

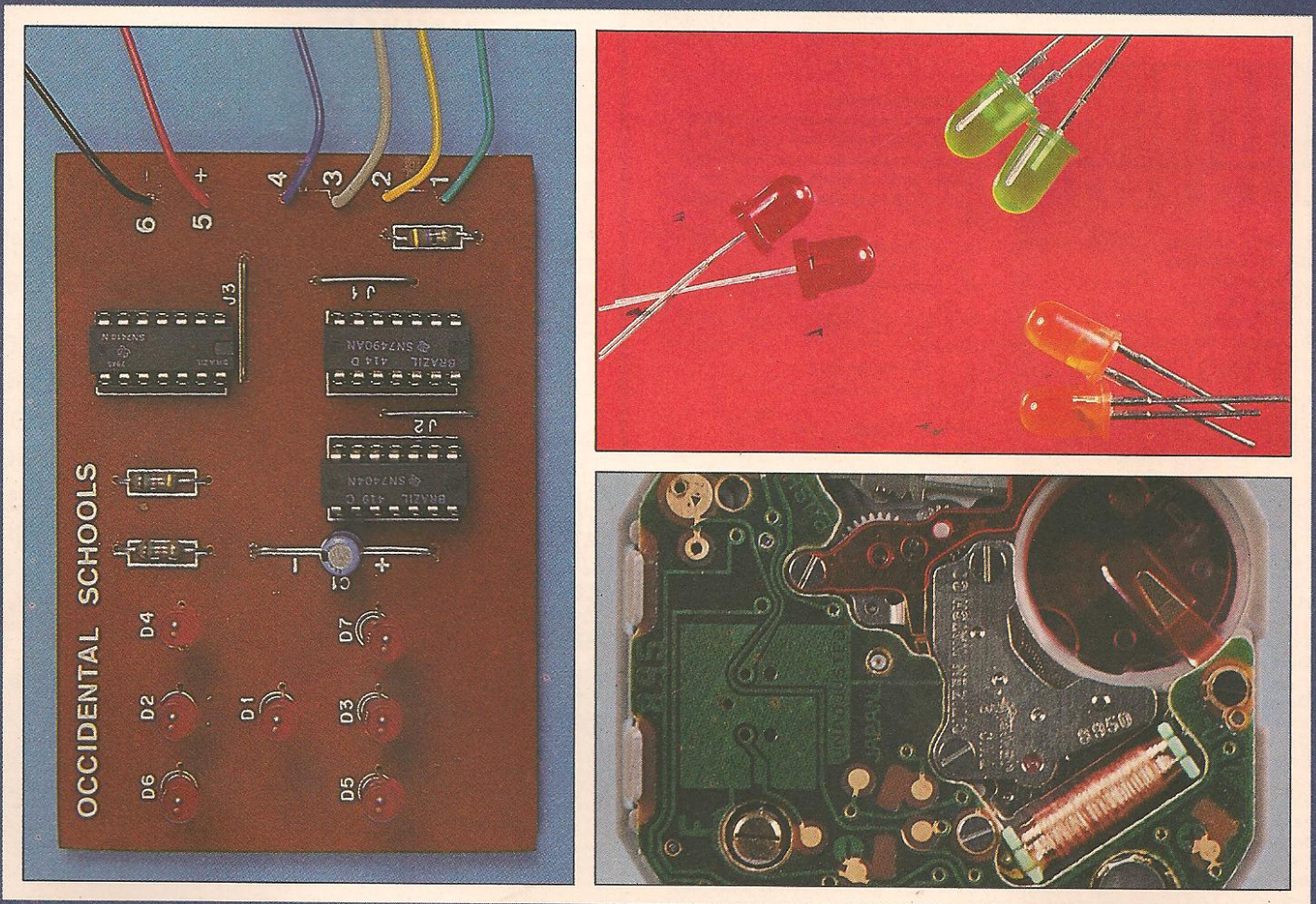
# ELETRÔNICA

15

PASSO A PASSO

Cr\$ 2.550

Abril Cultural



COMPONENTES  
**COMPONENTES OPTOELETRÔNICOS**  
**RADIADOR DE CALOR**  
MONTAGEM  
**DADO ELETRÔNICO**  
INSTRUMENTAÇÃO  
**RELÓGIOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS**



Promoção válida somente no território brasileiro

# COMPONENTES OPTOELETRÔNICOS

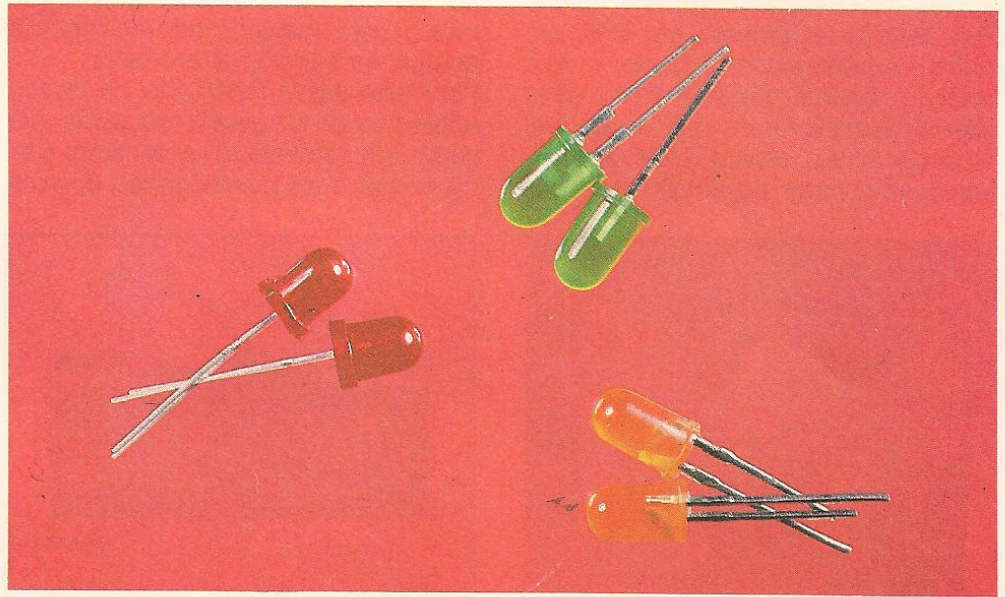
Na extensa categoria dos componentes optoeletrônicos, existem diversos dispositivos cujo funcionamento se baseia na emissão de radiações luminosas, como a luz visível, a ultravioleta e a infravermelha. Você vai conhecê-los agora.

Na categoria dos componentes optoeletrônicos incluem-se todos os elementos ou dispositivos semicondutores capazes de produzir uma radiação luminosa compreendida no espectro visível dos seres humanos, ou mesmo fora dele (infravermelho e ultravioleta). São também incluídos nessa categoria os componentes fotossensíveis que funcionam por efeito da luz, além de outros que podem ser empregados como mostradores gráficos (**displays**), cuja estrutura e princípio de funcionamento estão baseados numa técnica semelhante àquela empregada para as válvulas e para os tubos a vácuo.

Têm sido considerados como optoeletrônicos até mesmo alguns dispositivos que, embora não apresentem tais propriedades nem sejam semicondutores, têm uma aplicação muito semelhante à desses componentes. É o caso, por exemplo, dos **cristais líquidos**, que se acham atualmente em fase de desenvolvimento devido aos avanços tecnológicos que vêm ocorrendo nessa área. A categoria dos optoeletrônicos compreende, portanto, os seguintes componentes:

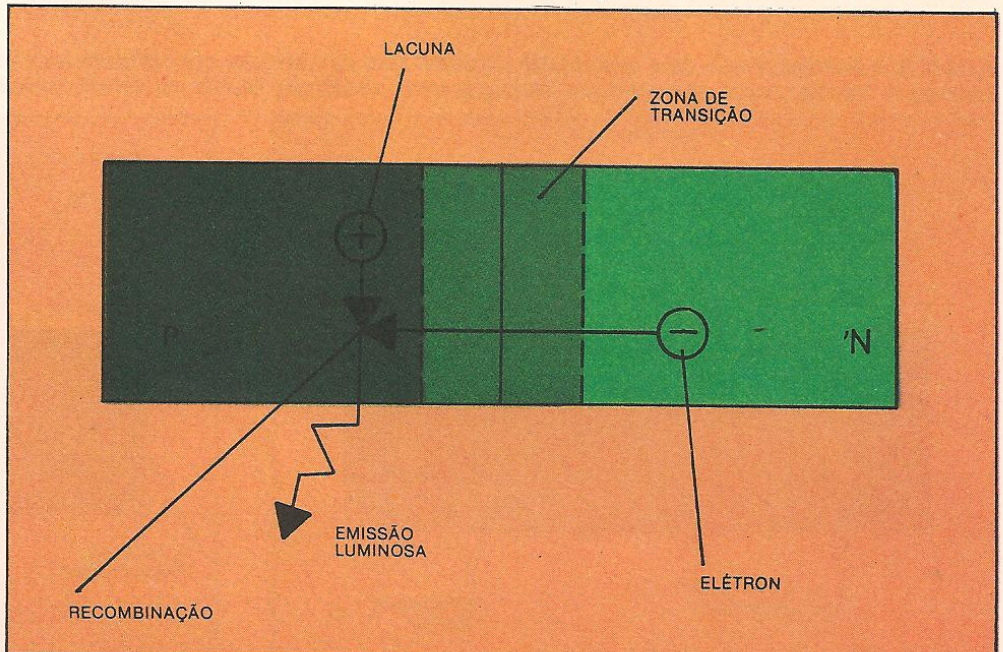
- Diodos emissores de luz ou LED
- Fotodiodos
- Mostradores alfanuméricos e gráficos luminescentes
- Acopladores ópticos
- Fototransistores
- Mostradores alfanuméricos ou gráficos de cristal líquido
- Mostradores alfanuméricos ou gráficos fluorescentes.

O funcionamento dos diodos emissores de luz, ou LED (do inglês **Light Emitting Diode**), tem por base a emissão de radiação luminosa por parte de um dispositivo em estado sólido, quando submetido a uma determinada pola-



ACIMA: modelos de LED de cores diversas.

ABAIXO: a emissão é produzida pela recombinação de uma lacuna e um elétron.



## COMPONENTES

rização elétrica. Excluem-se aqui os efeitos comuns de emissão de luz resultantes da aplicação de temperaturas elevadas (filamento de uma lâmpada de iluminação doméstica).

Uma forma de radiação luminosa por parte de um sólido é a que se produz na tela de um tubo de raios catódicos, quando a camada de fósforo que a recobre é bombardeada pelos elétrons que compõem o fluxo de raios.

O efeito que vamos analisar, porém, é a eletroluminescência de uma junção P-N, com muitas características semelhantes às de um diodo convencional. Esse fenômeno foi observado no ano de 1923 por Lossev, no decorrer de algumas experiências com uma junção P-N. Mais recentemente, em 1962, estudos e experimentos realizados com o material denominado arseneto de gálio (GaAs) demonstraram que é possível alcançar níveis elevados de emissão luminosa a partir da junção P-N. De-

pois disso, tentou-se obter um diodo luminescente por meio de um processo de fabricação que permitisse atingir uma produção elevada com custos mínimos. Chegou-se, então, a uma rápida difusão do produto.

No interior de uma junção P-N, o efeito físico da emissão de luz tem origem no instante em que se produz a **recombinação** entre uma **lacuna** e um **elétron**. Essa recombinação já foi estudada num capítulo anterior, quando se abordou o funcionamento dos diodos e do transistor. Às vezes, esse efeito pode ser acompanhado da emissão de radiação eletromagnética, resultante da energia liberada durante o fenômeno. No caso dos semicondutores comuns, essa radiação não ocorre e a energia se transforma em calor.

