem essa faixa colorida resultam da decomposição da luz emitida pela lâmpada. Em outras palavras, a luz branca emitida pela lâmpada é, na verdade, uma combinação de diversas cores.

Espectrôscópio significa, literalmente, “visor de espectros”. Na FIG. 10, mostra-se o espectro da luz visível, isto é, o conjunto de todas as cores que são visíveis aos olhos humanos. O infravermelho e o ultravioleta não são visíveis e por isso não há cores associados aos mesmos.

Comprimentos de Onda na Região do Visível do Espectro



Nota: 1 nm (1 nanômetro) = 1 bilionésimo de metro

FIG.10



Para entender melhor o espectro, faz-se necessário compreender o que é a cor do ponto de vista das ciências.

Desde o século XIX, considera-se que a luz se propaga como uma onda. Cores diferentes correspondem a ondas cujas frequências são diferentes e, conseqüentemente, a ondas cujos comprimentos de onda também são diferentes.

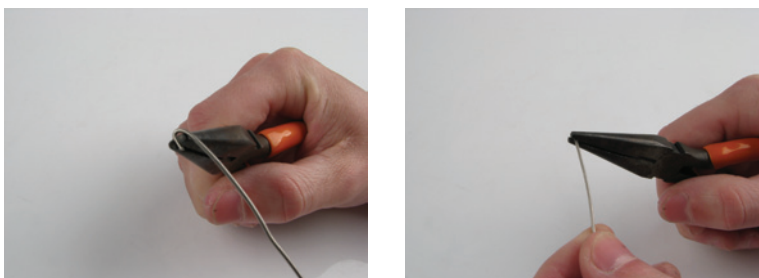
A cor vermelha, por exemplo, está associada a ondas de maior comprimento e de menor frequência. A cor violeta, no outro extremo do espectro da luz visível, corresponde a ondas de menor comprimento e de maior frequência. Note, na FIG. 10, que os valores de comprimento de onda são dados em nanômetros, enquanto os valores de frequência são dados em Hertz ou Hz (1 Hz = uma vibração por segundo).

PASSO 04

Análise da luz emitida por materiais no Teste de Chama

Para realizar o Teste de Chama, realize estas ações:

a) Entorte a ponta de um pedaço de arame de aço, formando uma alça.



b) Prenda a outra ponta do arame em um bastão de madeira, ou a um pregador.

c) Aqueça o arame colocando-o numa chama azul. Para tanto, você pode usar a chama de um fogão a gás, ou de um bico de Bunsen.



d) Separe alguns sais de elementos diferentes. O sal mais comum é o cloreto de sódio, ou sal de cozinha. Outra fonte de sódio comum é o bicarbonato de sódio, usado como fermento na cozinha.

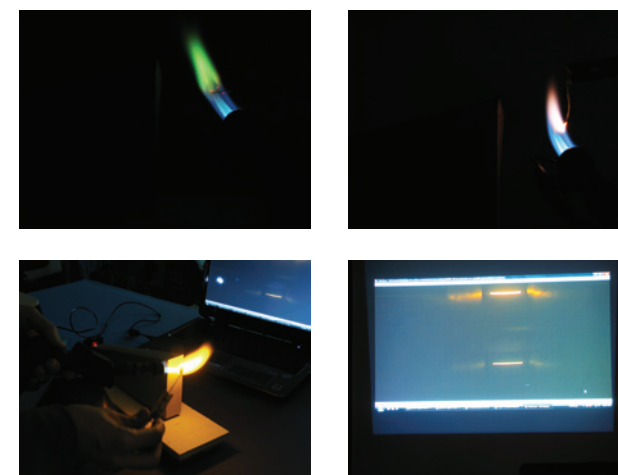
e) Molhe a ponta do arame com a alça e mergulhe-a no cloreto



de sódio. Leve-a, com os cristais de sal nela grudados, até a chama. Observe a cor da chama a olho nu e, depois, aponte o espectroscópio que montou de modo que a fenda esteja voltada para a chama.

f) Limpe bem o arame (ou use outro pedaço) para observar a cor dos outros sais. Outros compostos que você pode encontrar para o teste são a cal (óxido de cálcio), o sulfato de cobre (encontrado em lojas de materiais para piscinas) e a casca de uma banana (fonte de potássio).

g) Se você tiver acesso a reagentes de laboratório, pode tentar o Teste da Chama com sais de estrôncio e, também, de bário.



Análise da luz emitida por LEDs

Coloque a fenda do espectroscópio voltada para a luz emitida por LEDs coloridos ligados a fontes de tensão adequadas. Na TAB. 1 (p.18 deste livro), apresentam-se as informações necessárias para a ligação dos LEDs a fontes de tensão adequadas.

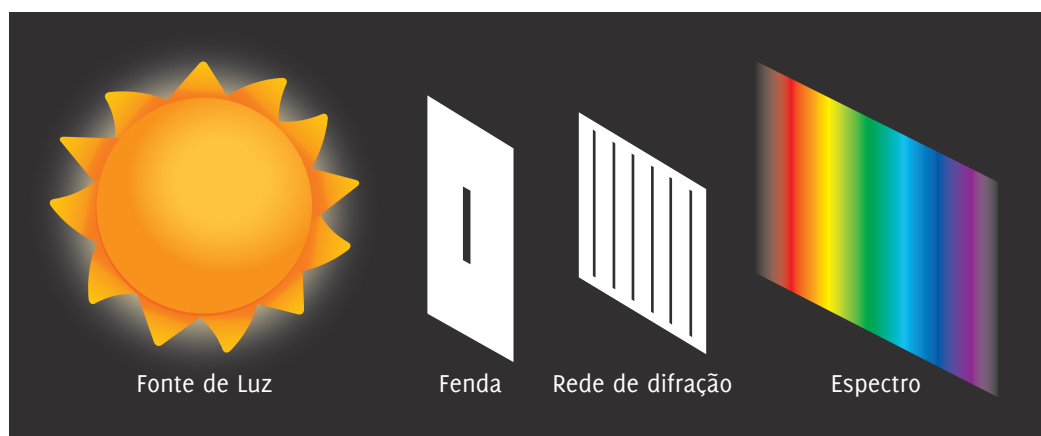
Se preferir, todavia, para fazer os LEDs brilharem, você poderá utilizar a fonte de tensão variável usada na atividade “Explorando a relação entre luz e condução de eletricidade”. Nesse caso, lembre-se de sempre, antes de inserir o LED no circuito, retornar o botão de tensão da fonte para a posição “mínimo”, bem como de ir aumentando lentamente a tensão até cada LED começar a brilhar.

Compare o espectro característico de cada LED com os espectros observados anteriormente, no caso do filamento da lâmpada incandescente e no dos materiais submetidos ao Teste de Chama.

O espectro dos LEDs é contínuo ou descontínuo? A gama de cores observadas nos LEDs é ampla ou restrita?

O QUE ACONTECE?

O espectroscópio utilizado nesta atividade é constituído por uma câmara escura dotada de uma fenda e de uma rede de difração. A fenda feita nessa câmara serve para delimitar um fino feixe de luz que, então, atinge a rede de difração. A figura a seguir ilustra esse processo.



A rede de difração possui, a cada milímetro de sua superfície, centenas de fendas paralelas e microscópicas. Essas fendas são tão estreitas que, ao se olhar uma rede de difração com o olho nu, a impressão que fica é a de que ela é transparente.

A luz que atinge uma rede de difração sofre desvios que dependem do comprimento de onda da luz. Por essa razão, quando muitas cores viajam “misturadas” em um único feixe de luz, o uso da rede de difração permite a separação delas, já que cores diferentes sofrem desvios diferentes. A rede de difração permite, ainda, que identifiquemos os valores dos comprimentos de onda das cores que compõem um dado espectro. Desde que foram criados, os espectroscópios passaram a ser utilizados para analisar as características da luz emitida por, praticamente, toda e qualquer fonte luminosa.

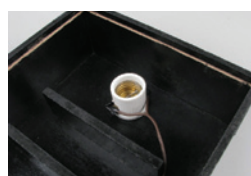
Cada material pode ser estimulado a emitir uma combinação de cores, que lhe é própria, ou específica. Isso acontece quando o material é transformado em gás ou em vapor, para, só então, ser estimulado a emitir luz. As linhas observadas no espectro são características do material, funcionando como uma espécie de “impressão digital”.

Por outro lado, o espectro de luz emitido por um material sólido, como é o caso do espectro emitido pelo filamento de uma lâmpada incandescente, é, em geral, contínuo e, portanto, inespecífico. Em outras palavras, não é possível utilizar o espectro de luz emitido por materiais sólidos para identificar inequivocamente o material.

As razões por que os materiais sólidos emitem espectros contínuos, enquanto os materiais gasosos emitem espectros únicos e específicos, serão apresentadas na segunda parte deste livro. Assim como ocorre nos processos e fenômenos investigados nas atividades anteriores, a compreensão de tais razões envolve a consideração de conceitos, modelos e teorias desenvolvidos a partir das primeiras décadas do século XX.

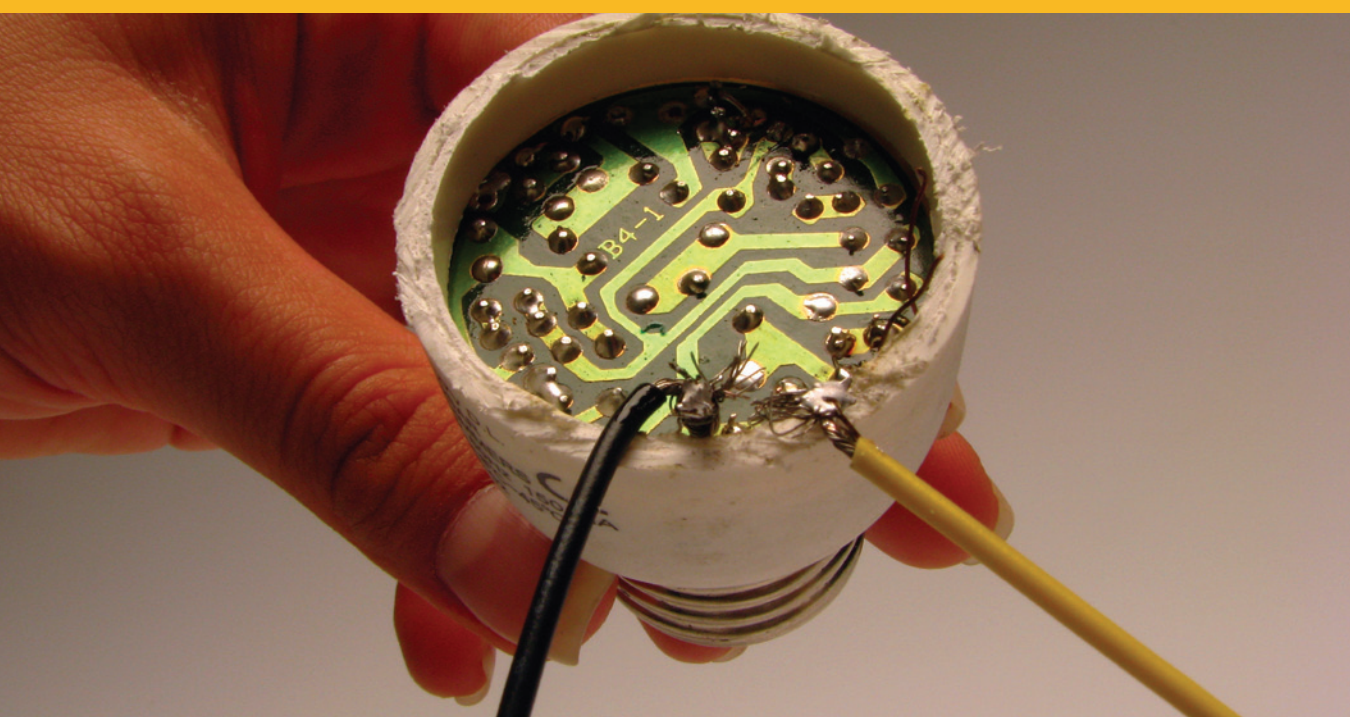
O teste de chama que usa o espectroscópio como recurso para análise da luz emitida por um material que queima é uma maneira simplificada de se identificar elementos químicos. Sais de elementos diferentes emitem luz de cores diferentes na chama.