Por efeito desse fenômeno, os diodos emissores de luz geram radiações que se situam geralmente no espectro visível ou nas suas proximidades, como é

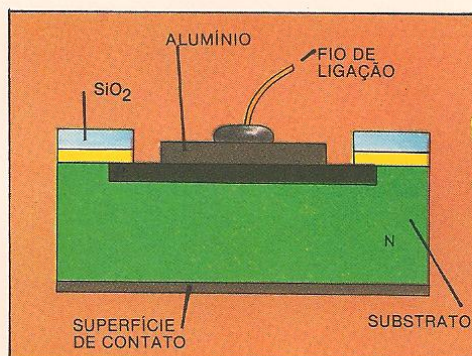
o caso das radiações infravermelhas. A frequência da radiação está diretamente relacionada com os materiais empregados na junção P-N, os quais permitem obter cores diversas, de acordo com a sua composição.

A eficiência da radiação luminosa, por sua vez, depende fundamentalmente da corrente que atravessa o LED, como também da área, da geometria da **junção semicondutora** e das dimensões do contato elétrico.

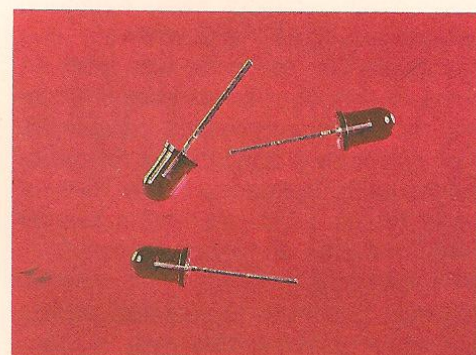
Também a transparência ou a opacidade do substrato são fatores que influem na eficiência. Quando se emprega o arseneto de gálio (GaAs), obtém-se um substrato opaco que absorve grande parte da radiação, de modo que só a radiação emitida dentro de um certo ângulo chega ao exterior. Ao contrário, empregando-se o fosfito de gálio (GaP), o substrato é mais transparente. Com isso, tem-se uma base refletora que possibilita a emissão de uma parcela



ACIMA: interior de um LED.

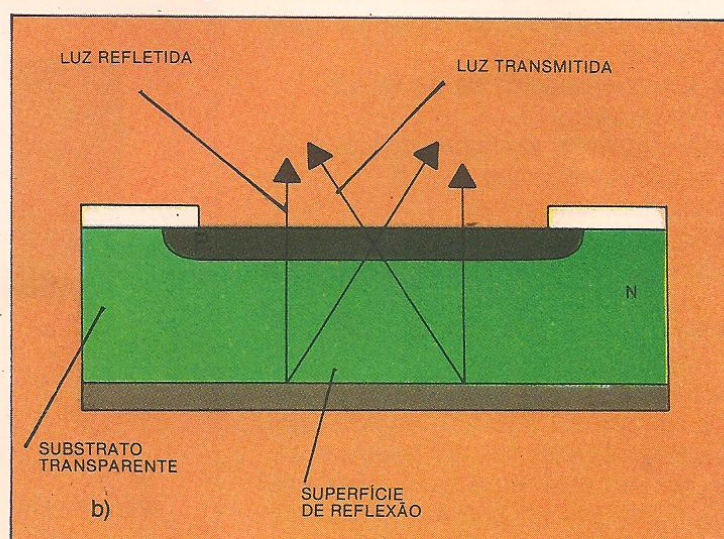
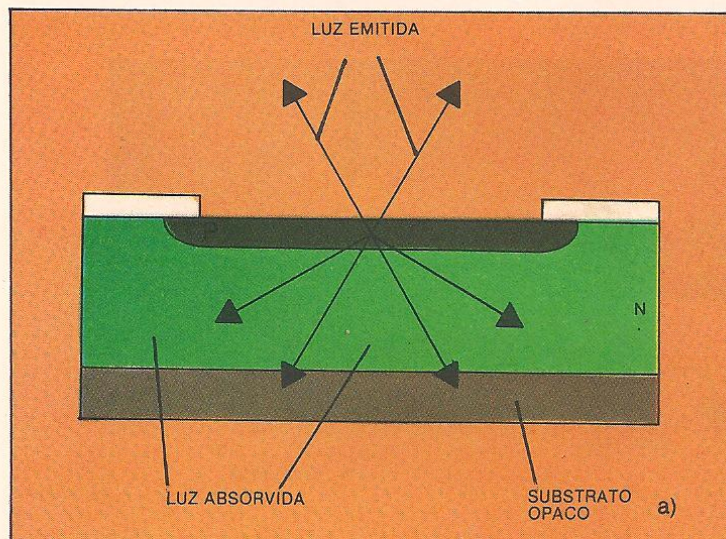


ACIMA: estrutura interna de um LED.



ACIMA: LED de radiação infravermelha.

**ABAIXO: a transparência ou a opacidade do substrato são fatores que influem na eficiência de radiação: a) substrato opaco; b) substrato transparente, que permite alcançar uma eficiência muito maior em relação ao modelo anterior.**



da radiação que se perde em outros componentes, aumentando, então, sua eficiência.

No primeiro caso, obtém-se um rendimento da ordem de 15%, o que significa uma perda de 85% da radiação luminosa produzida na junção; no segundo caso, é possível obter-se uma eficiência muito mais elevada, da ordem de 76%.

A maior parte das aplicações dos LED se refere à produção de pequenas lâmpadas, nas quais o semicondutor é encapsulado num invólucro de plástico transparente, situado numa região imediatamente acima da junção P-N.

Os parâmetros que caracterizam o funcionamento de um LED, e servem de base para a escolha do modelo mais adequado a uma dada aplicação, são os seguintes:

- Eficiência
- Cor
- Diretividade
- Tensão direta
- Corrente inversa
- Dispersão de potência.

**Eficiência** é a relação entre a intensidade luminosa emitida, medida em unidades denominadas milicandelas (mcd), e a corrente elétrica em mA produzida pela mesma radiação, que é representada pelo símbolo  $I_v$ . Os valores normais oscilam de 0,5 e 2 mcd a 20 mA. Os valores de **alta eficiência** podem chegar a 20 mcd e a 10 mA, aproximadamente.

A **cor** depende da frequência da radiação. As cores padronizadas pela maioria dos fabricantes são vermelho, verde e amarelo-alaranjado. Nos LED infravermelhos, a radiação não é visível e, portanto, esse fator não existe.

A **diretividade** é definida pelo ângulo máximo de observação da luz emitida por um determinado LED em relação ao seu eixo geométrico. Esse parâmetro depende da forma do encapsulamento e também da presença, ou não, de uma lente ampliadora dentro dele. Os modelos com maior diretividade possuem um ângulo pequeno e dão a impressão de produzir uma intensidade luminosa mais elevada do que os outros, nos quais a luz é distribuída por uma superfície muito maior.

Cada modelo de LED tem uma curva de diretividade, na qual é representado o nível de intensidade luminosa em função do ângulo de observação. Essa curva é da maior importância na escolha de um determinado modelo.

MATERIAIS	COMPRIENTO DE ONDA NANÔMETROS ( $10^{-9}$ m)	COR
Arseneto de gálio (GaAs)	910	infravermelha
Fosfito de gálio (GaP)	560	verde
Arseneto de gálio (GaAs)	650	vermelha

**Tensão direta ( $V_F$ )** é a diferença de potencial que se produz entre os dois terminais do LED quando este é percorrido pela corrente de excitação; na maior parte dos modelos de LED a tensão está situada na faixa de 1,5 a 2,5 V.

**Corrente inversa ( $I_P$ )** é a corrente máxima a percorrer o LED quando este é polarizado inversamente. Os valores típicos desse parâmetro estão situados em redor de 10  $\mu$ A (microampère). Como acontece com os outros diodos, acima desse limite cria-se o efeito avalanche e o componente se rompe.

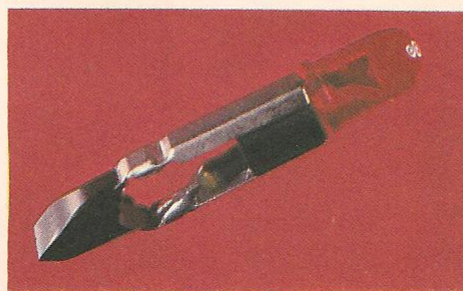
**Dispersão de potência** é a fração de potência que o LED absorve e não transforma em radiação visível, e que se dispersa no ambiente sob a forma de calor. Nas aplicações convencionais dos LED é necessário utilizar um resistor em série com o objetivo de limitar a corrente que circula no próprio LED. Assim, é absorvida a diferença de potencial entre a fonte de alimentação e a tensão direta ( $V_F$ ). O valor de resistência do resistor é calculado com a seguinte fórmula:

$$R = \frac{V_A - V_F}{I_F}$$

onde  $V_A$  é o valor em volt da tensão da fonte,  $V_F$  é a tensão direta e  $I_F$  é a corrente direta que deve circular no LED para se obter a intensidade luminosa desejada.

O formato exterior do LED pode variar, embora existam formas e dimensões padronizadas. Há duas dimensões de base, T-1 3/4 e T-1, sendo que o número após a letra T indica o diâmetro em oitavas de polegada. A lente externa

**ABAIXO: nesta lâmpada foram empregados um LED e um resistor em série.**



pode ter uma forma semi-esférica ou qualquer outra de menor altura. Recentemente, foram desenvolvidos outros tipos de invólucro, como o retangular, correspondente a T-1 3/4.

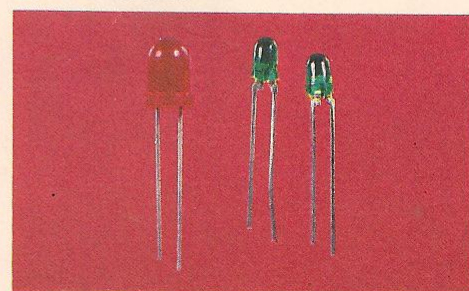
Para se conhecer a polaridade dos terminais basta verificar se o terminal correspondente ao anodo é mais longo que o terminal do catodo. Além disso, a cápsula do LED é ligeiramente achatada na parte próxima ao catodo.

Os **fotodiodos** são componentes semicondutores constituídos por uma junção P-N exposta. Por isso, ela é sensível à luz visível ou infravermelha.

Seu princípio de funcionamento, ao contrário dos LED, se baseia na geração de elétrons e lacunas, resultante da absorção de energia da luz que incide sobre a estrutura semicondutora. Num diodo inversamente polarizado, em consequência da aplicação de uma tensão externa, forma-se uma **zona de carga espacial** maior. Esta será desprovida de portadores móveis de carga nas regiões em redor da junção metálica entre as partes **P** e **N**. É nessa área que a maior parte da tensão externa é aplicada, justamente por ser a de maior resistência do componente.

Se uma radiação luminosa for aplicada, pares elétrons-lacunas serão gerados na região P, na zona de carga espacial e na região N. Nas regiões N e P, se estiverem próximos das lacunas, os elétrons se recombinam, pois não ocorre uma tensão elétrica que os afaste uns dos outros. Por isso, esses portadores não contribuem de forma significativa para a corrente elétrica. Por outro lado, os portadores de cargas elétricas produzidas na zona de carga

**ABAIXO: dois tipos de LED, de dimensões diversas.**



## COMPONENTES

espacial — sob a forma de elétrons e lacunas — separam-se rapidamente, forçados pela tensão aplicada. Assim, as lacunas se dirigem para a região P e os elétrons para a região N, dando origem a uma circulação de corrente elétrica. Esse fenômeno é tanto mais relevante quanto maior for a zona de carga espacial.

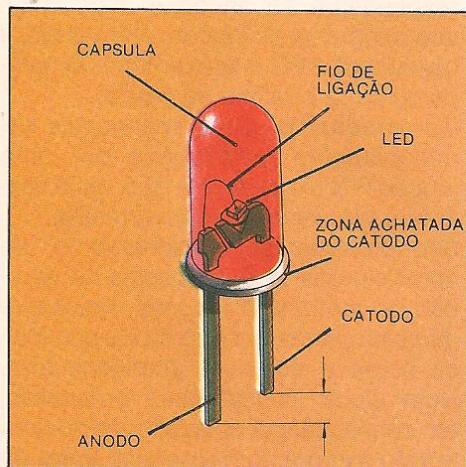
Na operação de componentes fotosensíveis procura-se criar uma zona de carga espacial extensa. Para isso, interpõe-se entre as regiões N e P uma terceira região semicondutora pouco

dopada ou no estado intrínseco I, formando assim um diodo P-I-N. A estrutura física de um fotodiodo apresenta uma constituição vertical: a região N é a inferior; sobre esta acha-se a região I; e, na parte superior, a P. Sendo assim, a luz atinge inicialmente esta última, para depois chegar à região ativa.

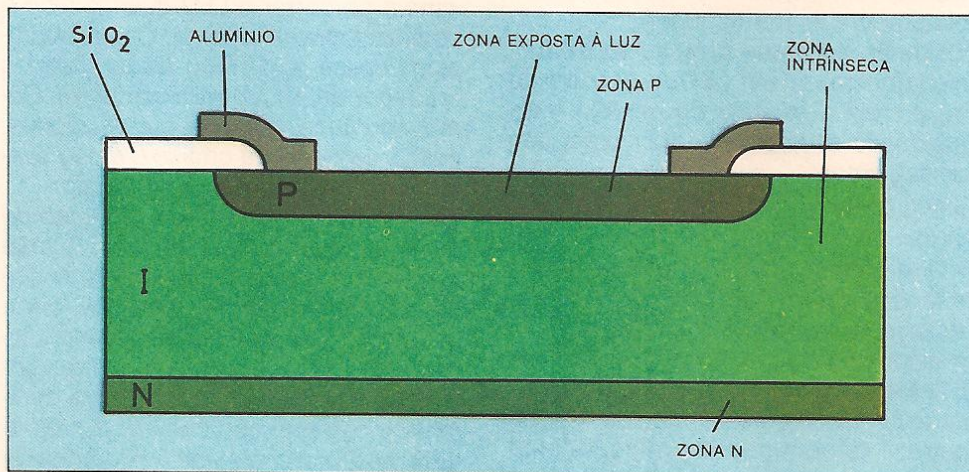
A aplicação desses componentes nos circuitos é feita de modo que, ao serem ligados, eles se polarizam inversamente, produzindo uma certa circulação de corrente quando excitados por radiação luminosa.

Uma característica muito peculiar das junções semicondutoras é a sua capacidade de atuar também como **célula fotovoltaica**. Isso significa que, na ausência de uma tensão externa, as junções semicondutoras são capazes de gerar uma pequena diferença de potencial com o positivo no anodo e o negativo no catodo, funcionando, assim, como geradores de tensão elétrica a partir da luz.

Os **mostradores** alfanuméricos ou gráficos (displays) são componentes que têm por função principal a indica-

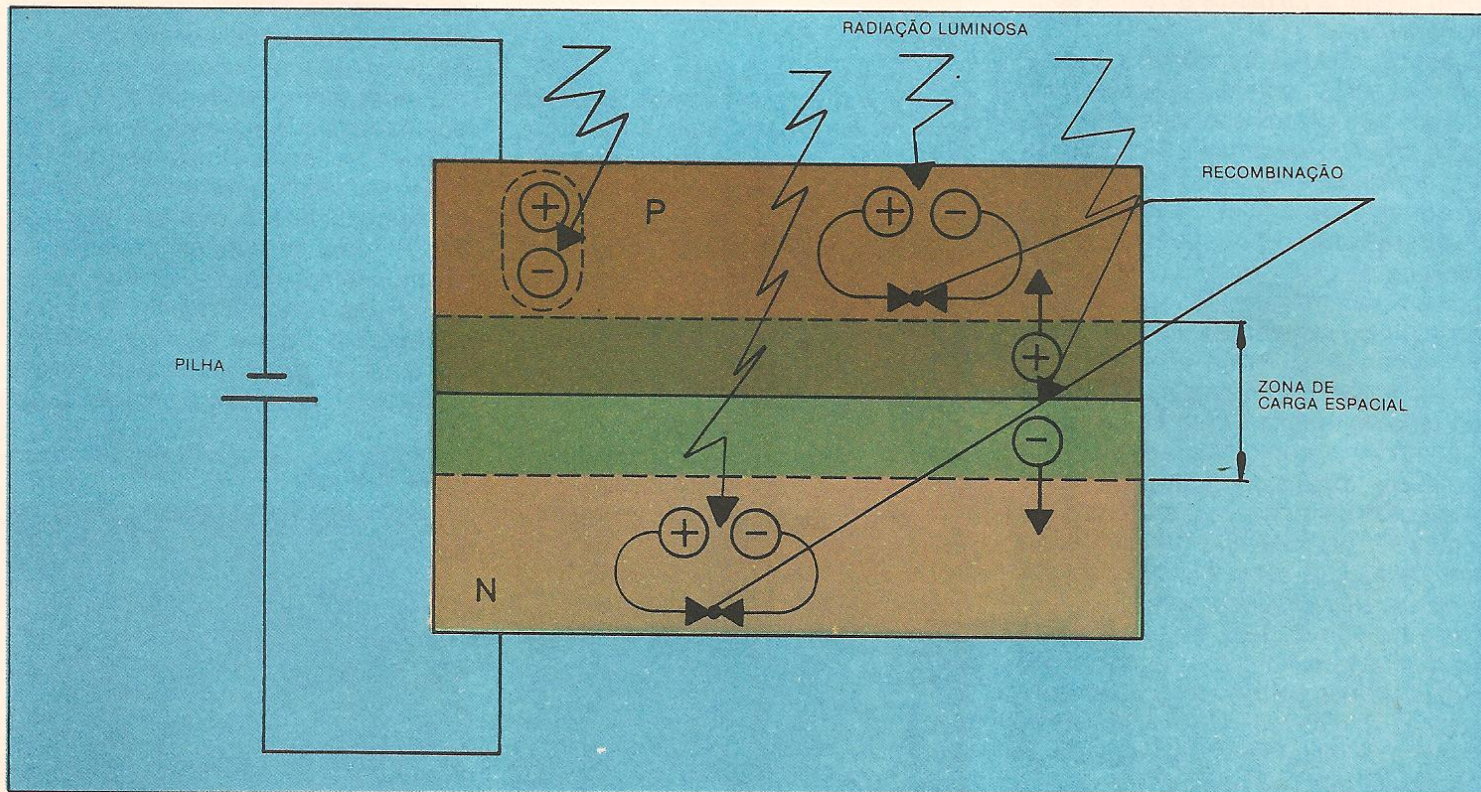


ACIMA: estrutura interna de um indicador luminoso LED.



ACIMA: estrutura interna de um fotodiodo, com as regiões P, I e N claramente evidenciadas.

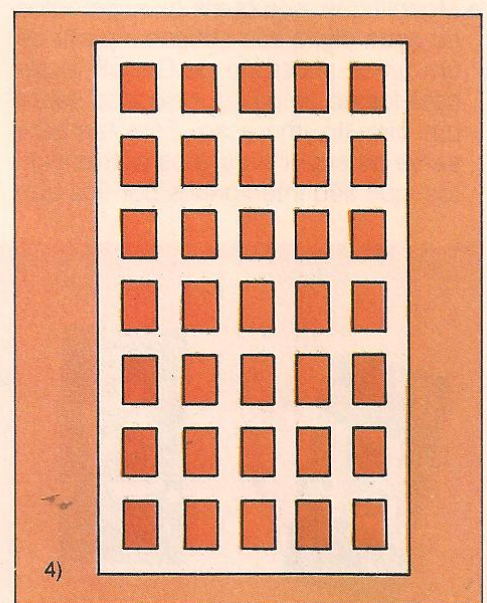
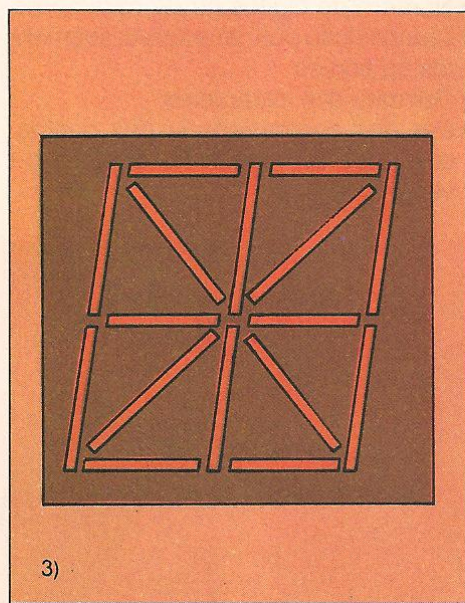
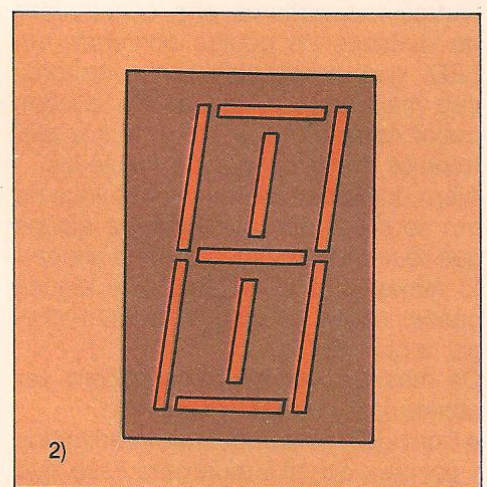
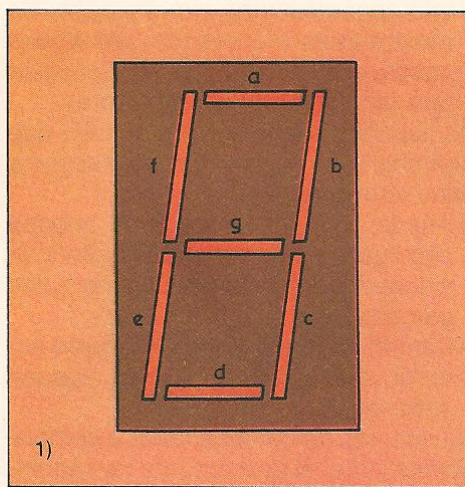
ABAIXO: corte de um fotodiodo em que se observa o efeito da radiação luminosa.



ção de números, letras ou símbolos (alfanuméricos) ou mesmo as representações gráficas (mostrador gráfico). Esses componentes têm a finalidade de estabelecer rapidamente a comunicação entre o homem e a máquina.

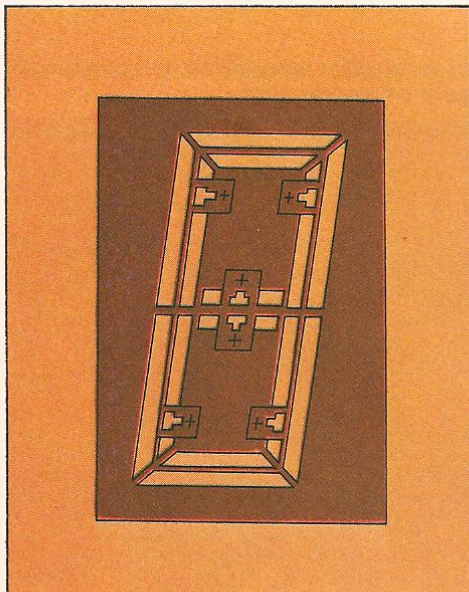
A fabricação dos mostradores está subordinada a tecnologias diversas. Uma das mais comuns é baseada no emprego de LED, embora se verifique atualmente um grande desenvolvimento dos dispositivos a cristal líquido (LCD), que tendem a substituir os LED, da mesma maneira como eles substituíram anteriormente os mostradores de descarga gasosa.