O sódio emite uma luz laranja muito intensa. Quando deixamos cair algum alimento na chama do fogão, podemos ver esta cor por alguns segundos, já que praticamente todos os alimentos contêm sódio. Já o cálcio emite uma luz mais avermelhada, enquanto o cobre emite luz verde, o potássio irradia uma luz violeta e o estrôncio brilha com uma belíssima luz vermelha. Essas emissões de luz colorida são aproveitadas na fabricação de fogos de artifício.



5

LÂMPADAS FLUORESCENTES



Lâmpadas fluorescentes são cerca de quatro a cinco vezes mais eficientes que as incandescentes. Como funciona uma lâmpada fluorescente? Quais são as características da luz emitida por esse tipo de lâmpada?

Nesta atividade, você vai construir uma luminária, que o(a) ajudará a responder a essas questões.

PALAVRAS-CHAVE

Fluorescência. Estrutura e funcionamento de lâmpadas fluorescentes. Espectro de emissão do mercúrio.

VOCÊ VAI PRECISAR DE

- > 01 lâmpada fluorescente compacta, mesmo que danificada
- > 01 boquilha para lâmpada comum
- > 01 lâmpada fluorescente tubular de 4 W
- > 01 lâmpada germicida tubular de 4 W
- > 04 braçadeiras para fixação das duas lâmpadas tubulares
- > 2 m de fio duplo
- > 01 pino macho para ser ligado à tomada
- > 04 rabichos conectores para lâmpadas fluorescentes
- > 01 chave do tipo H-H pequena
- > 01 furadeira
- > 01 martelo e pregos
- > 02 pedaços de MDF, com espessura de 6 mm a 9 mm, medindo 21,5 cm x 9,5 cm (laterais da caixa)
- > 02 pedaços de MDF, com espessura de 6 mm a 9 mm, medindo 20 cm x 9,5 cm (laterais da caixa)
- > 02 dois pedaços de MDF, com espessura de 6 mm a 9 mm, medindo 14 cm x 4 cm (divisórias da caixa)
- > 01 pedaço de madeira mais espessa, medindo 20 cm x 20 cm (base da caixa)
- > 01 pedaço de vidro, com espessura de 2mm, medindo 21 cm x 21 cm
- > 01 interruptor simples de tamanho igual ao da chave H-H
- > Parafusos finos

Atenção: as medidas dos cortes de MDF, ou madeira, podem variar, principalmente devido ao uso de madeira com espessuras diferentes da usada no modelo proposto nesta atividade.

PASSO 01

Preparando os materiais para construção da luminária

As lâmpadas fluorescentes são constituídas por tubos de vidro preenchidos com vapor de mercúrio, revestidos, internamente, por uma camada branca de pó aderido ao vidro. Tratam-se, portanto, de lâmpadas de vapor de mercúrio.

Quando esse pó branco não está presente e o tubo de vidro que contém o vapor de mercúrio é limpo e transparente, as lâmpadas de vapor de mercúrio não produzem luz por fluorescência, embora ainda tenham aplicações importantes. Nesse caso, elas são conhecidas como germicidas e podem ser facilmente encontradas em lojas que vendem lâmpadas especiais.

Para entender a função do pó branco e a razão por que sua presença no tubo que a constitui transforma uma lâmpada germicida em uma lâmpada fluorescente, você pode construir uma luminária interessante.

Utilizando essa luminária, bem como com o auxílio do espectroscópio construído na atividade “Um aparelho para analisar a luz”, você vai enxergar o espectro da luz emitida pela lâmpada fluorescente e pela lâmpada germicida e, assim, entenderá mais facilmente o fenômeno da fluorescência.

Para construir a luminária proposta, em primeiro lugar, peça a um marceneiro para cortar pedaços de MDF, ou de madeira, nos tamanhos especificados na lista de materiais desta atividade.

Nas quatro peças destinadas a compor as laterais da caixa, faça uma canaleta para encaixar a tampa de vidro, que fechará a caixa de madeira.



Uma das laterais da caixa com o sulco ou canaleta para o encaixe da tampa de vidro que fechará a luminária.

Em uma das peças da caixa, faça também uma abertura para encaixar a chave H-H e o interruptor simples, que vão servir para ligar e desligar as lâmpadas.



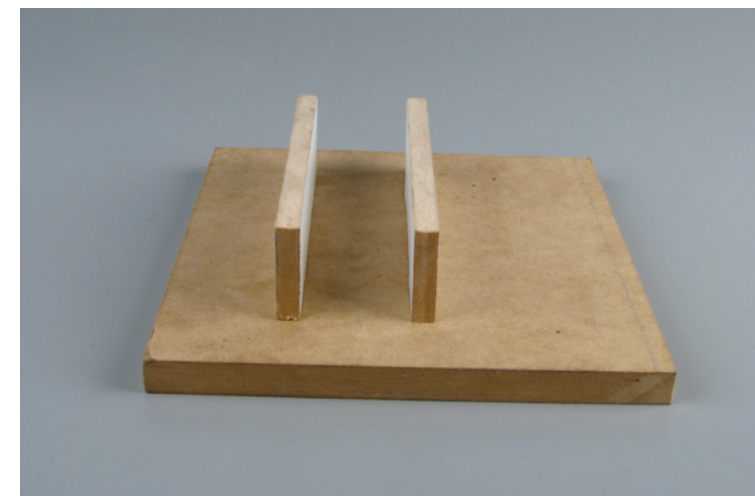
PASSO 02

Montando a caixa na qual funcionará a luminária

Para montagem dessa caixa, observe os seguintes procedimentos:

a) Meça um espaço de 5 cm, a partir de uma das extremidades da base da caixa da luminária, e pregue um dos pedaços de madeira destinados a compor a divisória interna, que vai separar as duas lâmpadas cilíndricas – a fluorescente e a germicida.

b) Meça mais 5 cm, a partir dessa primeira divisória já fixada, e, então, fixe a segunda divisória, como mostrado na foto a seguir, em que as duas divisórias aparecem devidamente fixadas.



As duas divisórias internas já fixadas na base da caixa.

c) Em seguida, cole e pregue três das quatro laterais da caixa, deixando, para depois, apenas a lateral em que serão instalados os dois interruptores pequenos.

Construindo o reator da fonte da luminária

As duas lâmpadas cilíndricas – a fluorescente e a germicida –, que vão compor a luminária que está sendo montada, precisam ser ligadas a um reator. Tal reator pode ser retirado de uma lâmpada fluorescente compacta.

Geralmente, as lâmpadas fluorescentes compactas deixam de funcionar devido ao desgaste de um filamento situado dentro dos tubos de vidro. O reator situado na base dessas lâmpadas, de modo geral, continua funcionando adequadamente. Por essa razão, um reator retirado de uma lâmpada fluorescente compacta danificada poderá, provavelmente, ser reutilizado para a confecção da luminária.

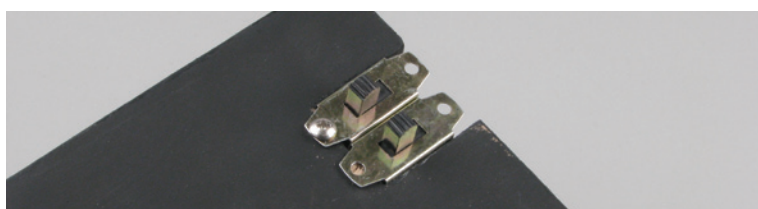
Para retirar o reator da lâmpada fluorescente compacta, danificada ou não, corte a superfície de plástico branco, na posição identificada na fotografia que se segue, usando uma cegueta. Isso feito, corte os quatro fios finos que conectam o reator ao tubo de vidro da lâmpada, lembrando-se de fazê-lo do lado dos fios que fica mais perto do tubo, que, desse modo, vão ficar com o maior tamanho possível.



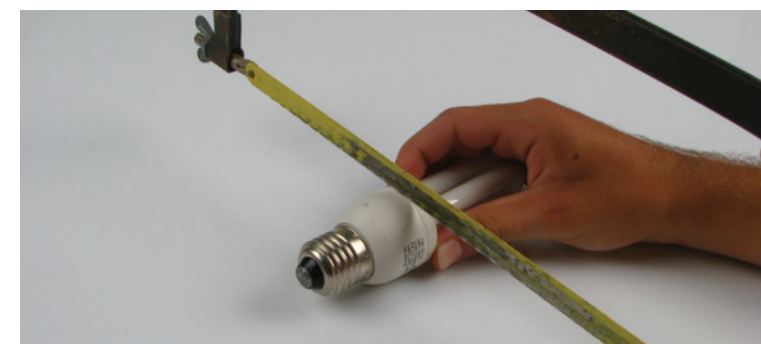
d) Pinte de preto toda a caixa.



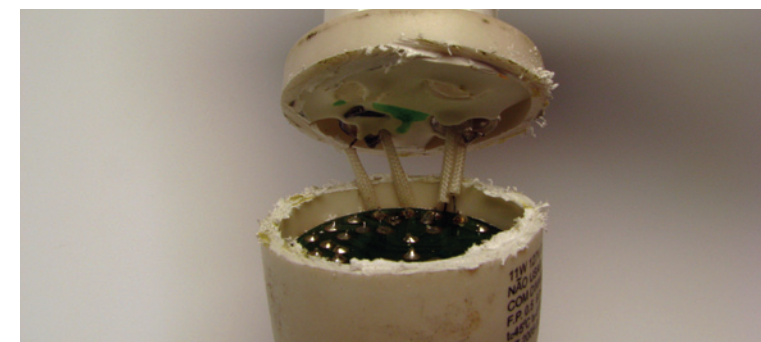
e) Parafuse a chave H-H e o interruptor simples na placa lateral que foi preparada para receber esses dois elementos do circuito.



f) Fixe a boquilha na divisão maior da base da caixa que você acabou de montar.



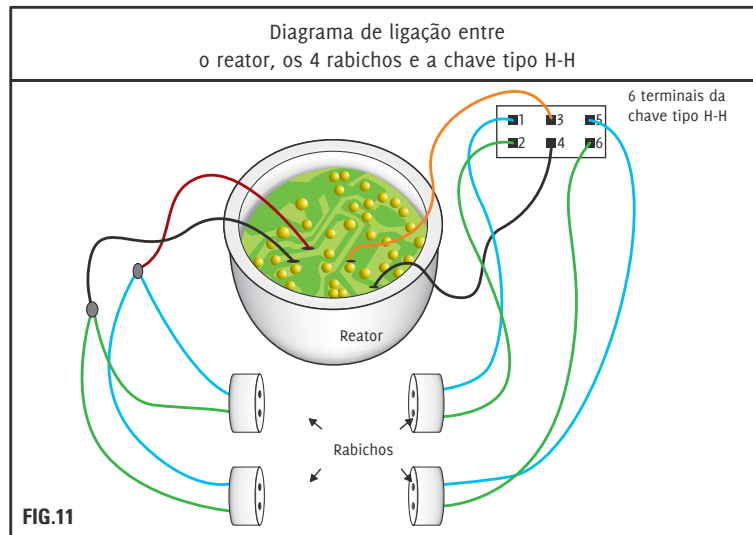
Posição onde a base da lâmpada deverá ser cortada.



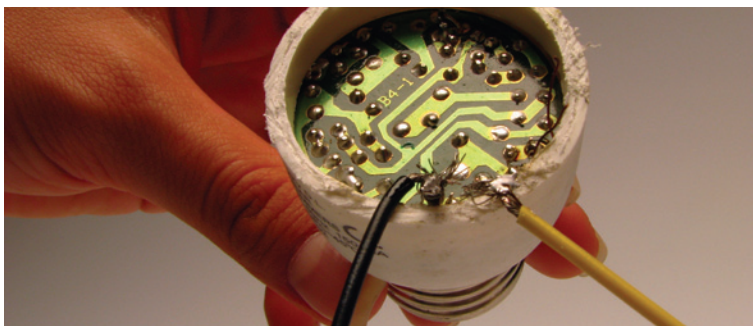
Fios de ligação entre o tubo de vidro e o circuito impresso.