Os mostradores LED têm diferentes tipos e formatos. Um dos mais difundidos é o de sete segmentos, constituído por um grupo de linhas retas, cada uma correspondente a um LED; os segmentos estão dispostos numa configuração geométrica semelhante a um 8 e são indicados com as letras **a, b, c, d, e, f, g**. Esse tipo de mostrador permite reproduzir todos os números, mas apresenta limitações quanto às letras do alfabeto. Há também os de circuitos integrados que transformam um sinal do código binário decimal num impulso capaz de acender os segmentos. Uma versão aperfeiçoada desse modelo é o mostrador de nove segmentos, com maior capacidade de representação alfabética, e o modelo de dezesseis segmentos, que pode reproduzir todos os caracteres alfanuméricos.

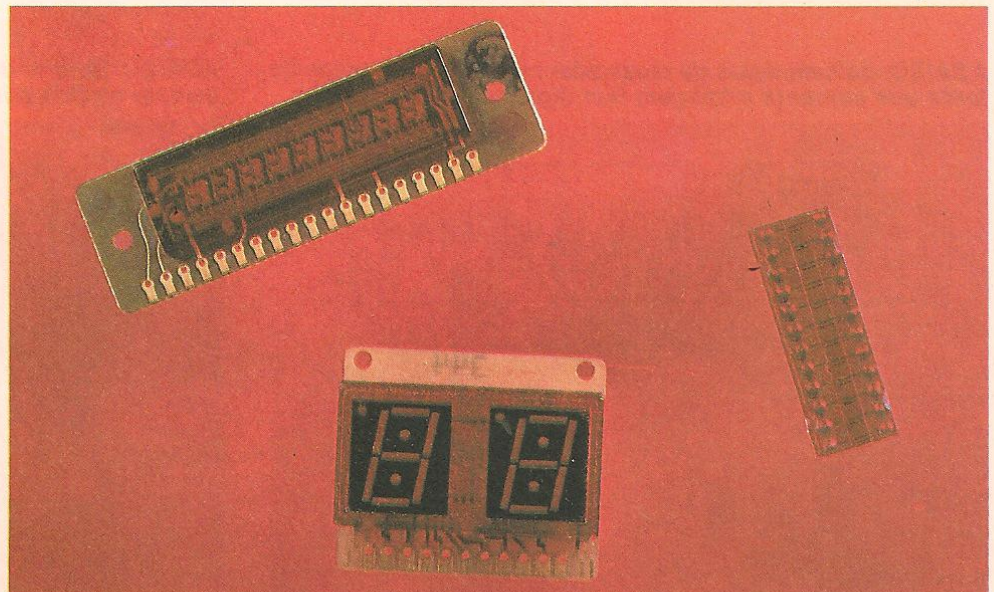


ACIMA: as ilustrações mostram alguns tipos de dígitos: 1) de 7 segmentos; 2) de 9 segmentos; 3) de 16 segmentos; 4) matriz de 5 x 7 pontos.

**ABAIXO: estrutura de um dígito num mostrador monolítico.**



**ABAIXO: mostradores de vários dígitos, montados sobre um circuito de suporte.**



Outros mostradores são constituídos de matrizes de pontos contendo um LED, que possibilitam uma reprodução mais ampla. Apresentam, porém, maior complexidade nos circuitos eletrônicos encarregados de excitá-los.

Além dos mostradores constituídos de um só dígito ou caractere, há alguns que reúnem num único suporte um certo número de caracteres. Em alguns casos, esses caracteres podem chegar a quinze.

Os mostradores múltiplos podem ser constituídos de duas maneiras:

- Com LED independentes, interligados por meio de um circuito impresso, que atua como suporte da estrutura.
- Monolíticos, nos quais os segmentos de cada dígito são obtidos a partir de um único substrato de GaAsP (arseneto-fosfito de gálio), colocado sobre um circuito impresso. Este também serve de suporte para os outros dígitos, que são interligados por fios que

vão conectá-los ao circuito base. Os mostradores monolíticos, em alguns casos, incorporam uma lente plástica que faz aumentar os caracteres.

As ligações internas entre os LED que compõem os segmentos obedecem a duas configurações:

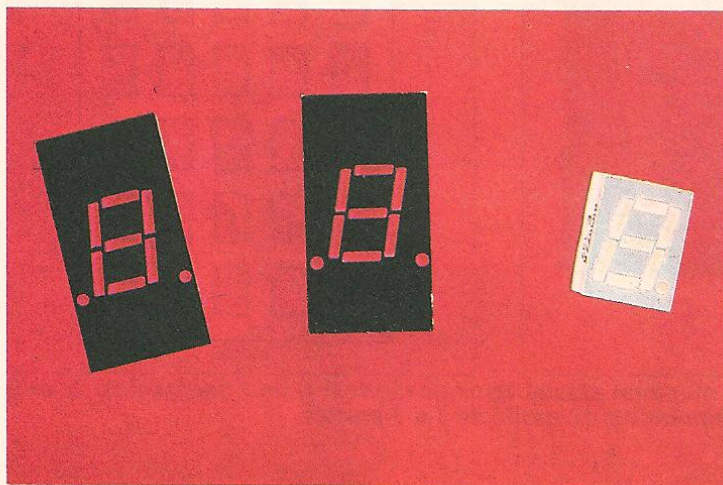
- Anodo comum — todos os anodos são ligados entre si, e a ligação individual pode ser obtida por meio dos catodos.
- Catodo comum — semelhante ao anterior, mas com os catodos ligados entre si.

Na escolha de um mostrador é sempre conveniente levar em conta as seguintes características:

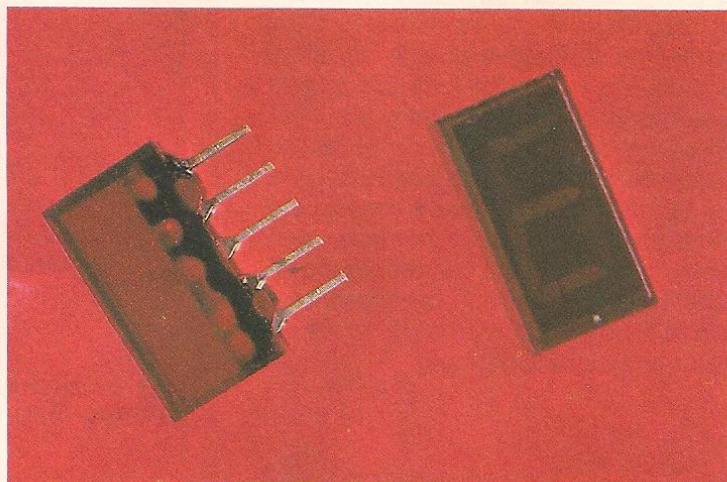
- Número de dígitos ou de caracteres
- Composição dos caracteres: segmentos ou pontos
- Formato dos caracteres
- Cor dos segmentos ou dos pontos, que pode ser vermelha, amarela ou verde

- Eficiência, expressa em milicandela (mcd), em relação a uma determinada corrente de excitação. Pode-se escolher entre os modelos normais e os de alta eficiência.

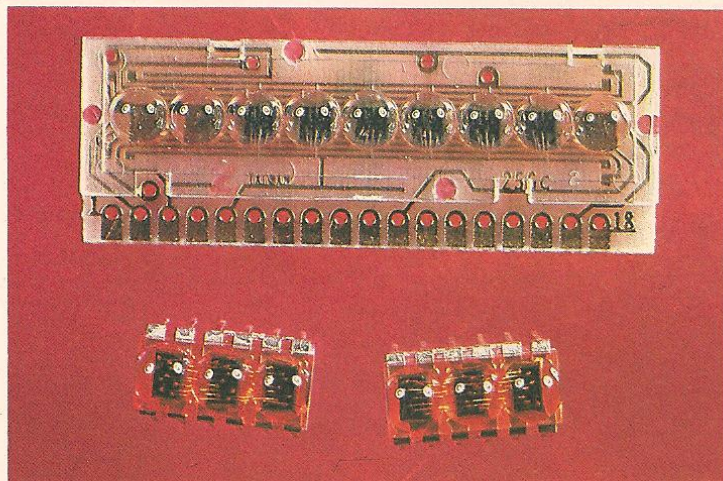
Além desses, existem mostradores constituídos por LED dispostos de modo a formar uma linha horizontal de comprimento determinado, chamados **gráficos em barra** (Bargraph). O comprimento do segmento iluminado é definido pela excitação de um número maior ou menor dos LED. Sua construção é semelhante à dos mostradores comuns de vários caracteres. Em alguns casos, é preciso recorrer ao emprego de filtros ópticos para melhorar a definição e o contraste dos segmentos. Feitos de plástico, esses filtros só permitem a passagem de algumas frequências de luz, que coincidem com as da luz emitida pelos LED, evitando, assim, que a luz incidente prejudique a visibilidade dos caracteres.



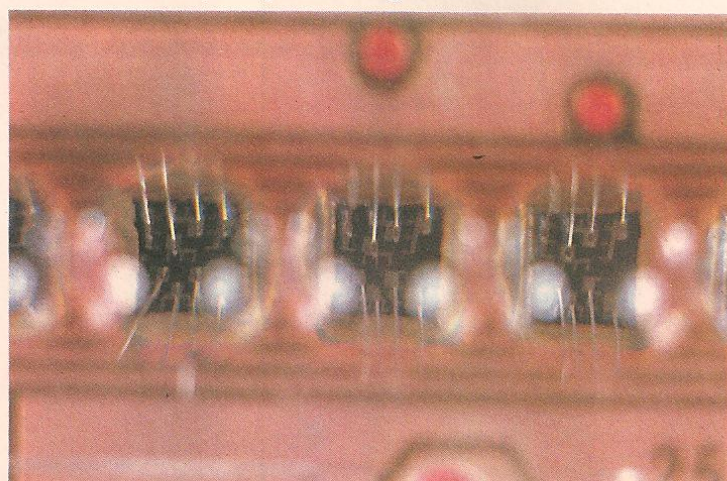
ACIMA: diferentes modelos de mostrador de um dígito, todos do tipo de 7 segmentos.

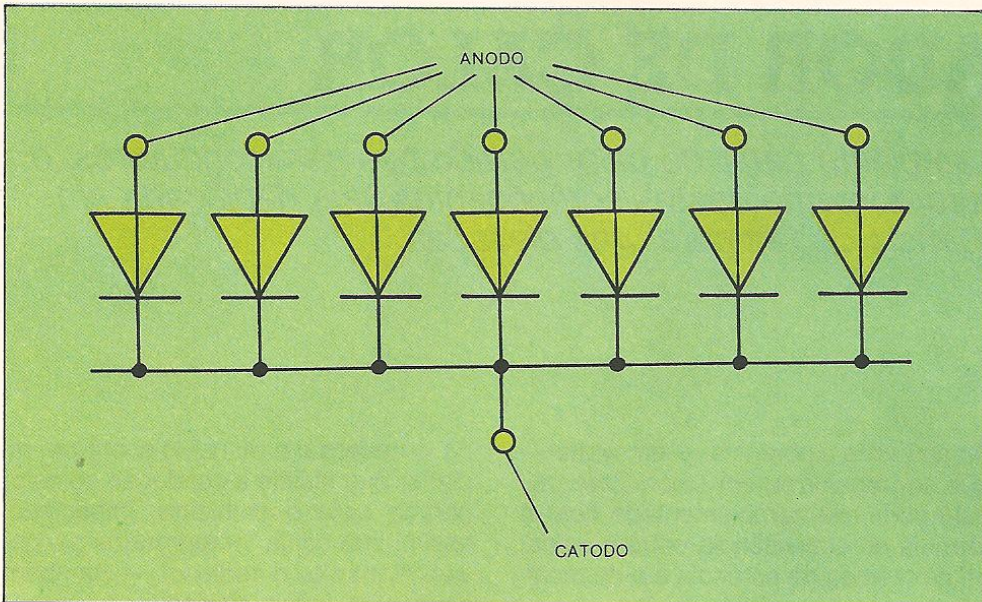


ABAIXO: dois modelos de mostrador monolítico, dotados de lente que aumenta a imagem dos dígitos.