Ligando os rabichos no reator e na chave tipo H-H

O diagrama mostrado na FIG. 11 apresenta, esquematicamente, a ligação entre os quatro rabichos conectores, os quatro fios finos que saem do circuito impresso do reator e os seis terminais que ficam atrás da chave tipo H-H. As fotos que se seguem vão ajudá-lo(la) a montar o circuito mostrado nesse diagrama.

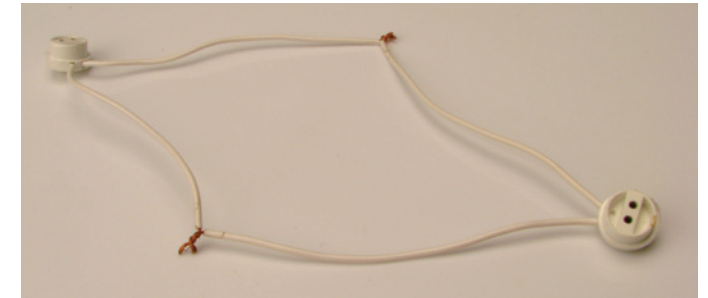


a) Os quatro fios finos que saem do circuito impresso parecem agrupados dois a dois. Como mostrado na fotografia que se segue, dois desses fios ficam de um lado do circuito e os outros dois, um pouco mais distantes. Solde um fio com comprimento de, aproximadamente, 10 cm a cada um dos fios finos que compõem um dos pares que saem do reator. Para isso, siga o esquema indicado no lado esquerdo da FIG. 11.



Fios de 10 cm de comprimento soldados em um dos pares de fios que saem do reator

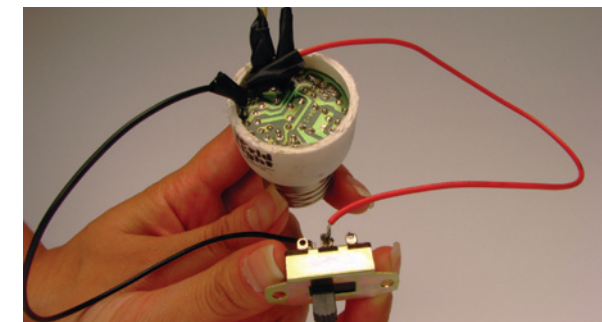
b) Ligue os fios que saem de dois rabichos, para montar uma associação em paralelo entre rabichos, como indicado nesta fotografia.



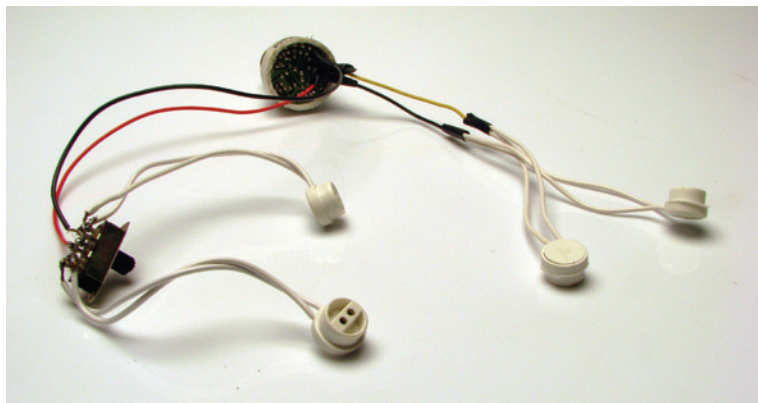
c) Em seguida, conecte cada um dos terminais da associação em paralelo entre rabichos a um dos fios de 10 cm com que você havia prolongado os fios finos que saem do reator.



d) Os outros dois fios que saem do reator devem ser soldados aos terminais 3 e 4 da chave tipo H-H, mostrados na FIG. 11. Antes de fazer essa ligação, contudo, prolongue esses fios com pedaços de fio com, aproximadamente, 25 cm de comprimento.



e) Além desses dois terminais centrais, a chave tipo H-H tem dois outros pares de terminais – identificados como 1-2 e 5-6 na FIG.11. Ligue cada um desses pares de terminais aos dois fios ligados aos rabichos conectores restantes.



f) Se você tiver feito todas as ligações de modo adequado, já terá se aproximado, razoavelmente, do término do projeto. Continuando, enrosque a base do reator na boquilha, previamente fixada na base da caixa que formará a luminária.

g) Em seguida, parafuse as quatro braçadeiras para fixação das duas lâmpadas – a fluorescente e a germicida – nas divisórias posicionadas na base da caixa da luminária. Posteriormente, as lâmpadas devem ser inseridas nessas braçadeiras e suas extremidades serão conectadas aos quatro rabichos.

PASSO 05

Concluindo as ligações elétricas

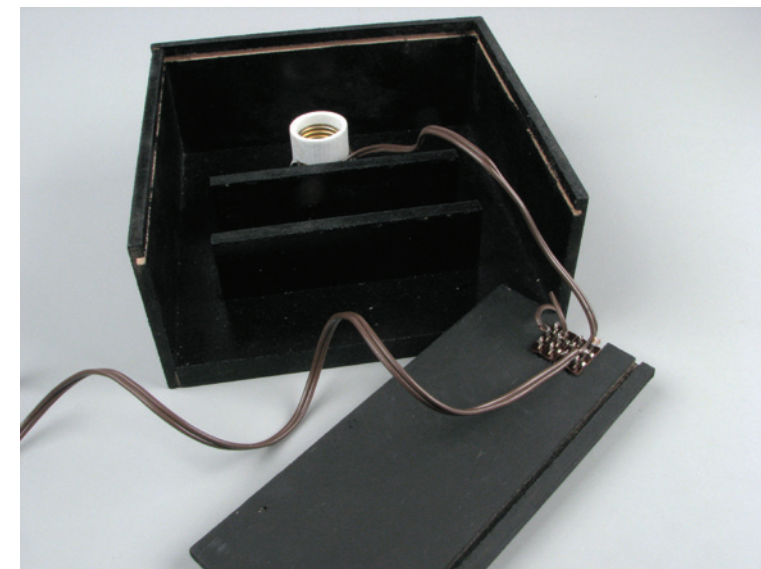
Em continuação, siga estes procedimentos:

a) Ligue as duas extremidades de um fio duplo, de 2 m de comprimento, ao pino macho que servirá para conectar a luminária à tomada.

b) Separe a outra extremidade do fio duplo por cerca de 5 cm. Em seguida, descasque as pontas do fio duplo, de modo a ligar os fios aos terminais da boquilha.

c) Meça qual é a distância necessária para que um dos fios ligados à boquilha alcance o interruptor simples, inserido em uma das laterais da caixa. Nessa posição, corte e descasque esse fio e conecte as duas pontas cortadas aos dois terminais do interruptor simples. Desse modo,

quando o interruptor estiver ligado, tudo se passará como se o fio que você cortou não houvesse sido cortado.



d) Por fim, conecte os terminais das lâmpadas aos quatro rabichos conectores, coloque o vidro na luminária e ligue o pino macho na tomada para acionar os interruptores e verificar se está tudo funcionando adequadamente.

PASSO 06

Comparando a luz emitida pelas lâmpadas fluorescente e germicida

Em um ambiente pouco iluminado, ligue a lâmpada germicida, deixando a fluorescente desligada. Em seguida, alinhe a fenda do espectroscópio com o corpo cilíndrico da lâmpada. Isso feito, olhe o interior do espectroscópio, procurando por linhas coloridas.

Cada uma das linhas observadas resulta da decomposição da luz, aparentemente azulada, que é emitida pela lâmpada germicida. A ausência das outras cores que compõem o espectro da luz visível está associada ao fato de que a lâmpada germicida não emite muita luz visível. A maior parte da luz emitida por essa lâmpada situa-se na faixa do ultravioleta que, entretanto, é absorvido pelo vidro que inserimos em nossa luminária.

O pó branco que reveste a superfície interna do tubo de vidro de uma lâmpada fluorescente tem duas funções: absorver a luz ultravioleta emitida pelo vapor de mercúrio; e transformar essa luz ultravioleta em luz visível.

Mexa na chave tipo H-H da luminária que construiu para desligar a lâmpada germicida e acender a lâmpada fluorescente. Isso feito, alinhe a fenda do espectroscópio com o corpo cilíndrico da lâmpada e olhe o interior do aparelho. Nele, você verá surgir um espectro colorido e aparentemente contínuo. Agora, contudo, as linhas coloridas, observadas no espectro da lâmpada germicida, vão parecer mais intensas que outras cores desse espectro.

O QUE ACONTECE?

O interior das lâmpadas fluorescentes e germicidas é preenchido por vapor de mercúrio e, portanto, por átomos de mercúrio relativamente isolados. Quando uma lâmpada de vapor de mercúrio é ligada, uma alta tensão surge em seu interior e, por essa razão, elétrons são arrancados dos átomos de mercúrio. Ao mesmo tempo, outros elétrons são arrancados de filamentos aquecidos situados em uma das extremidades dessa lâmpada. Os átomos de mercúrio que perdem elétrons transformam-se em íons positivos, que viajam pelo interior da lâmpada. Os elétrons livres também viajam nesse ambiente.

Imediatamente depois dessa situação inicial se caracterizar deixa de ser necessário, tanto o aquecimento dos filamentos, quanto a alta tensão estabelecida inicialmente no interior da lâmpada. Com elétrons livres e átomos ionizados de mercúrio já presentes naquele ambiente os processos descritos na FIG. 19 continuam a ocorrer. Os itens B, C e D dessa figura dizem respeito à emissão de luz ultravioleta pelos átomos de mercúrio contidos no interior da lâmpada. Além do ultravioleta, entretanto, os átomos também emitem luz visível, como você deve ter observado ao procurar por linhas coloridas no interior do espectroscópio utilizado no *Passo 6* deste experimento.

O item A da FIG. 19 indica que, ao se moverem no interior da lâmpada, elétrons e íons são continuamente "recombinados". Os íons de mercúrio, que capturam elétrons, acabam por perder sua condição de átomos ionizados (item C da FIG. 19). No entanto, esses átomos ainda apresentam níveis de energia acima do normal. Por essa razão, em Ciências, diz-se que esses átomos se encontram excitados.

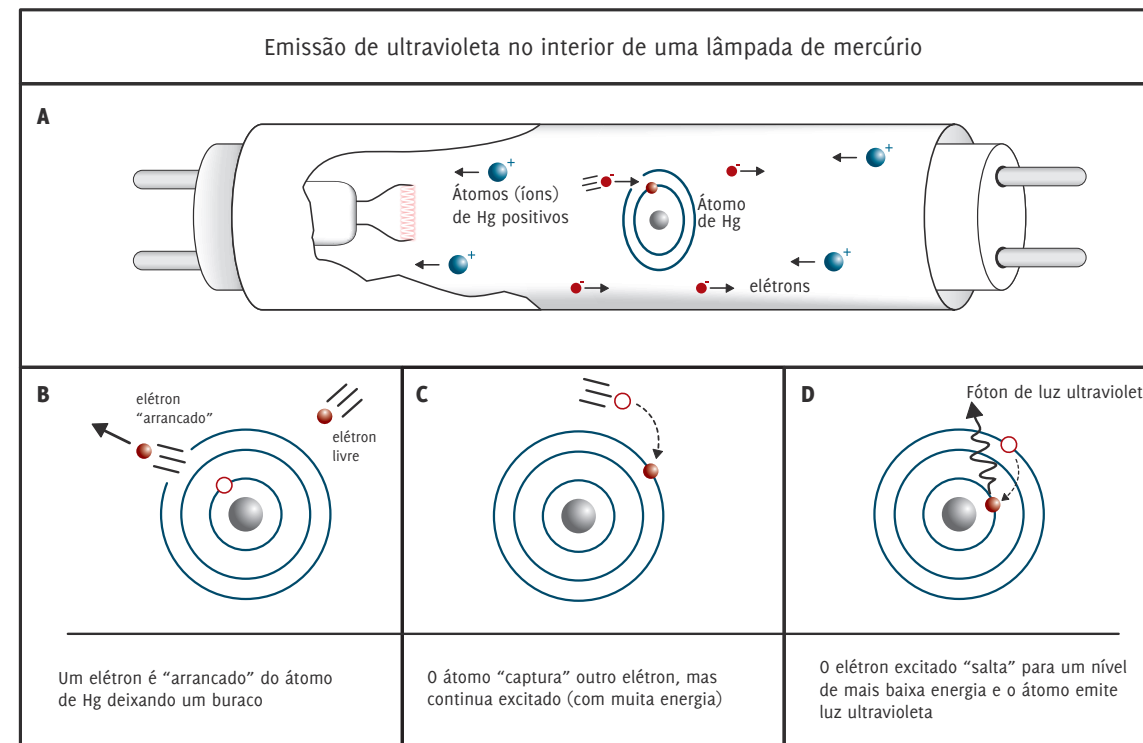


FIG.19

Os elétrons que ocupam níveis de energia elevados no interior de um átomo excitado apresentam uma tendência de "saltar" para um estado de menor energia (item D da FIG. 19). Em cada um desses "saltos", ocorre a liberação de um "pacote", ou *quantum*, de energia.