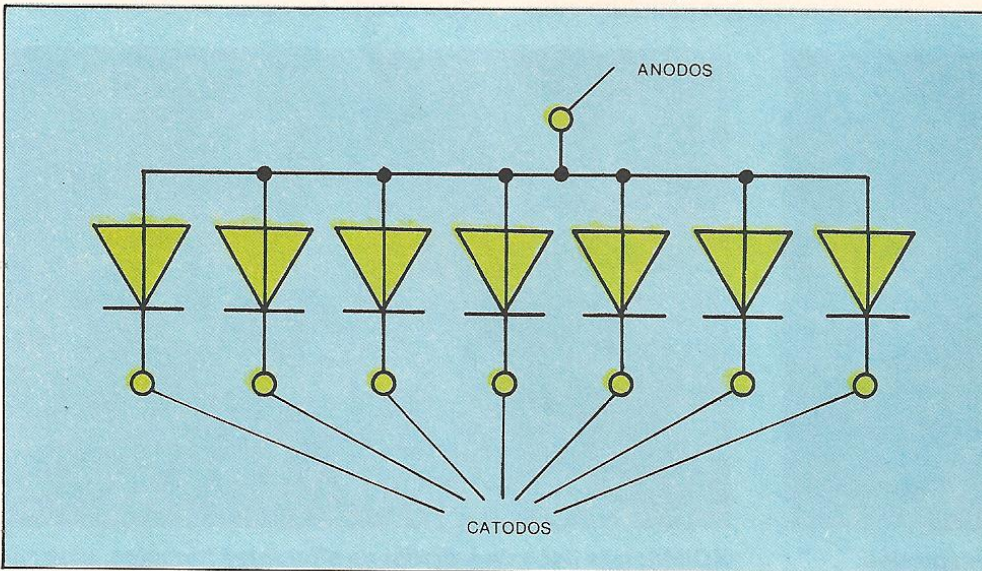
ABAIXO: interior de um mostrador monolítico, em que se observam os fios que ligam os segmentos.



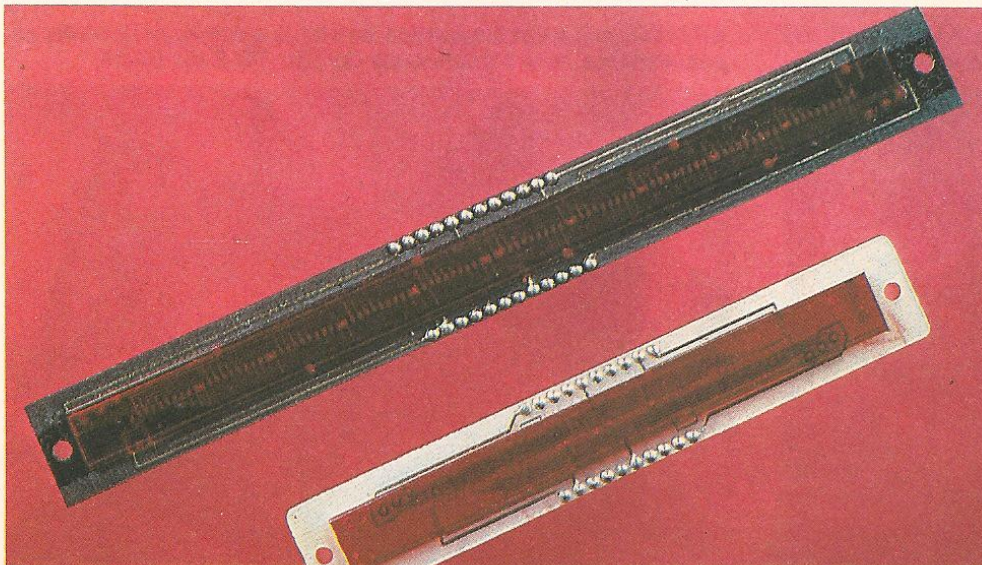


**ACIMA:** ligações de um dígito de 7 segmentos na configuração de catodo comum. Cada diodo representa um segmento.

**ABAIXO:** ligação de um dígito de 7 segmentos na configuração de anodo comum.



**ABAIXO:** mostradores do tipo gráfico em barra, de comprimentos diferentes.



**Qualquer componente eletrônico capaz de emitir luz pode ser incluído na categoria dos elementos optoeletrônicos?**

Sim, nesta categoria incluem-se todos os dispositivos eletrônicos capazes de produzir uma radiação luminosa visível ou não.

**Como se processa a emissão de luz de uma junção P-N?**

A emissão de luz tem origem no instante em que se produz a recombinação entre uma lacuna e um elétron.

**Do que depende a eficiência da radiação luminosa em um LED?**

Depende, fundamentalmente, da corrente que o atravessa, como também da área e da geometria, da junção semicondutora e das dimensões do contato elétrico.

**Como se mede a eficiência da radiação luminosa de um LED?**

A eficiência é a relação entre a intensidade luminosa emitida em milicandelas (mcd) e a corrente elétrica em mA produzida pela mesma radiação. Os valores normais ficam entre 0,5 a 2 mcd e 20 mA.

**Qual é o valor de tensão apresentado nos terminais de um LED quando este é excitado?**

Na maior parte dos LED, a tensão está situada na faixa de 1,5 a 2,5 V.

**Como os fotodiodos são ligados nos circuitos eletrônicos?**

Eles são ligados de modo a serem polarizados inversamente, produzindo uma certa circulação de corrente quando excitados por radiação luminosa.

**Qual é a principal função dos displays?**

Estes componentes têm como principal função a indicação de números, letras ou símbolos (alfanuméricos) ou mesmo de representações gráficas.

**Quais são as tecnologias envolvidas na fabricação dos displays?**

Uma das mais comuns é baseada no emprego dos LED, embora atualmente se verifique um grande desenvolvimento dos dispositivos a cristal líquido (LCD), que tendem a substituir os LED.

**Como são feitas as ligações internas entre os LED que compõem os segmentos?**

Essas ligações obedecem a duas configurações: a do anodo comum, onde todos os anodos dos leds são ligados entre si, com a ligação individual obtida por meio dos catodos; e a do catodo comum, semelhante à anterior, mas com os catodos ligados entre si.



# RADIADOR DE CALOR

*Ajudando a transferir para o ambiente parte do calor gerado nos semicondutores, o radiador impede que a estrutura interna destes componentes seja danificada em consequência de temperaturas elevadas.*

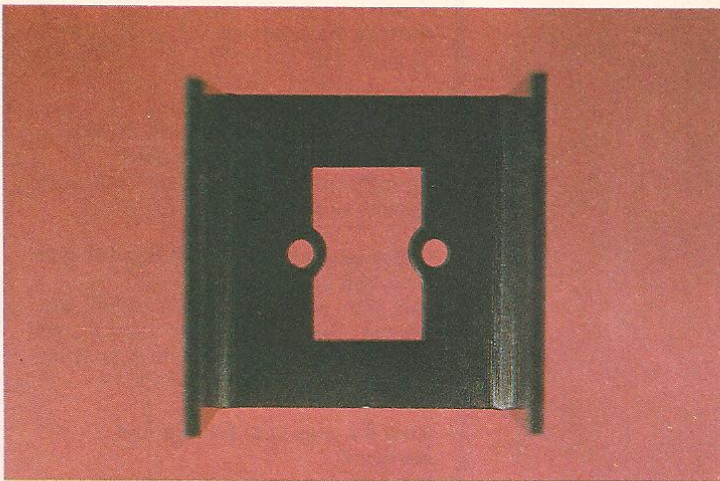
Qualquer tipo de componente semicondutor, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, gera uma determinada potência, que deve ser transferida ao ambiente sob a forma de calor. Essa potência pode ser calculada multiplicando-se a intensidade da corrente em circulação pela queda de tensão entre os dois terminais pelos quais circula essa corrente. O resultado da ope-

ração indica a potência — em watts — que se transforma em calor. Esse cálculo pode ser complementado com a fórmula de equivalência entre a unidade de medida de potência e a de medida de calor ou caloria:

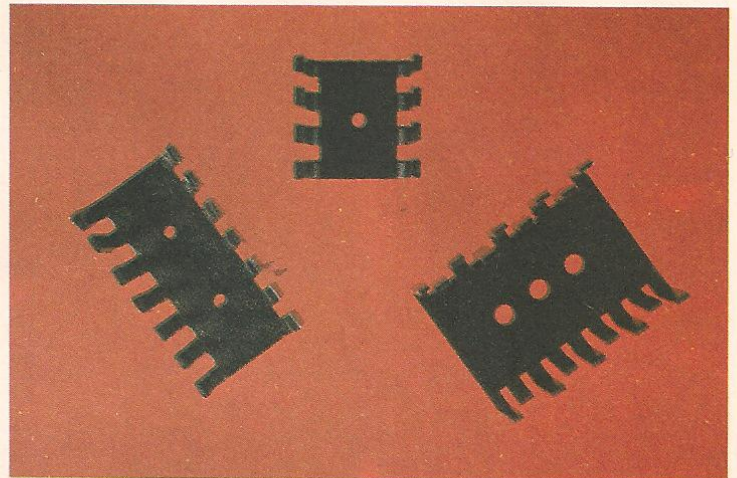
$$1 \text{ watt} = 0,24 \text{ caloria/segundo.}$$

Quando a dissipação de potência de um componente é tão elevada que pode produzir danos à sua estrutura inter-

na, é necessário montá-lo sobre um radiador que facilite a condução do calor gerado para o ambiente, impedindo, assim, que atinja temperaturas perigosas. Portanto, o radiador — também conhecido como dissipador — é um acessório imprescindível na montagem e utilização de semicondutores que transferem ao ambiente uma certa quantidade de calor.

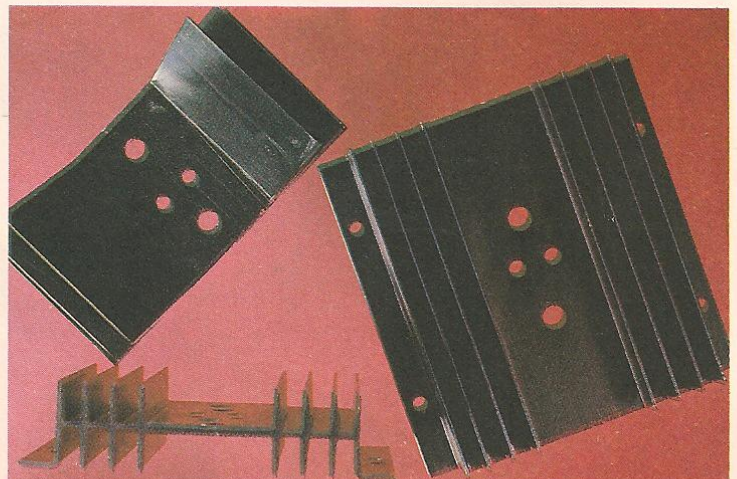
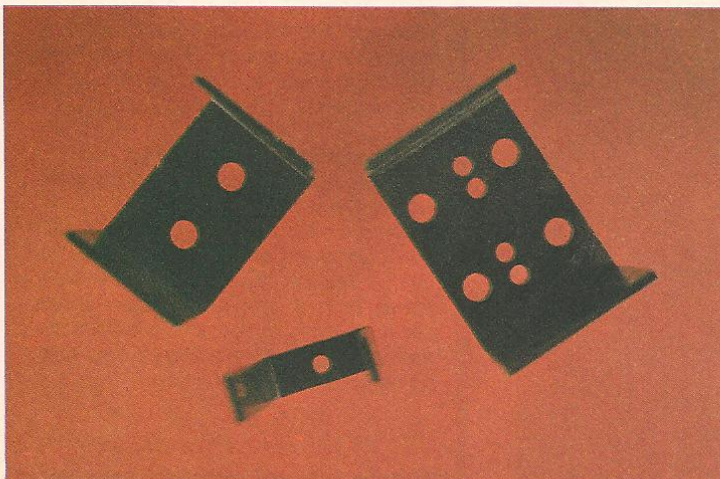


**ACIMA:** modelo de radiador para circuitos integrados.



**ACIMA:** três tipos de radiador de diferentes formatos, para semicondutores com encapsulamento de plástico do tipo TO-220 ou equivalente.