A palavra *quantum* indica que o átomo não libera, nem absorve energia de modo contínuo, apenas por meio de "pacotes" com valores específicos de energia. Essa palavra está na origem das expressões *Física Quântica* e *Química Quântica* que significam *Física* ou *Química* do *Quantum*. Tais expressões identificam grande parte do conhecimento científico produzido, a partir do século XX. Alguns dos principais fundamentos das *Ciências do Quantum* serão apresentados na segunda parte deste livro.

No fenômeno que estamos investigando, os *quanta* de energia manifestam-se sob a forma de fótons. Os fótons são *quanta* de luz e seu nome distingue-os de outros *quanta* de energia – como é o caso dos fônons, por exemplo, que são "pacotes" de energia mecânica associados a diferentes níveis de vibração dos átomos.

A quantidade de energia contida em cada "pacote de luz", isto é, em cada *quantum*, ou fóton de luz, determina a cor da luz. Na faixa do visível, um fóton de luz violeta contém mais energia que um fóton de luz vermelha. Fótons com menos energia que os fótons de luz vermelha não

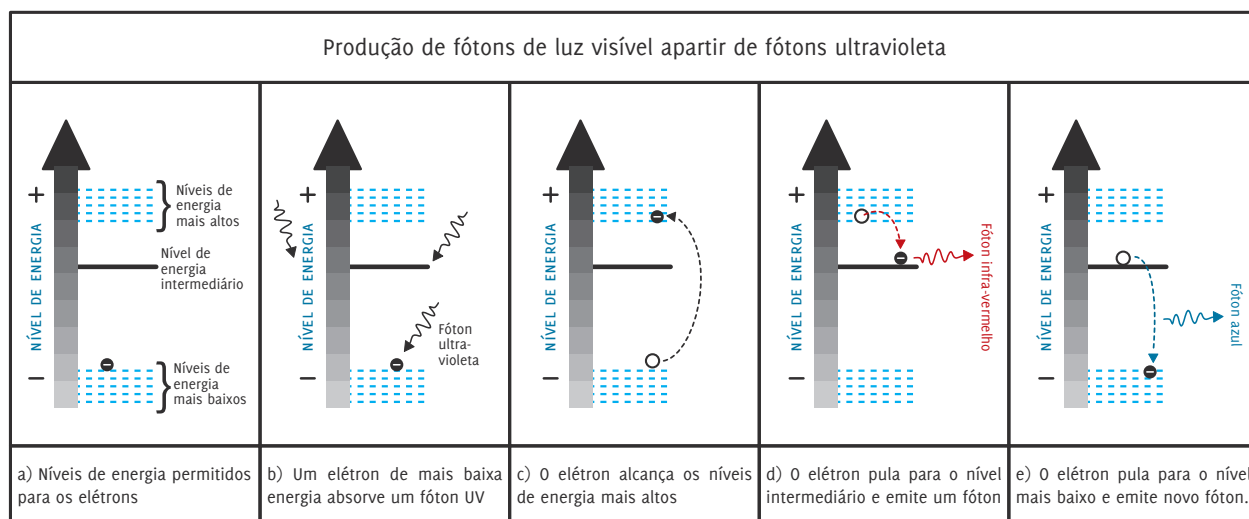
são visíveis ao olho humano e são conhecidos como fótons de infravermelho. Fótons com mais energia que os fótons de luz violeta também não são visíveis e são conhecidos como fótons de ultravioleta.

Nas lâmpadas fluorescentes e germicidas, a grande maioria dos fótons emitidos por átomos de mercúrio possui muita energia e, por essa razão, tais fótons estão situados na faixa do ultravioleta. A radiação ultravioleta (UV) não serve para iluminar objetos, além de ser potencialmente danosa aos olhos humanos. Por isso, as lâmpadas fluorescentes são constituídas de vidro revestido por uma mistura de compostos inorgânicos, que, depois de absorverem fótons de ultravioleta, emitem fótons de luz visível.

Os elétrons que constituem esses compostos absorvem fótons de luz ultravioleta e emitem, em seu lugar, fótons de luz visível. Esse processo está ilustrado na seqüência de imagens da FIG. 20. Nessas imagens, faz-se uso de um dos fundamentos da Física Quântica – ou seja, a idéia de que, mesmo no caso de materiais sólidos, formados pela “combinação” de muitos átomos, os elétrons são obrigados a ocupar níveis de energia permitidos e não podem exibir certos níveis de energia que lhes são proibidos.

Os elétrons podem mudar seu nível de energia, mas, para fazê-lo, precisam absorver, ou emitir, quantidades específicas de energia. Na FIG. 20-a, são mostrados alguns níveis de energia permitidos para os elétrons que compõem o material que reveste o tubo das lâmpadas fluorescentes. Para simplificar, nessa e nas outras figuras do mesmo conjunto, representa-se apenas um elétron.

FIG.20

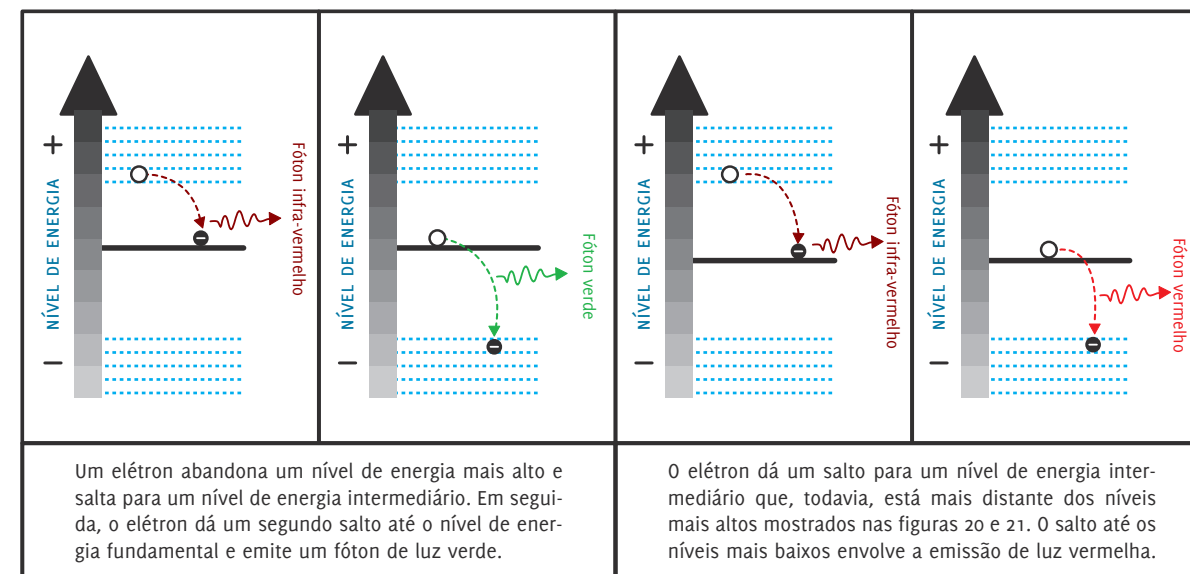


Na FIG. 20-b, representa-se o momento em que um dos elétrons que compõem o material recebe um fóton de luz ultravioleta (UV) que foi emitido por um átomo de mercúrio, mediante processo descrito na FIG.19. Já na FIG. 20-c, mostra-se que, ao absorver o fóton de ultravioleta, o elétron dá um grande “salto” até um dos níveis de energia mais altos.

Na FIG. 20-d, vê-se o elétron dando um “salto” menor para um nível de energia intermediário. Nesse “salto” o elétron emite um fóton de baixa energia associado à luz infravermelha. Em seguida, na FIG. 20-e, o elétron dá um novo “salto” e retorna a níveis de energia mais baixos. Com esse novo “salto”, o elétron emite um fóton de luz azul.

Como o pó branco que reveste o tubo de uma lâmpada fluorescente é constituído por uma mistura de materiais, fótons de outras cores, além do azul, podem ser emitidos. Nas FIG. 21 e 22, ilustra-se como isso acontece. Ao se analisar essas figuras, vê-se que diferentes materiais que compõem o pó branco apresentam níveis de energia intermediária, situados em posições diferentes.

FIGS.21 E 22



A presença da mistura de materiais no pó branco que reveste o bulbo de uma lâmpada fluorescente permite que esta “transforme” os fótons de luz ultravioleta, emitidos pelos átomos de mercúrio, em fótons de luz visível, de diversas cores. Em outras palavras, é o pó branco que transforma uma lâmpada germicida de vapor de mercúrio em uma lâmpada fluorescente¹, capaz de emitir todas as cores do espectro, que, uma vez misturadas, dão origem à luz branca.

1. Fluorescência é o nome que se dá à transformação de fótons de luz ultravioleta (UV) em fótons de luz visível.



6

LUZ NO ESCURO

Nesta atividade, você vai investigar o comportamento de alguns materiais que brilham no escuro e os fatores envolvidos nesse fenômeno. Como isso é possível?

PALAVRAS-CHAVE

Fotoluminescência. Fosforescência. Fluorescência. Influência da temperatura.

VOCÊ VAI PRECISAR DE

- > 01 sala que possa ficar escura, ou uma caixa de papelão dentro da qual você possa criar um ambiente escuro
- > Brinquedos que brilham no escuro, como estrelas adesivas de plástico, ou uma lata de tinta *spray* fosforescente e uma placa de madeira
- > 01 lanterna, ou outra fonte de luz
- > 01 folha de cartolina preta
- > 01 fonte de tensão variável (ver o Projeto 1 da Parte III deste livro)
- > Pedaco de rede de difração já utilizado no Experimento 4
- > 01 LED vermelho, 01 LED verde e 01 LED azul
- > 01 caneta marca-texto amarela
- > 01 caneta hidrocor amarela comum
- > 01 pedra de gelo seco
- > 01 luva de lã ou de cozinha
- > lâmpada de luz negra (luz ultravioleta de baixa intensidade).

PASSO 01

Visualizando a fosforescência

A fosforescência é capacidade exibida por certos materiais de brilhar no escuro após serem iluminados. Caso não disponha de brinquedos ou adesivos de plástico fosforescentes, você mesmo pode preparar uma placa fosforescente. A placa é, na verdade, mais interessante que os brinquedos ou adesivos encontrados no mercado, pois torna mais evidentes os fenômenos que iremos investigar.

Para fazer sua placa, compre uma lata de tinta *spray* fosforescente em uma loja de tintas. Aplique essa tinta em uma placa de madeira e espere secar bem. Você pode preparar pequenas placas, para observar o fenômeno bem de perto, ou fazer uma placa maior, para demonstrar o efeito para muitas pessoas.



Após providenciar seu objeto fosforescente, realize as seguintes ações:

a) Em uma sala escura, ilumine o objeto fosforescente com uma lanterna, ou outra fonte de luz. Em seguida, apague a luz e observe.

b) Coloque um dedo, ou um pedaço de cartolina preta, sobre parte da placa. Acenda a luz novamente, por alguns segundos. Então, apague a luz e retire o dedo, ou o pedaço de cartolina preta. O que você observou nesse segundo caso?