**ABAIXO:** diferentes modelos de radiador em forma de U. Os furos permitem alojar encapsulamentos de diversos tipos.



**ABAIXO:** radiadores providos de aletas e furos, projetados especialmente para transistores do tipo TO-3 ou TO-66.

Ao alcançar uma determinada temperatura, um corpo transmite calor de três maneiras diferentes:

- Por radiação
- Por convecção
- Por condução.

A **radiação** de calor é uma forma de transmissão por meio de ondas eletromagnéticas, semelhantes às ondas das transmissões em radiofrequência ou da luz visível. Essa radiação apresenta uma frequência inferior à da luz vermelha visível, por isso se denomina radiação infravermelha.

Na transmissão de calor por **convecção**, o corpo aquecido transfere ao fluido que o circunda (ar, água, etc.) uma certa quantidade de calor que provoca o aumento da temperatura desse fluido e a conseqüente variação de densidade; desse modo, parte do fluido tende a se deslocar para o alto, cedendo lugar a uma outra porção de fluido frio que continuará a esfriar o corpo. A esse processo dá-se o nome de convecção natural, para distingui-lo dos sistemas de convecção forçada, em que um elemento externo força a circulação do fluido, como num ventilador.

Já a **condução** constitui um processo espontâneo de transmissão do calor gerado no interior de um corpo para todos os pontos desse mesmo corpo. A quantidade máxima de calor a ser transmitida é aquela com a qual se obtém uma estabilização da temperatura em todos os pontos.

Um radiador pode empregar simultaneamente as três formas de transmissão, produzindo uma condução do semicondutor ao radiador e, também, uma convecção e uma radiação de calor deste para o ar.

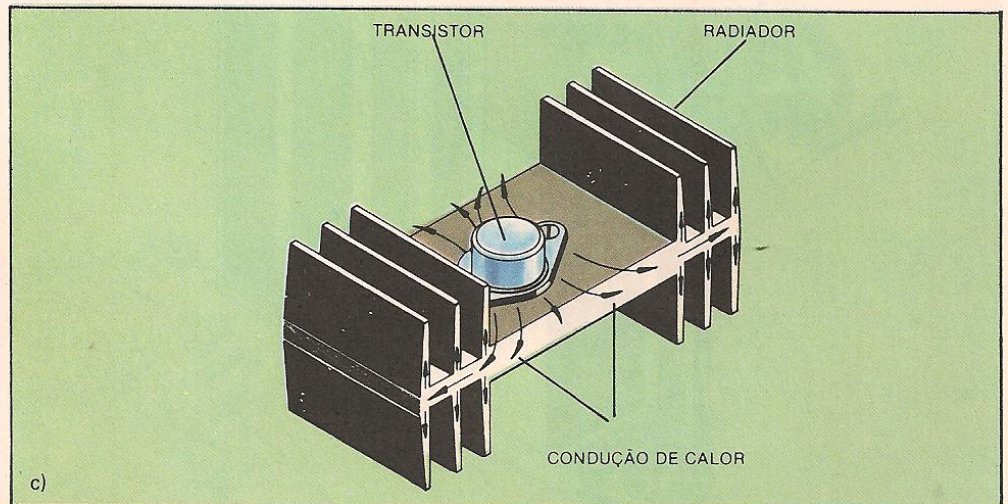
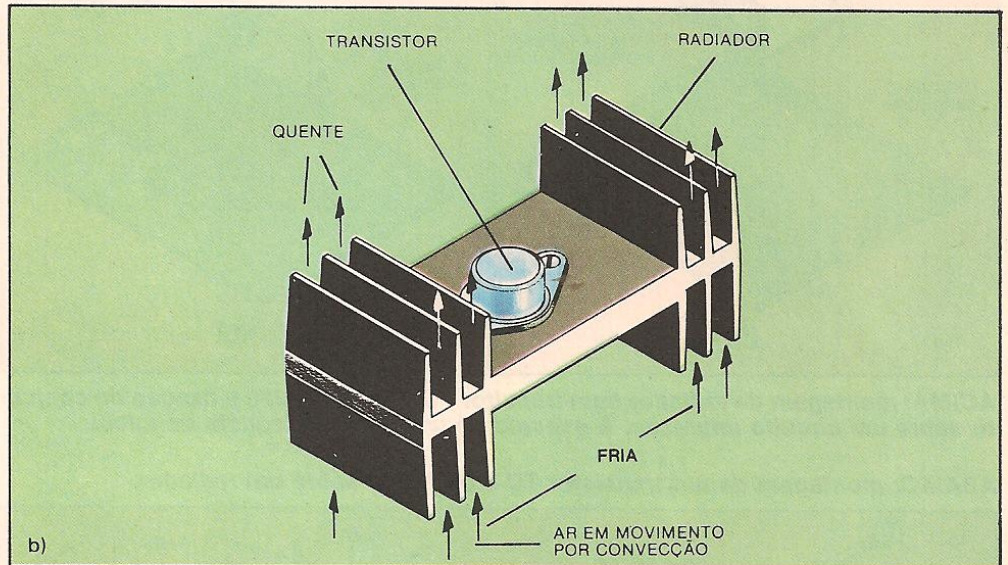
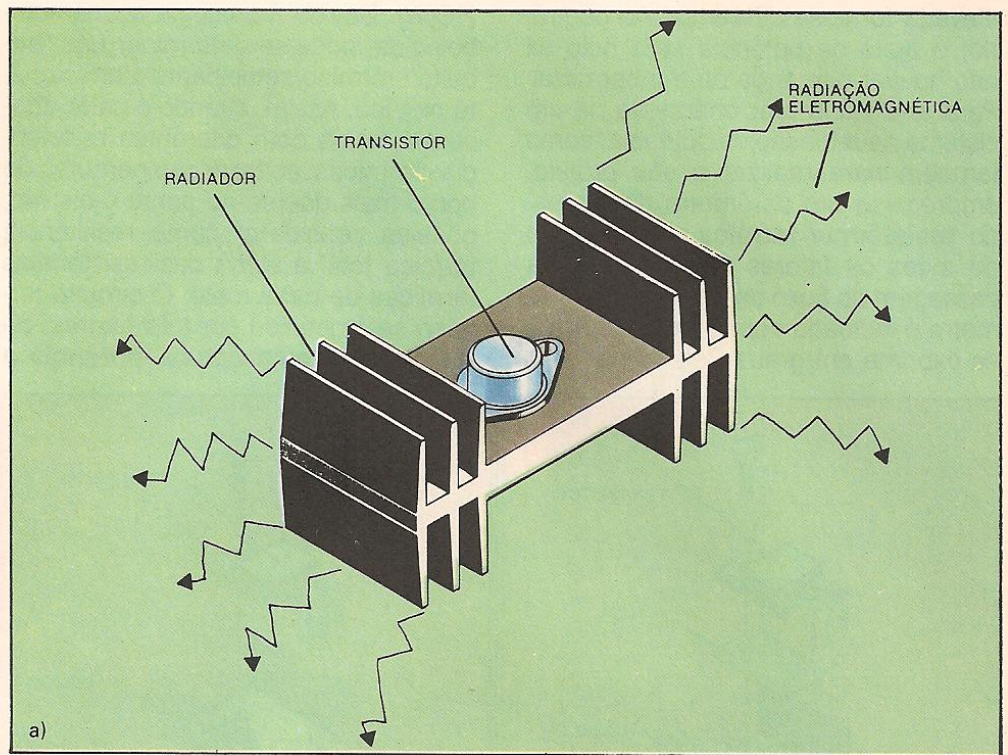
Para simplificar o estudo da dissipação térmica pode-se estabelecer uma analogia entre grandezas elétricas e grandezas térmicas. A correspondência nessa analogia é a seguinte:

Tensão (volts) → temperatura (°C)

Corrente elétrica I (ampères) →  
potência P (watts)

Resistência elétrica (volts/ampères)  
→ Resistência térmica (graus/watts)

Com isso podem ser construídos os circuitos térmicos. Tal qual num circuito elétrico, a quantidade de potência calorífica passível de ser comunicada ao ambiente pelo radiador depende da diferença de temperatura existente entre os dois, e será tanto maior quanto mais

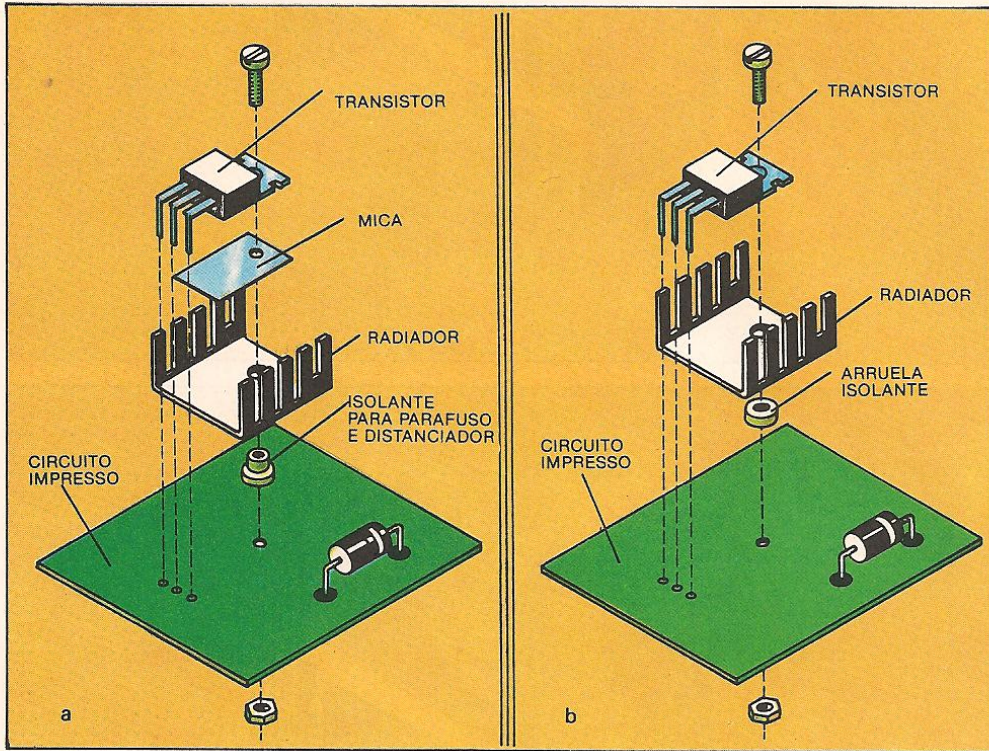


**ACIMA: modalidades de transmissão do calor gerado por um semicondutor de potência: a) radiação; b) convecção; c) condução.**

elevada for essa diferença. Ao contrário, o fluxo de potência será nulo se não houver diferença de temperatura. Para analisar o funcionamento de um sistema de radiação de potência, como também para realizar o seu projeto, emprega-se um parâmetro denominado **resistência térmica** na avaliação de todos os fatores que dificultam a passagem do fluxo de calor. Esse parâmetro é indicado com o símbolo **Rth** e se exprime em graus Celsius por watt