PASSO 02

Com que luz eu vou

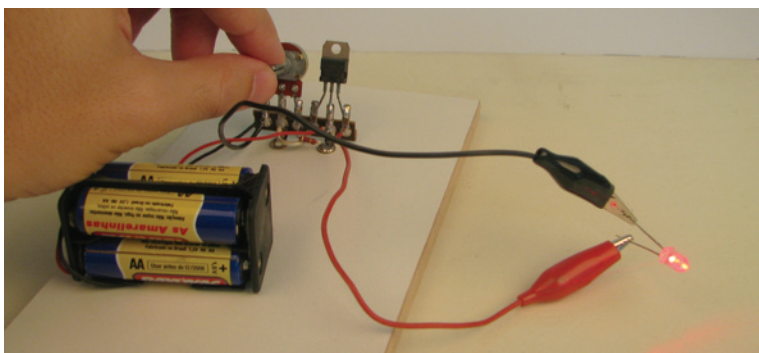
Observe, agora, os seguintes procedimentos:

a) Conecte os terminais de um LED azul a uma fonte de tensão variável, como a proposta no Projeto 1 da Parte III deste livro. Lembre-se de que o LED só acende quando seu terminal mais comprido está ligado ao polo positivo da fonte. Lembre-se, ainda, de, antes de conectar o LED, verificar se o botão que ajusta a tensão da fonte está na posição "mínimo". Quando, mais adiante, for trocar o LED azul por outros de cor diferente, lembre-se de repetir esse último procedimento. Se esquecer desse cuidado, poderá danificar seus LEDs.

b) Após conectar o LED azul, ajuste a tensão para acendê-lo. Em uma sala escura, ilumine o material fosforescente com o LED. Em seguida, apague o LED e verifique se o material emite luz. Varie a intensidade da luz emitida pelo LED, variando a tensão da fonte. Experimente, também, movimentar o LED sobre a placa, como se estivesse fazendo um desenho. Então, responda: como a intensidade da luz emitida pelo material fosforescente varia com a intensidade da luz azul do LED?



c) Repita o experimento com um LED vermelho e, depois, com um LED verde, variando também a intensidade da luz emitida por eles. A fosforescência ocorre nesses casos?



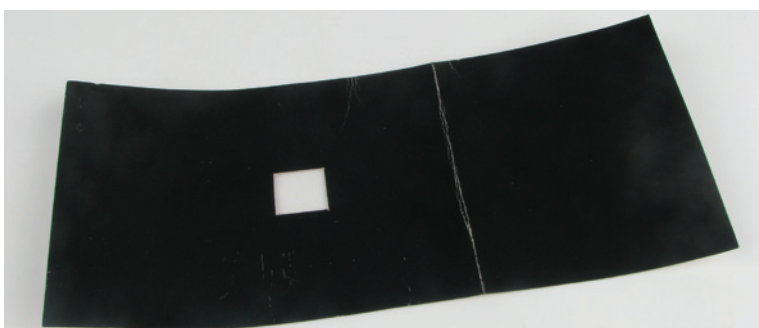
PASSO 03

Um arco-íris no material fosforescente

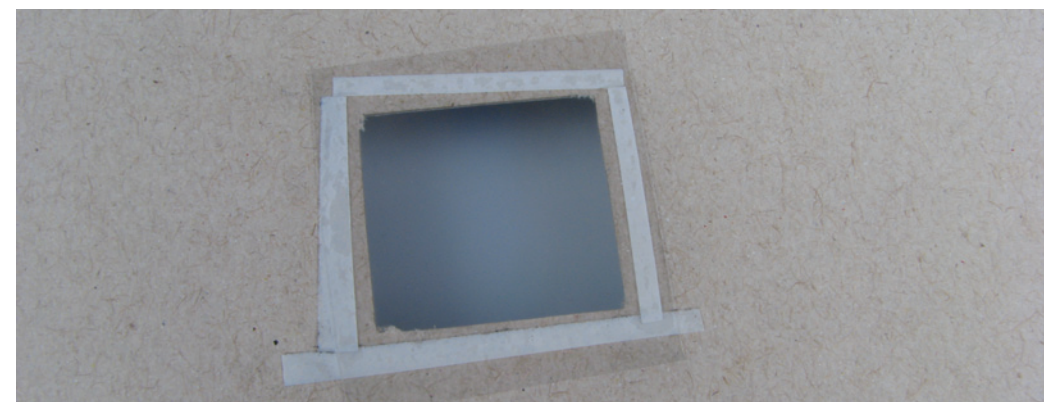
Utilize a rede de difração para projetar um arco-íris numa sala. Para isso:

a) Corte um retângulo de cartolina, medindo 12 cm de largura x 30 cm de comprimento.

b) Nesse retângulo, corte uma pequena janela quadrada, de 2 cm de lado, a cerca de 9 cm de distância de um dos lados mais curtos do retângulo.

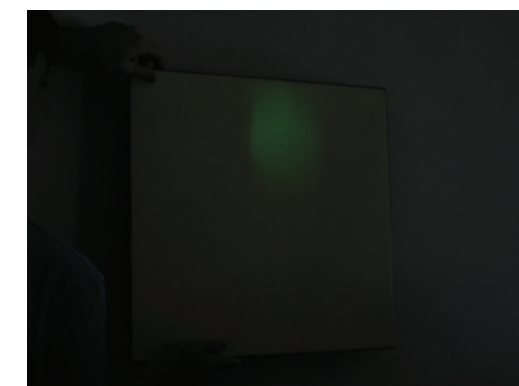
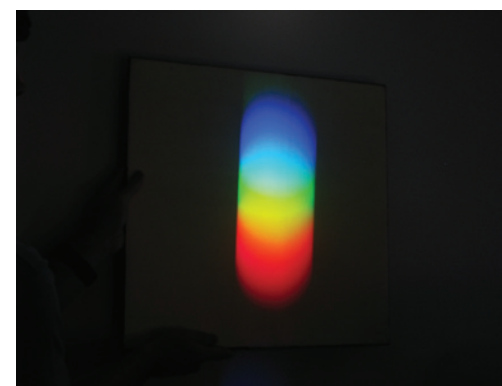


c) Usando fita adesiva, prenda um pedaço de rede de difração nessa abertura.



d) Agora, corte um quadrado de cartolina do tamanho da base do retroprojektor – ou seja, com cerca de 30 cm de lado. No centro desse quadrado, faça um furo com 2,5 cm de diâmetro. Coloque o quadrado de cartolina sobre a base do retroprojektor e o retângulo, com a rede de difração, sobre a cabeça do mesmo aparelho. Faça uma dobra no retângulo, de modo que a rede de difração fique no caminho do feixe de luz a ser emitido pelo retroprojektor.

e) Ligue o retroprojektor e observe a projeção do arco-íris em uma tela, ou parede branca. Em uma sala escura, posicione o material fosforescente, de modo que ele seja iluminado pelas diferentes cores do espectro. Apague a luz do retroprojektor e observe o material. Se necessário, repita a operação para que o material seja exposto às várias cores do espectro.

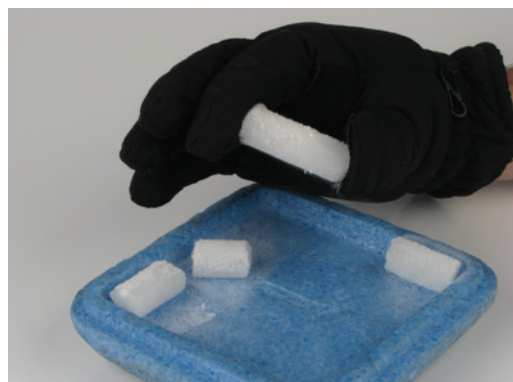


PASSO 04

Efeito do resfriamento

A fosforescência observada até agora ocorreu à temperatura ambiente. Será que a temperatura afeta esse fenômeno? Para descobrir, realize as seguintes ações:

a) Obtenha um pedaço de gelo seco (CO_2 sólido) em uma casa especializada ou com um vendedor de sorvete. Além do uso por sorveteiros, o gelo seco é bastante usado em festas sendo inserido em copos de bebidas coloridas para provocar tanto o resfriamento da bebida, quanto um efeito visual expressivo composto por grandes borbulhas e por uma “fumaça” branca e intensa.



O gelo seco apresenta uma temperatura de $-78,5\text{ }^\circ\text{C}$; exposto ao ambiente, ele passa do estado sólido diretamente para o estado gasoso.

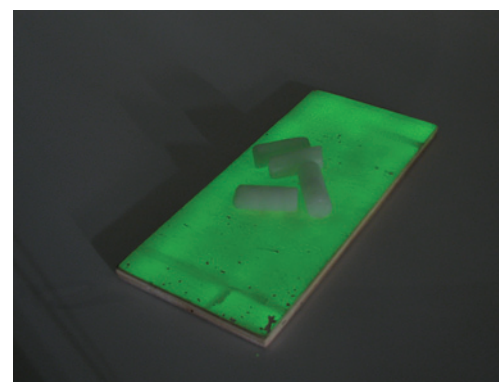


Refresho colorido com pedra de gelo seco dentro.

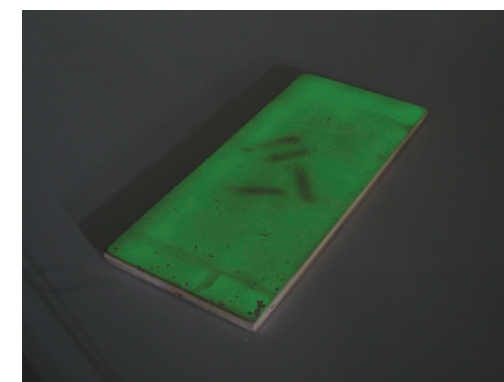
b) Exponha o material fosforescente à luz, por alguns segundos. Apague a luz e, imediatamente, coloque o pedaço de gelo seco sobre o material. Espere alguns segundos e retire o gelo seco:

(i) que efeitos o resfriamento produziu sobre a fosforescência?

(ii) como a região resfriada se comportou após aquecer novamente depois da retirada do gelo seco?



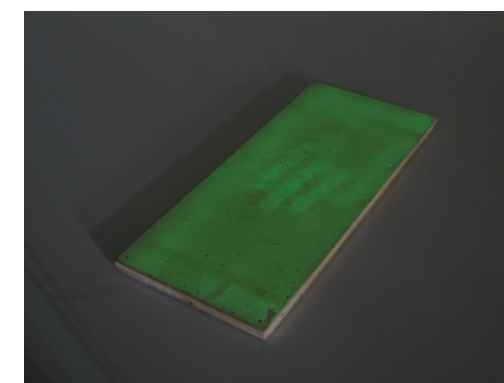
Quatro pedras de gelo seco, em um ambiente escuro, colocadas sobre a placa previamente iluminada.



As pedras foram retiradas. Os locais resfriados mostram-se escuros, pois não emitem luz.



Uma mão é colocada sobre a região resfriada pelo gelo seco.



O calor proveniente da mão devolve a capacidade de “brilhar no escuro” para a região anteriormente resfriada.

PASSO 05

Comparando a fluorescência com a fosforescência

No experimento 5 investigamos o funcionamento das lâmpadas fluorescentes e o fenômeno da fluorescência. Mostramos, naquela ocasião, que uma lâmpada de vapor de mercúrio emite luz ultravioleta que é

convertida em luz visível pelo pó branco e fluorescente depositado na superfície interna do tubo de vidro utilizado na fabricação da lâmpada.

A luz negra que usaremos nesta exploração é também uma lâmpada de vapor de mercúrio que é coberta com pigmentos escuros. Esses pigmentos absorvem a luz visível emitida no interior da lâmpada, mas permitem a passagem da luz ultravioleta.

Usando a luz “negra”, observe a aparência da ponta de uma caneta marca-texto amarelo ao lado da ponta de uma caneta comum de hidrocor amarelo. Note que a ponta da caneta marca-texto brilha muito intensamente quando iluminada por luz negra.



Iluminadas com luz visível as canetas amarelas tipo hidrocor ou marca-texto têm uma aparência similar.



Sob luz ultravioleta, a aparência das canetas é bastante diferente.