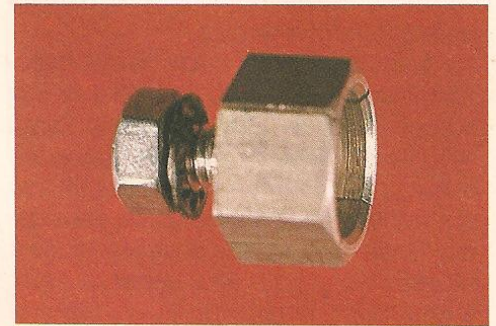
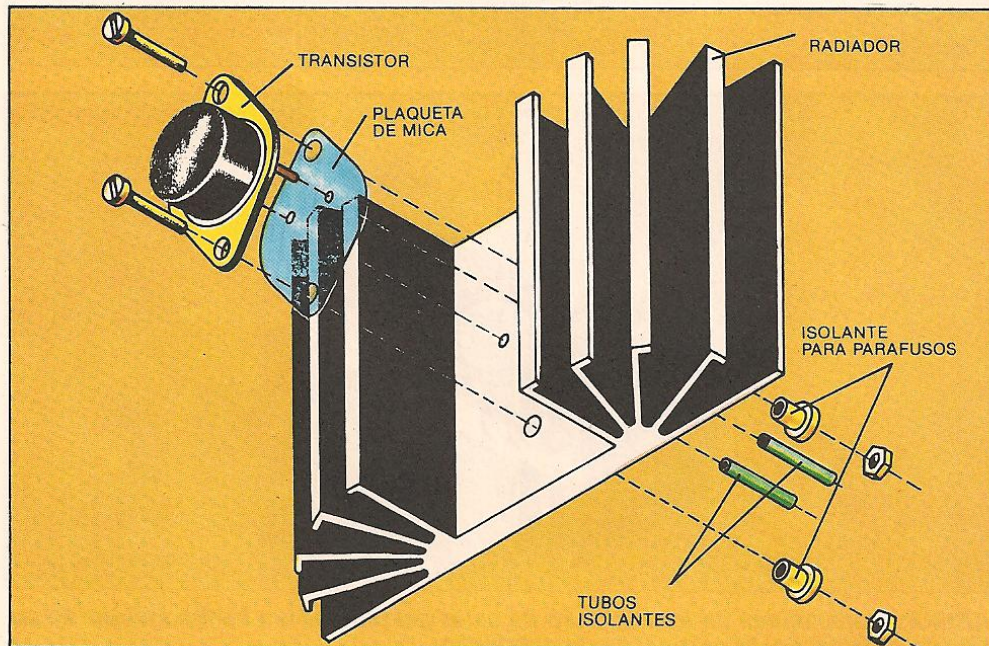
(°C/W). Devido à analogia acima estabelecida, pode-se determinar um "circuito" térmico semelhante a um circuito elétrico. Assim, quando o calor atravessa meios com diferentes resistências térmicas, ao fazer seu percurso do ponto mais quente ao ponto mais frio, pode-se considerar como resistência térmica total a soma das resistências térmicas de cada meio. O circuito térmico será definido por três fatores: **diferença de temperatura, potência a**

**ser dissipada e resistência térmica.** Recapitulando: na analogia feita, a diferença de temperatura desempenha o mesmo papel que uma diferença de potencial ou de tensão num circuito elétrico. Já a potência a ser dissipada, ou fluxo de potência, equivale à intensidade de uma corrente elétrica. A resistência térmica, por sua vez, equivale à resistência ôhmica. O circuito térmico completo de um componente semiconductor montado



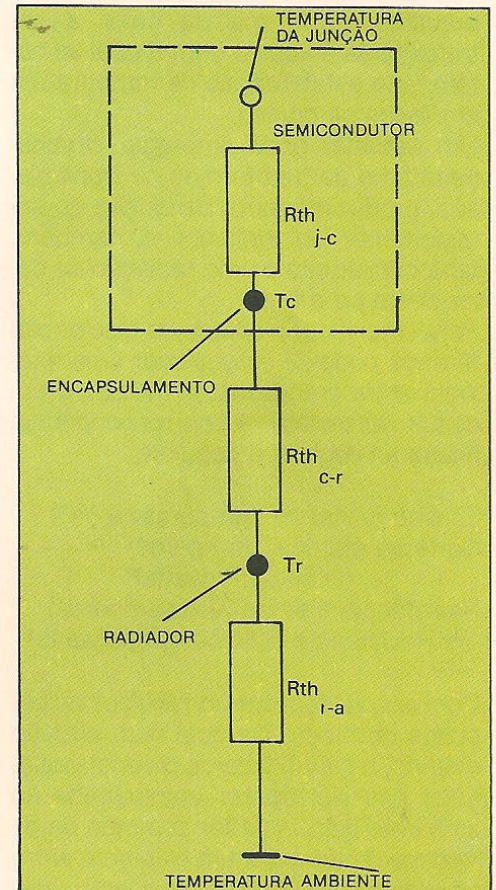
**ACIMA:** montagem de radiador num transistor TO-126 ou TO-220 e fixação do conjunto sobre um circuito impresso. À esquerda é usada uma plaqueta de mica.

**ABAIXO:** montagem de um transistor TO-3 ou TO-66 sobre um radiador.



**ACIMA:** esse radiador pode ser adaptado ao corpo do componente por pressão. Ou, então, fixado a um radiador de maior tamanho.

**ABAIXO:** esquema do circuito térmico de um semiconductor, semelhante a um esquema elétrico, com a indicação das resistências térmicas.



num radiador contém, fundamentalmente, três resistências térmicas. A potência que deve ser dissipada é gerada nas junções dos semicondutores, de modo que esse será o ponto de temperatura mais elevado, considerado, assim, como o gerador de potência do circuito. A primeira resistência térmica é a que se encontra entre o cristal semicondutor e o seu encapsulamento externo, e denomina-se resistência junção-carcaça ( $R_{th_{j-c}}$ ). A segunda é a resistência térmica carcaça-radiador ( $R_{th_{c-r}}$ ), resultante do contato entre essas duas partes. Aqui deve-se levar em conta os diversos fatores que influem nesse contato, como a presença de aruelas de mica, a pressão de contato, o estado das superfícies, e assim por diante. A terceira é a resistência térmica radiador-ambiente ( $R_{th_{r-a}}$ ), que depende exclusivamente do radiador e é fornecida pelos seus fabricantes.

Generalizando-se a analogia, pode-se associar a capacitância elétrica a uma capacitância térmica, que é a capacidade de armazenar calor.

Muitas vezes, essa capacidade de armazenamento de calor é atribuída à inércia térmica dos materiais. De acordo com a analogia feita, a inércia influi no circuito térmico como um capacitor em paralelo com a resistência térmica inicial.

Na escolha do tipo de radiador a ser utilizado é necessário considerar os seguintes dados:

- Temperatura máxima de trabalho do radiador
- Temperatura do ar que circunda o conjunto
- Potência a ser dissipada
- Tipo de montagem do semicondutor.

O cálculo é feito assim: em primeiro lugar, é preciso conhecer a temperatura da carcaça do semicondutor a partir da sua  $R_{th_{j-c}}$ . Se a montagem for feita diretamente sobre o radiador, deverá ser considerada uma diferença de temperatura de  $2^{\circ}\text{C}$  entre os dois. No caso em que for utilizada uma plaqueta de mica para o isolamento elétrico, considera-se a sua resistência térmica igual a  $122 \cdot e$ , sendo  $e$  a espessura da plaqueta em centímetros. O cálculo da resistência térmica do radiador deve ser feito com a fórmula:

$$R_{th \text{ rad}} = \frac{T^{\circ} \text{ dis}_{\text{max}} - T^{\circ} \text{ amb}}{\text{Potência a dissipar}}$$

Como exemplo, vamos supor que se trate de um transistor que deva dissi-

par uma potência de 10 W e tenha uma resistência térmica junção-encapsulamento ( $R_{th_{j-c}}$ ) de  $2^{\circ}\text{C/W}$ . Vamos supor também que tenha sido colocada uma plaqueta de mica de espessura de 0,01 cm e que sua resistência térmica seja calculada de modo que a temperatura do semicondutor não exceda  $125^{\circ}\text{C}$ , para uma temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$ . Antes de tudo, calcula-se a diferença de temperatura entre a junção e o encapsulamento, que será:

$$T_j - T_c = 2^{\circ}\text{C/W} \cdot 10 \text{ W} = 20^{\circ}\text{C}$$

Entre os dois lados da plaqueta de mica haverá uma diferença de tempera-

tura calculável a partir de:

$$R_{th \text{ mica}} = 122 \cdot 0,01 = 1,22^{\circ}\text{C/W}$$

$$T_{\text{ mica}} = 1,22^{\circ}\text{C/W} \cdot 10 \text{ W} = 12,2^{\circ}\text{C}$$

Portanto, a temperatura máxima do radiador será:

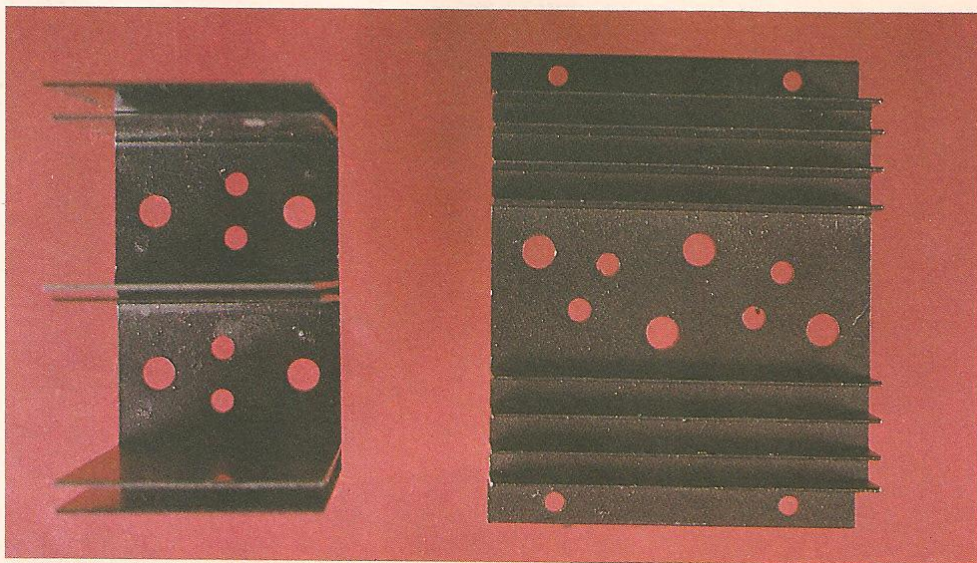
$$T^{\circ} \text{ dis}_{\text{max}} = 125 - 20 - 12,2 = 92,8^{\circ}\text{C}$$

A resistência térmica deste será de:

$$R_{th \text{ rad}} = \frac{92,8^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{10 \text{ W}}$$

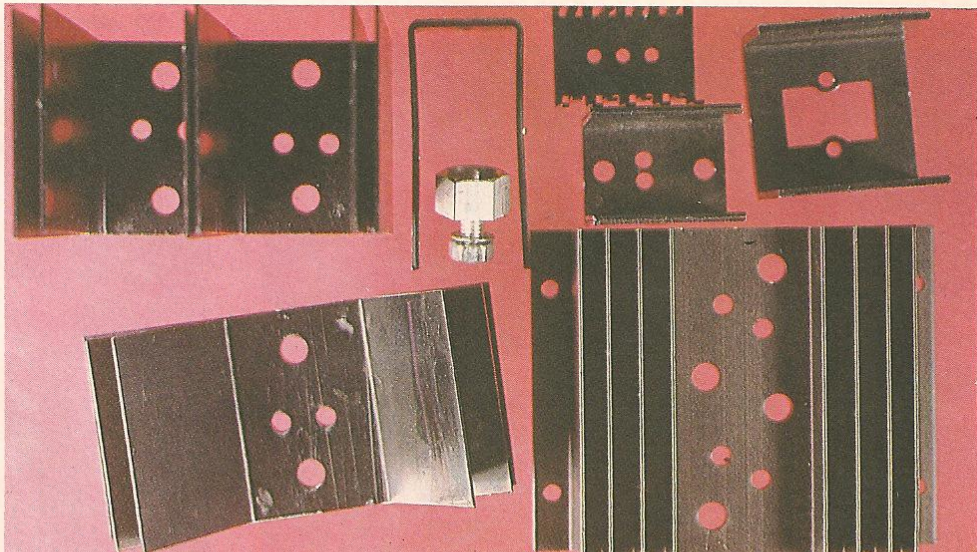
$$= 15^{\circ}\text{C/W}$$

Com base nesse valor, pode-se escolher nos catálogos de radiadores o modelo mais adequado.