O brilho especial que a caneta marca-texto exibe ao ser iluminada com luz ultravioleta provém da fluorescência. O material fluorescente usado na fabricação da tinta dessa caneta absorve fótons de luz ultravioleta e, quase imediatamente, emite fótons de luz visível.



Canetas iluminadas com luz ultravioleta e mantidas em contato com uma pedra de gelo seco (-78,5 °C).

São esses fótons de luz visível que promovem o brilho que nós observamos. A ponta da outra caneta que usamos para comparação não possui materiais fluorescentes e, por essa razão, não promove a “transformação” de fótons de ultravioleta em fótons de luz visível.

Feita essa observação, encoste a ponta das canetas no gelo seco e observe-as, novamente, sob a luz negra. Você notou alguma alteração? O resfriamento afeta a fluorescência? Esse experimento permite diferenciar a fluorescência da fosforescência?

O QUE ACONTECE?

Os fenômenos da fosforescência e da fluorescência, investigados neste experimento, têm algo em comum. Nos dois fenômenos, os elétrons dos materiais absorvem energia de uma fonte de luz para, então, reemitirem luz novamente para o ambiente.

Todavia, materiais fluorescentes precisam da luz ultravioleta para brilhar, enquanto os materiais fosforescentes podem brilhar ao absorver e depois reemitir luz visível. Além disso, a emissão de luz pelos materiais fluorescentes cessa imediatamente quando a fonte de luz ultravioleta que os ilumina é desligada, enquanto os materiais fosforescentes podem emitir luz no escuro durante horas, sem a presença de qualquer outra fonte de luz. Por fim, a fluorescência não é afetada de modo significativo por mudanças na temperatura do material, mas uma queda acentuada de temperatura pode impedir a fosforescência.

A partir dessas diferenças podemos suspeitar que sejam distintos os processos associados à absorção e à liberação de energia pelos materiais fluorescentes e fosforescentes. Os diagramas e imagens que apresentaremos a seguir descrevem aspectos gerais do fenômeno da fosforescência. Como existe uma grande quantidade de diferentes materiais fosforescentes, existem mecanismos diferentes daqueles apresentados neste texto.

Na área amarela da FIG. 14, apresentamos alguns níveis de energia permitidos e proibidos para os elétrons que compõem um material fosforescente. Na área rosa dessa figura, mostramos que nem a luz vermelha, nem a verde, tem energia suficiente para elevar os elétrons do material fosforescente desde os níveis mais baixos, até os níveis mais altos de energia permitida.

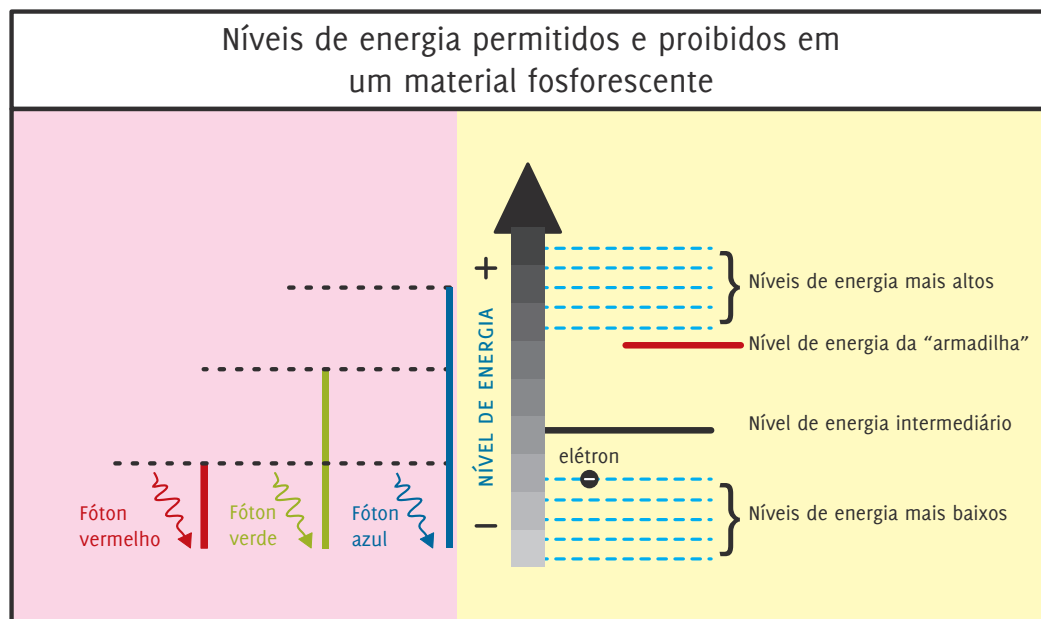


FIG.14

Para interpretar essa informação é importante recuperar o que dissemos na seção *O que acontece?* do Experimento *Lâmpadas fluorescentes*. Naquela ocasião, dissemos que os átomos emitem e absorvem energia na forma de “pacotes” ou *quanta* de luz. Esses “pacotes”, chamados fótons, têm diferentes quantidades de energia.

A quantidade de energia de um fóton é proporcional à frequência das ondas luminosas provenientes da fonte de luz. No *Passo 2* deste experimento, vimos que os LEDs vermelho e verde não provocaram a fosforescência, que foi obtida com o LED azul.

A frequência da luz azul é maior que a da luz verde, que por sua vez é maior que a da luz vermelha.

A energia de um fóton vermelho ou verde não é suficiente para que os elétrons do material fosforescente consigam superar a diferença de energia entre os níveis de energia permitida mais baixa (nos quais eles naturalmente se encontram) e os níveis de energia permitida mais altos para os quais esses elétrons podem ser elevados.

A intensidade da luz vermelha ou verde só interfere no número de fótons produzidos pelas fontes de luz, mas não altera a quantidade de energia de cada fóton individual. Sendo assim, não interessa quantos fótons vermelhos ou verdes chegam ao material fosforescente.

Por isso, com o LED azul conseguimos obter a fosforescência, mesmo quando esse LED emite luz de baixa intensidade. Por sua vez, o



LED vermelho e o LED verde não produziram a fosforescência, mesmo quando a luz por eles emitida era mais intensa que a do LED azul.

A FIG. 15 mostra o que acontece quando um fóton com energia adequada atinge um elétron inicialmente situado em um nível de energia mais baixo. Depois que atinge os níveis mais altos, o elétron tem a tendência de liberar o excesso de energia que adquiriu e voltar aos níveis mais baixos. Nos materiais fluorescentes, isso acontece quase instantaneamente. Nos materiais fosforescentes o processo tende a ser mais demorado.

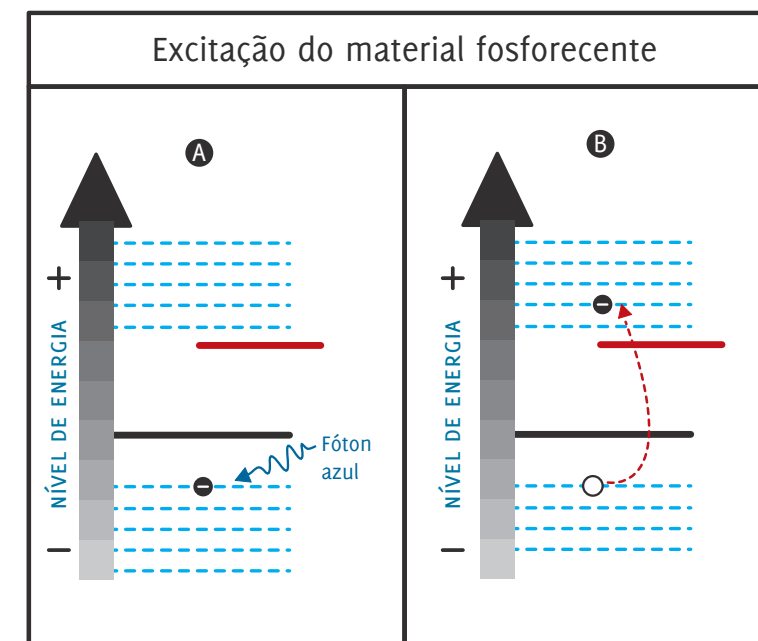


FIG.15

Na FIG. 16, apresentamos um processo comum e altamente provável em materiais fosforescentes. O lado esquerdo dessa figura (FIG. 16-a) representa o momento no qual o elétron libera parte de sua energia de excitação e cai em um nível de energia que não lhe permite voltar aos níveis mais baixos (ver símbolo “transição proibida”). Nesse caso, dizemos, metaforicamente, que o elétron caiu em uma “armadilha”.

Em muitos materiais fosforescentes, quando o elétron cai na armadilha, não há a emissão de “pacotes de luz” (fótons), mas de “pacotes” de energia mecânica de vibração (fônons). Para sair da “armadilha”, o elétron precisa voltar aos níveis de energia permitida mais elevados. A FIG. 16-b mostra que isso só acontecerá caso o elétron absorva a energia necessária para voltar. É essa a razão pela qual a fosfores-

cência é um fenômeno que depende da temperatura. Assim, quanto menor a temperatura, menor é a probabilidade de o elétron absorver a energia que precisa para sair da “armadilha”.

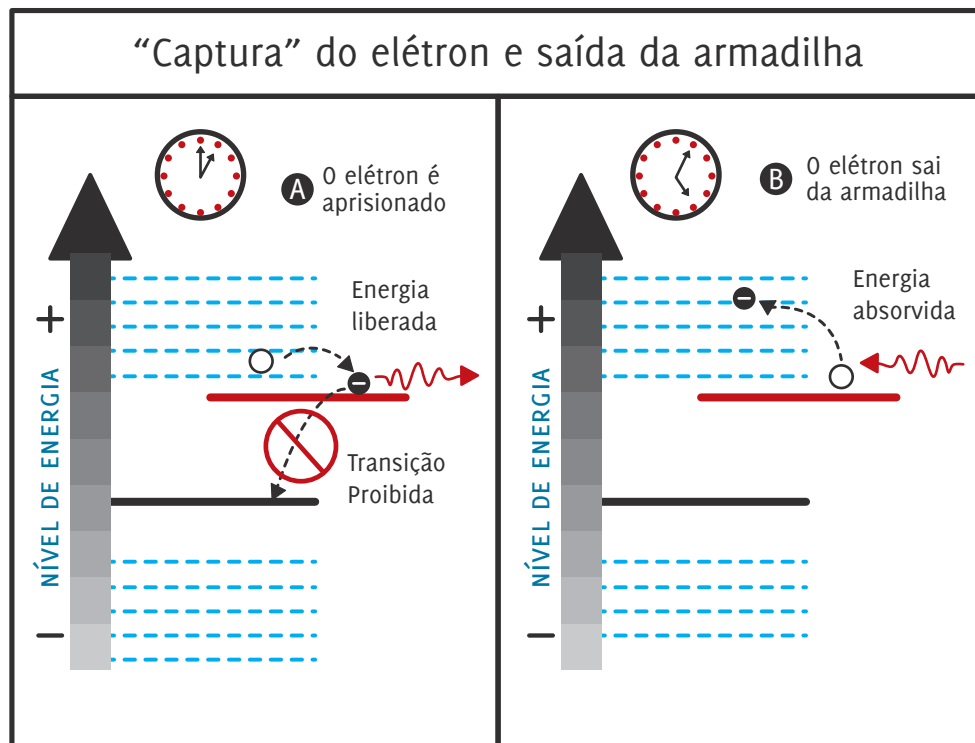


FIG.16

Os ícones que representam um relógio nas FIG. 16-a e 16-b indicam que, ao cair na armadilha, todo elétron demora algum tempo para sair, mesmo que a temperatura do material seja adequada. Em outras palavras, existe um tempo considerável entre o momento em que o elétron é “capturado na armadilha” e o momento no qual ele finalmente “sai da armadilha”.

Para entender a importância desse intervalo de tempo no fenômeno da fosforescência, vamos analisar as FIG. 17-a e 17-b apresentadas a seguir. Na FIG 17-a mostramos que, imediatamente depois de “sair da armadilha”, o elétron dá um “salto” para um nível de energia intermediário e libera um fóton de luz característica dessa transição. Na FIG. 17-b mostramos que o elétron não permanece nesse nível intermediário, “saltando” novamente para os níveis de energia mais baixos e emitindo um fóton de luz infravermelha, que não é visível aos olhos humanos.

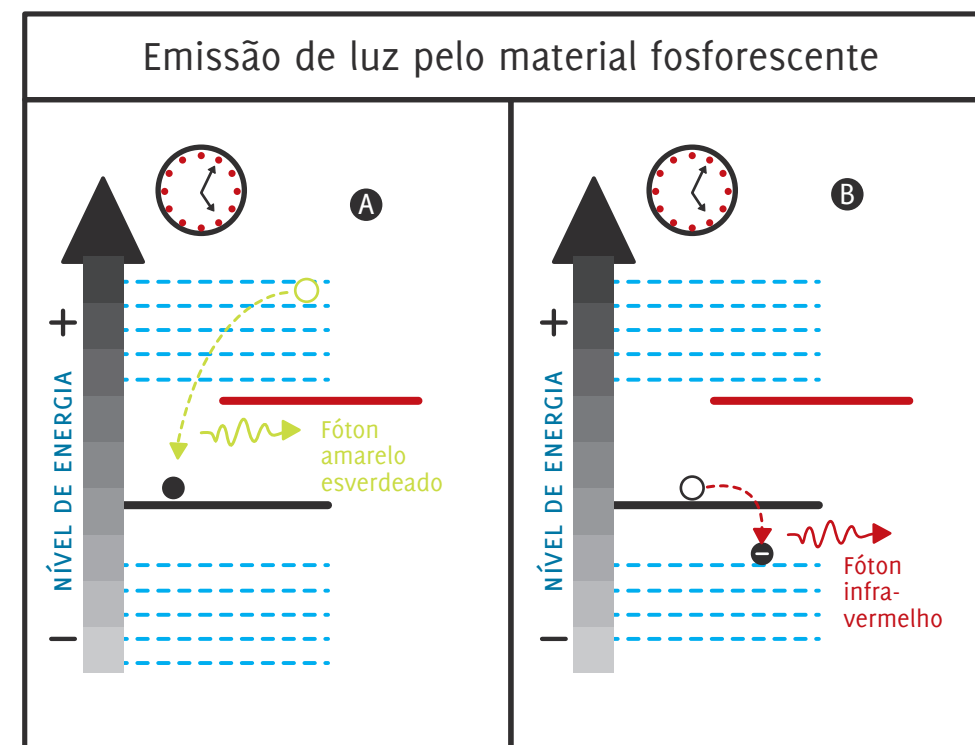
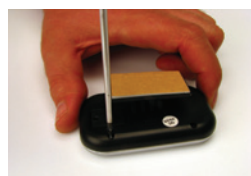


FIG.17

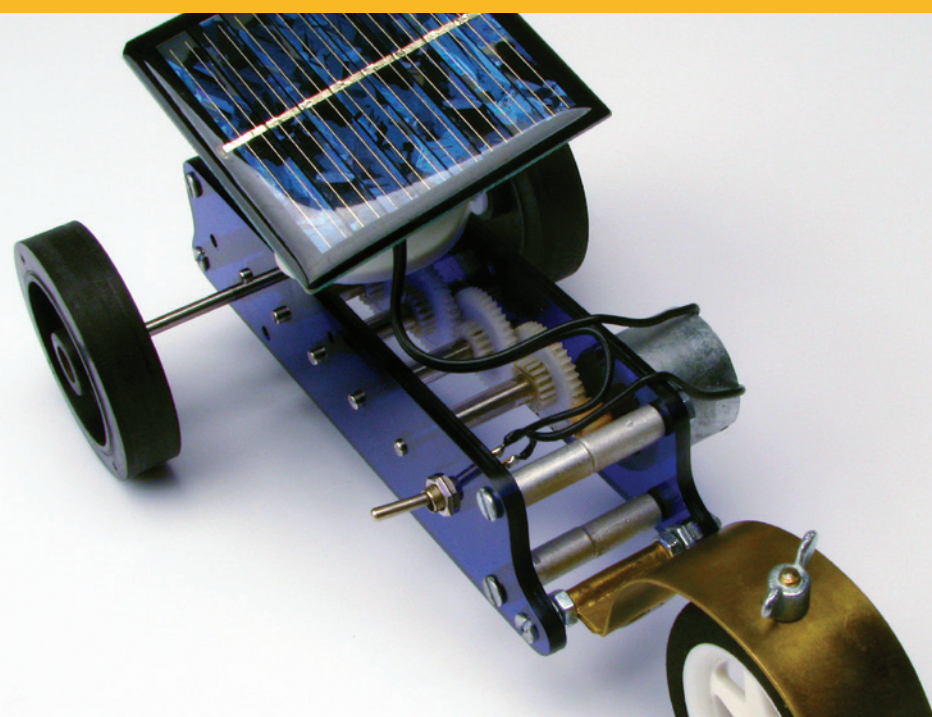
Note que os ponteiros do relógio que aparecem nessas duas figuras estão na mesma posição que estavam na FIG. 16-b. Isso significa que é muito pequeno o intervalo de tempo existente entre o momento no qual o elétron sai da armadilha (FIG. 16-b) e os momentos nos quais ele emite um fóton de luz visível (FIG. 17-a) e um fóton de infravermelho (FIG. 17-b).

O tempo que separa o momento da excitação dos elétrons ilustrado na FIG.15 do momento ilustrado na FIG. 16-b, no qual o elétron sai da “armadilha”, caracteriza o fenômeno da fosforescência. O processo ilustrado na FIG. 15 ocorre enquanto o material fosforescente é exposto à luz ambiente. Os processos ilustrados nas FIGs. 16-b, 17-a e 17-b, que também ocorrem durante a iluminação do material fosforescente, continuam ocorrendo algum tempo depois, quando o ambiente no qual o material se encontra já está escuro. No conjunto, os processos ilustrados nas FIG. 15, 16 e 17 nos permitem compreender porque os materiais fosforescentes são capazes de “brilhar no escuro”.



7

O LED E AS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS



Se você realizou o primeiro experimento proposto neste livro, já sabe, com certeza, que um LED emite luz quando é submetido a uma tensão, ou voltagem, adequada. Esse comportamento não é surpreendente, pois, como você também já sabe, LED é a sigla, em inglês, da expressão Diodo Emissor de Luz.

Contudo, será que você também sabe que um LED adequadamente iluminado pode substituir a bateria de um relógio digital, fazendo-o funcionar normalmente? E, também, que um LED é estruturalmente idêntico a uma célula fotovoltaica usada na conversão de energia luminosa em energia elétrica?

Nesta atividade, você vai explorar e começar a compreender essas curiosas características do LED.

PALAVRAS-CHAVE

Fontes de tensão elétrica. Célula fotovoltaica. Conversão de energia luminosa em energia elétrica.

VOCÊ VAI PRECISAR DE

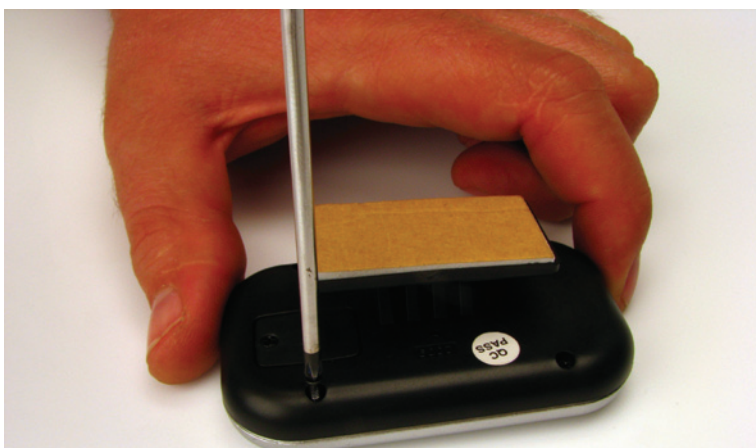
- > 01 relógio digital
- > 01 pilha de 1,5 V
- > 01 LED vermelho com encapsulamento transparente, conhecido no mercado como LED de alto brilho
- > 01 multímetro

PASSO 01

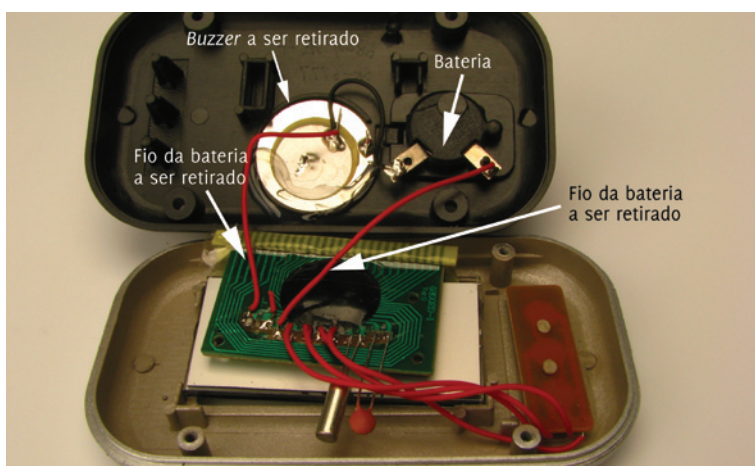
Preparando o relógio digital a ser conectado ao LED

Inicialmente será necessário preparar o relógio digital para funcionar com a energia fornecida por um LED. Estas instruções e figuras o(a) ajudarão a fazer isso:

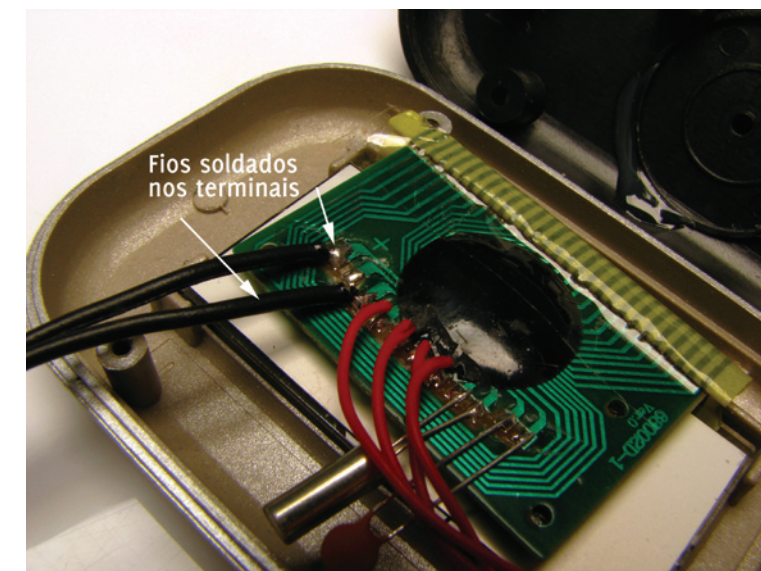
a) Abra o relógio, utilizando uma chave Philips pequena.



b) Em seguida, utilize um ferro de solda para retirar os fios dos contatos da bateria. Alguns relógios possuem um *buzzer* interno – ou seja, uma pastilha piezoelétrica, que funciona como alto-falante para o despertador –, como na foto. Nesse caso, é necessário retirar, também, esse *buzzer*.



c) Solde as extremidades do pedaço de fio duplo nos locais onde estavam ligados os fios dos terminais da bateria do relógio.



d) Para verificar se as ligações feitas estão corretas, conecte os pólos de uma pilha de 1,5 V nas outras extremidades do fio duplo e, então, observe se o relógio funciona corretamente.



e) Se o relógio não estiver funcionando, inverta os polos da pilha e observe novamente. Se ainda assim não estiver funcionando, verifique se conectou o fio duplo aos terminais corretos.

f) Após verificar o funcionamento do relógio, feche-o, deixando o fio duplo para fora. Então, o relógio está pronto para ser conectado ao LED.

PASSO 02

Transformando um LED em uma bateria de relógio digital

Para tanto, siga estas orientações:

a) Conecte os terminais do LED ao fio duplo.



Atenção: antes de testar o funcionamento do relógio acionado pelo LED iluminado, enrole os fios do relógio ao redor dos terminais do LED. Não use as mãos para manter os fios do relógio conectados aos terminais do LED, pois isso impede o funcionamento do relógio.

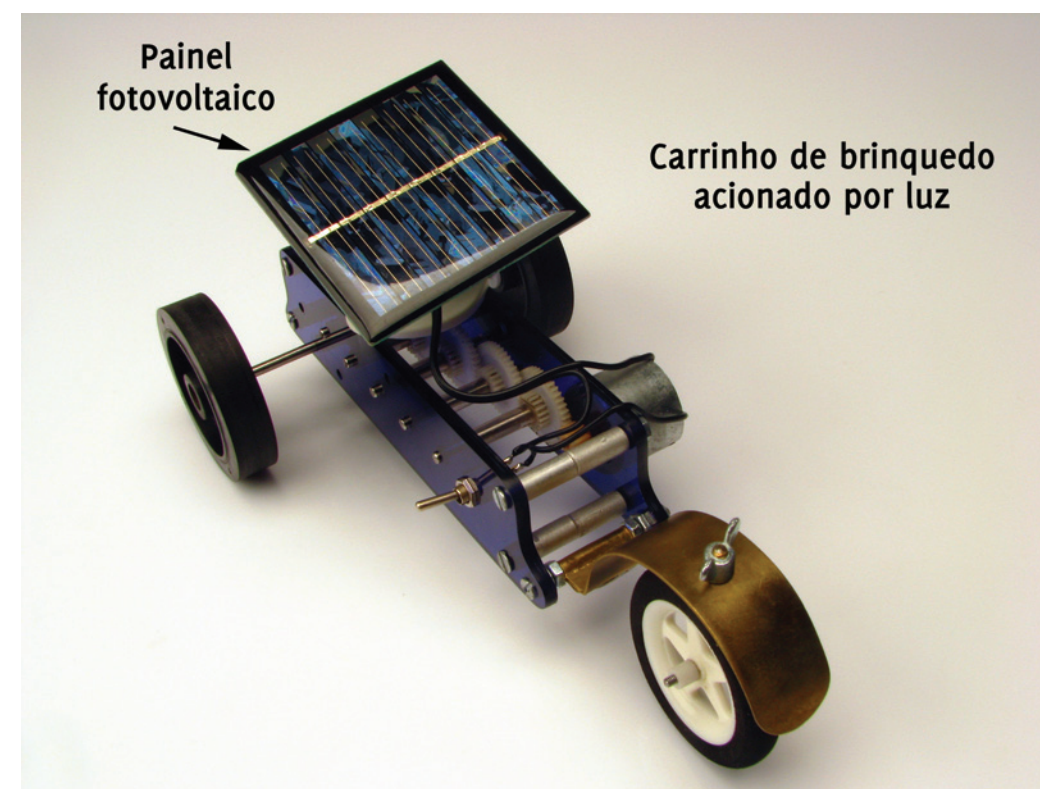
b) Em seguida, ilumine intensamente o LED, usando uma lâmpada incandescente de 100 W, ou uma caneta de *laser*, ou luz solar intensa, e verifique se o relógio funciona. Se não funcionar, inverta a ligação dos terminais do LED ao fio duplo, pois, como você já sabe, o LED possui polaridade. Em seguida, experimente novamente.



PASSO 03

Diferenças e semelhanças entre o LED e os painéis fotovoltaicos

Materiais semicondutores como os utilizados na fabricação de LEDs e diodos são também empregados na fabricação de um painel fotovoltaico, tal como aquele mostrado na figura seguinte.



No Passo 2 desta atividade, você usou um LED, porque esse dispositivo é muito mais acessível que um painel fotovoltaico.

Uma das diferenças entre um LED e um painel consiste no fato de que o cristal usado na fabricação de um LED é milimétrico e, portanto, a área disponível para captação de luz chega a ser dezenas de milhões de vezes menor que a de um painel fotovoltaico comercial.

Na FIG. 8, apresenta-se a estrutura interna de um LED, em que se localiza o pequeno cristal semicondutor de onde provém a luz do LED, ou em que a luz proveniente do ambiente pode incidir para transformar o LED em uma pequena bateria solar.

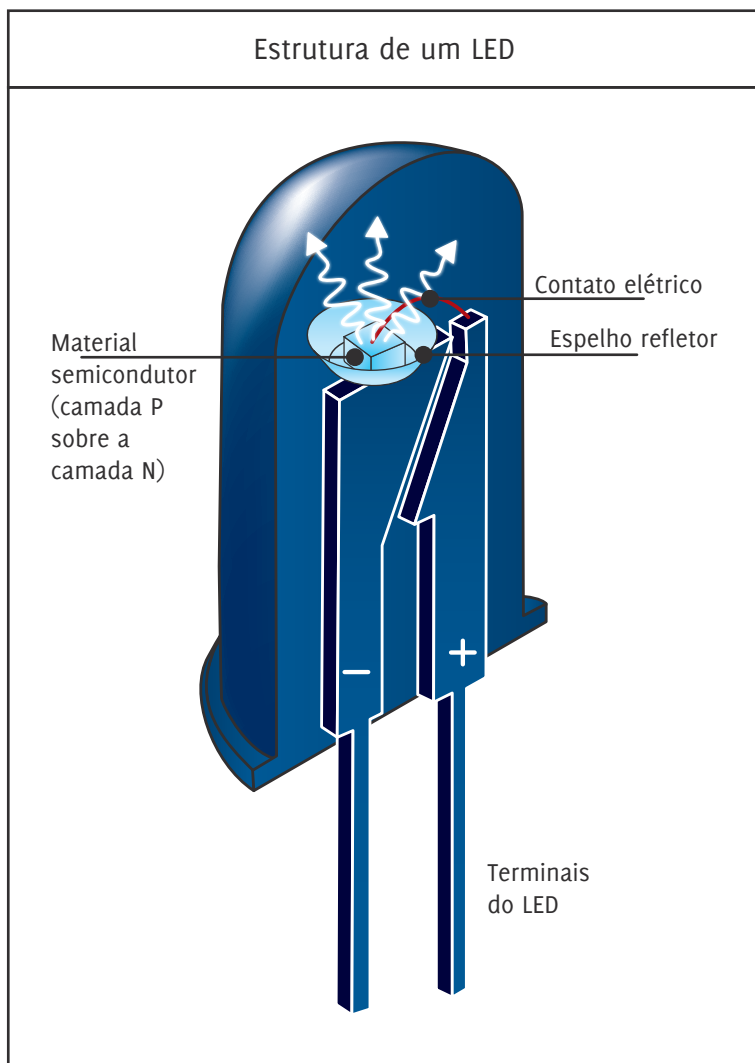


FIG.08

PASSO 04

Relação entre a intensidade de luz e a tensão fotovoltaica

Como a intensidade da luz interfere na tensão elétrica, ou voltagem, produzida por um LED iluminado?

Para investigar essa questão, realize estas ações:

- a) Ligue os terminais do LED usado na atividade anterior aos terminais de um multímetro configurado para medir tensão elétrica direta (voltagem em DC). Ajuste a chave seletora para o fundo de escala

de 2 Volts e teste se sua configuração ficou adequada ligando os cabos do voltímetro aos pólos de uma pilha de 1,5 Volts. Se a ligação estiver correta, um valor próximo a esse deverá ser exibido na tela do aparelho.

b) Após ter se certificado da correta ligação do multímetro como voltímetro, conecte os terminais do LED nos cabos do aparelho medidor. Então, use uma lâmpada incandescente para iluminar o LED.



c) Verifique qual é a tensão máxima que o LED gera nessas circunstâncias. Depois disso, desligue a lâmpada e experimente variar a intensidade de luz ambiente que atinge o cristal semicondutor do LED.

O QUE ACONTECE?

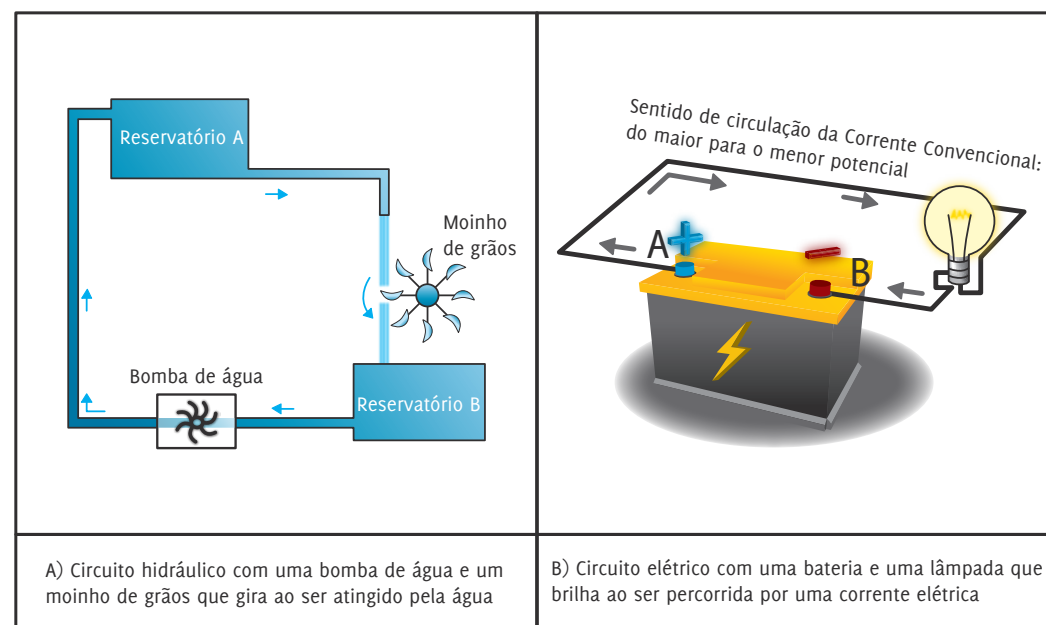
Os diodos, assim como os LEDs, são formados por dois materiais semicondutores modificados – um deles, denominado semicondutor do tipo P, é eletricamente positivo; o outro, conhecido semicondutor do tipo N, é eletricamente negativo.

A união de um semicondutor do tipo P com um semicondutor do tipo N dá origem à chamada junção PN. Na Parte II deste livro, apresentam-se ilustrações e explicações sobre a construção, as características e o funcionamento desse tipo de junção.

Como veremos oportunamente, o LED e o painel fotovoltaico são duas das muitas aplicações tecnológicas da junção PN e, por essa razão, ambos os dispositivos são estruturalmente similares. É essa semelhança estrutural que permite a um LED iluminado gerar tensão e manter funcionando um relógio digital.

Em um circuito elétrico, a função de uma bateria, ou de outra fonte de tensão qualquer, pode ser comparada à função exercida,

FIG.11



em um circuito hidráulico, por uma bomba de água, como mostrado na FIG. 11. Num circuito hidráulico, essa bomba mantém a água em movimento, porque a desloca, continuamente, a partir de um potencial gravitacional mais baixo – reservatório A – até um potencial mais elevado – reservatório B.

Essa função é similar à função de uma fonte de tensão em um circuito elétrico, já que as fontes de tensão também deslocam, continuamente, as cargas elétricas móveis presentes nesse circuito, desde um potencial elétrico mais baixo – ponto A do circuito da FIG.11-b –, até um potencial elétrico mais alto – ponto B desse mesmo circuito.

Em uma bateria eletroquímica, como a que foi retirada do relógio digital, antes de conectá-lo ao LED, são químicas as reações responsáveis por “bombear” os elétrons entre os pontos de menor e de maior potencial. Sem esse “bombeamento”, não poderia ser mantida a circulação de cargas elétricas no interior do circuito.

No caso de um LED iluminado ligado a um relógio digital, é a luz que “bombeia” as cargas elétricas entre os dois terminais do LED ligados ao relógio. Com isso, ela mantém o semicondutor do tipo P na condição de receptor de elétrons do circuito do relógio, bem como o semicondutor do tipo N na condição de doador de elétrons para o mesmo circuito.

Como já se disse, conceitos, modelos e teorias que ajudam a compreender como a luz interage com os elétrons existentes nos materiais que constituem o LED são apresentados na Parte II deste livro.