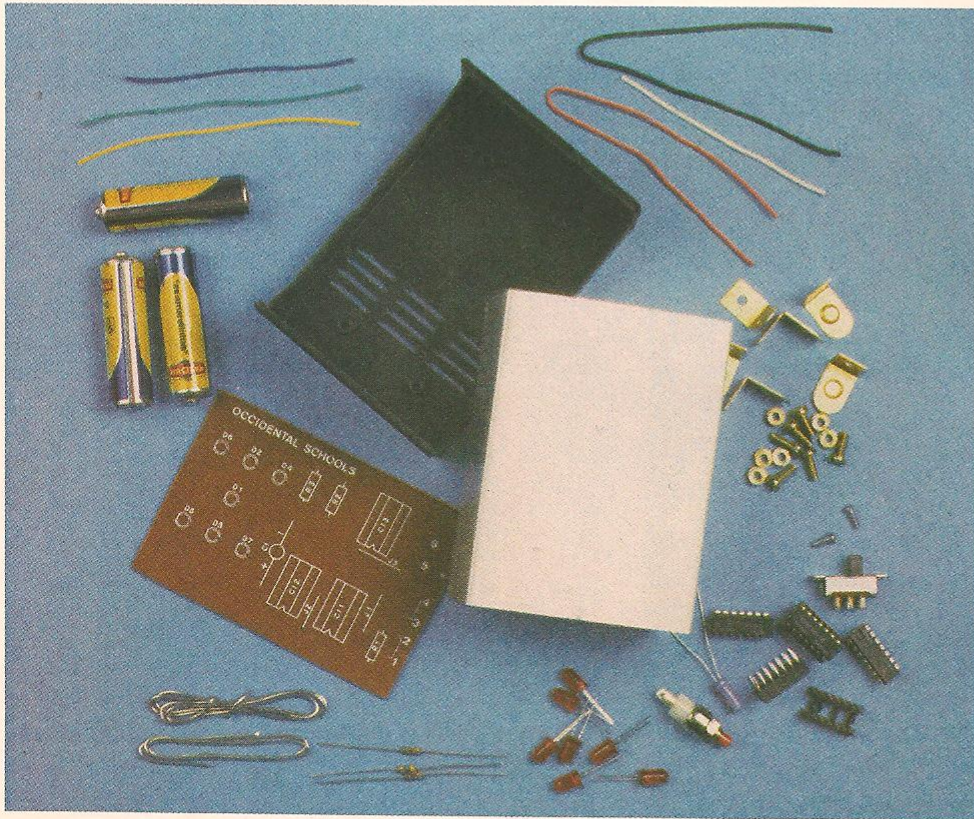
**ACIMA:** em alguns casos, é feito um acoplamento térmico entre os dois semicondutores. Os radiadores da foto foram projetados para essa função.

**ABAIXO:** conjunto de radiadores com formatos e tamanhos diversos e também com diferentes resistências térmicas.

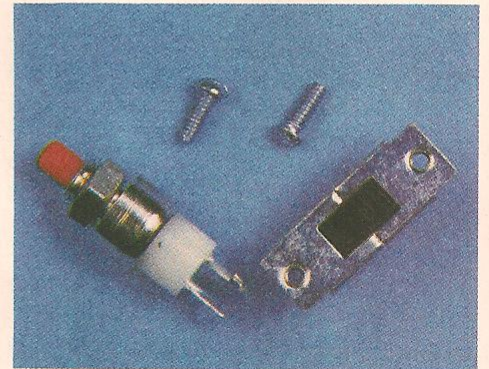


# DADO ELETRÔNICO

*Desta vez você vai montar um dispositivo simples e original: o dado eletrônico. Por meio de um interruptor de pressão, este circuito é capaz de simular os resultados obtidos com dados comuns usados em jogos de azar.*



**1. Conjunto de peças necessárias para a montagem do dado eletrônico.**

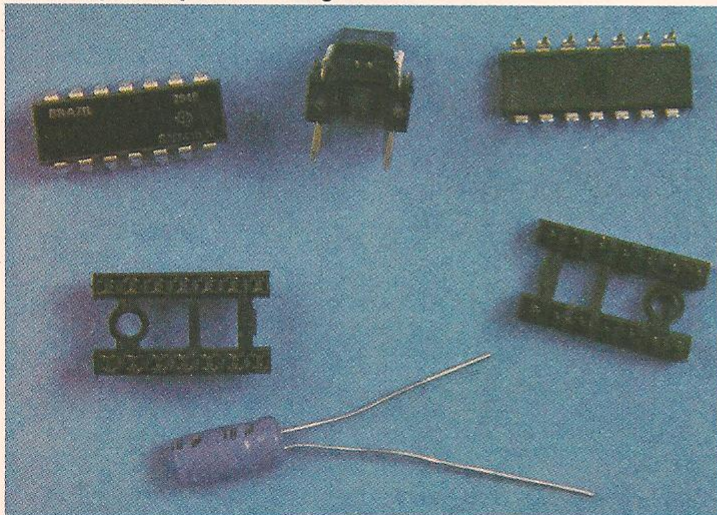


**2. Interruptor de pressão, minichave H-H (2x2) e dois parafusos de fixação.**

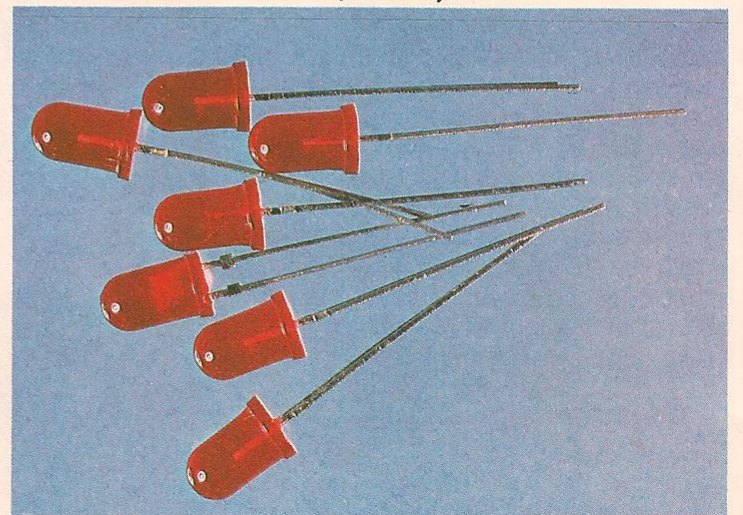


**3. Três pilhas pequenas, terminais de contato (três com rebaixo e três com ressalto), parafusos e porcas de fixação.**

**4. Capacitor eletrolítico (C1), circuitos integrados (CI1 a CI3) e três soquetes para os integrados.**



**5. LED vermelhos de 5 mm (D1 a D7).**



Desta vez, você vai aprender a construir um aparelho de diversão, cuja característica principal é simular o resultado do lançamento de um dado, numerado de 1 a 6, como são os dados usados normalmente em jogos de azar e em outros jogos de competição ou diversão.

O lance do dado eletrônico é executado através da pressão de um interruptor que dá início à jogada. O resultado é apresentado num painel constituído por alguns LED, na forma de pontos luminosos, que têm uma disposição igual aos pontos que aparecem nas faces de um dado comum. Pressiona-se, então, o interruptor por alguns segundos, soltando em seguida. O número de LED

acesos corresponde aos pontos obtidos no lance.

Na realidade, o nosso dado eletrônico possui sete LED, porém, o número máximo de LED que podem acender ao mesmo tempo é seis. É somente com a utilização de sete LED que se consegue uma distribuição de pontos semelhante àquela que é encontrada em qualquer uma das faces de um dado comum.

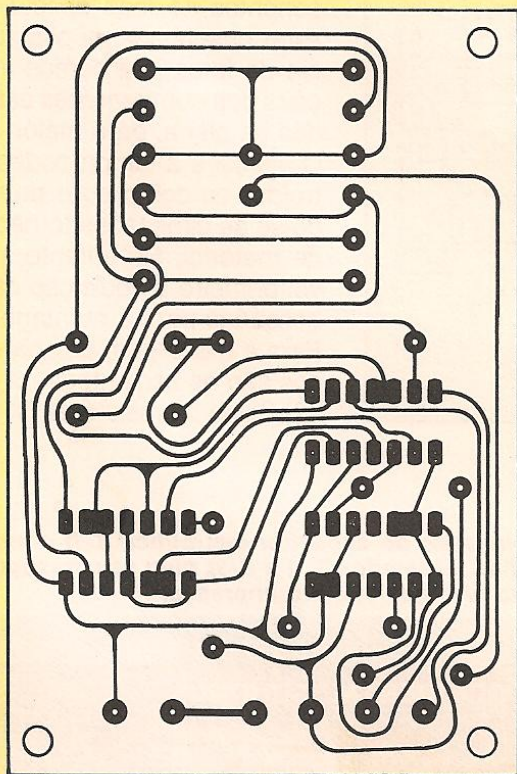
O aparelho funciona com uma tensão de alimentação de 4,5 V, fornecida por três pilhas pequenas ligadas em série. Tanto a montagem quanto a utilização do dado eletrônico são muito simples e não oferecem, portanto, grandes dificuldades.

#### Ferramentas necessárias:

- 1 ferro de soldar com potência máxima de 30 W
- 1 alicate de bico
- 1 alicate de corte
- 1 chave de fenda de tamanho médio
- 1 chave de fenda pequena
- 1 furadeira
- 1 conjunto de brocas
- 1 morsa
- 1 serra para metal
- 1 lima para acabamento.

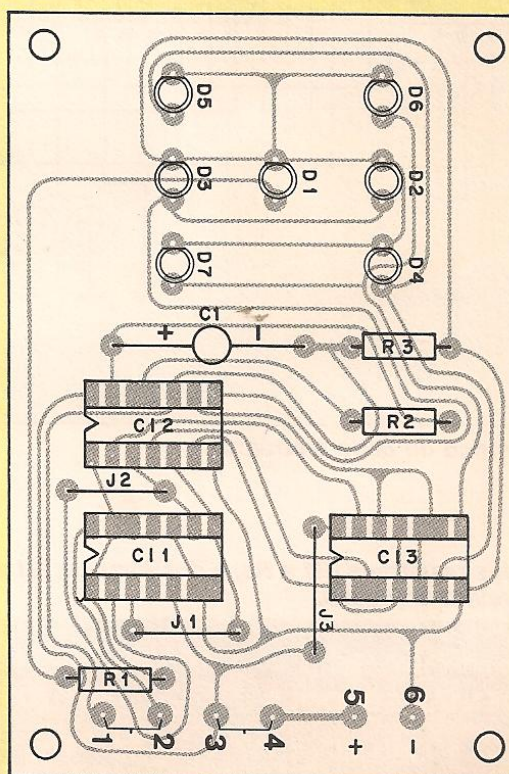
#### Componentes:

- 1 placa de circuito impresso de 95 mm x 63 mm
- 1 capacitor eletrolítico unilateral de 10  $\mu$ F x 16 V, na posição C1 da placa



### O traçado do circuito

Traçado do circuito impresso, em tamanho natural. Para a construção do circuito, basta copiá-lo em papel milimetrado. Depois é só usá-lo, seguindo as explicações que já foram dadas.



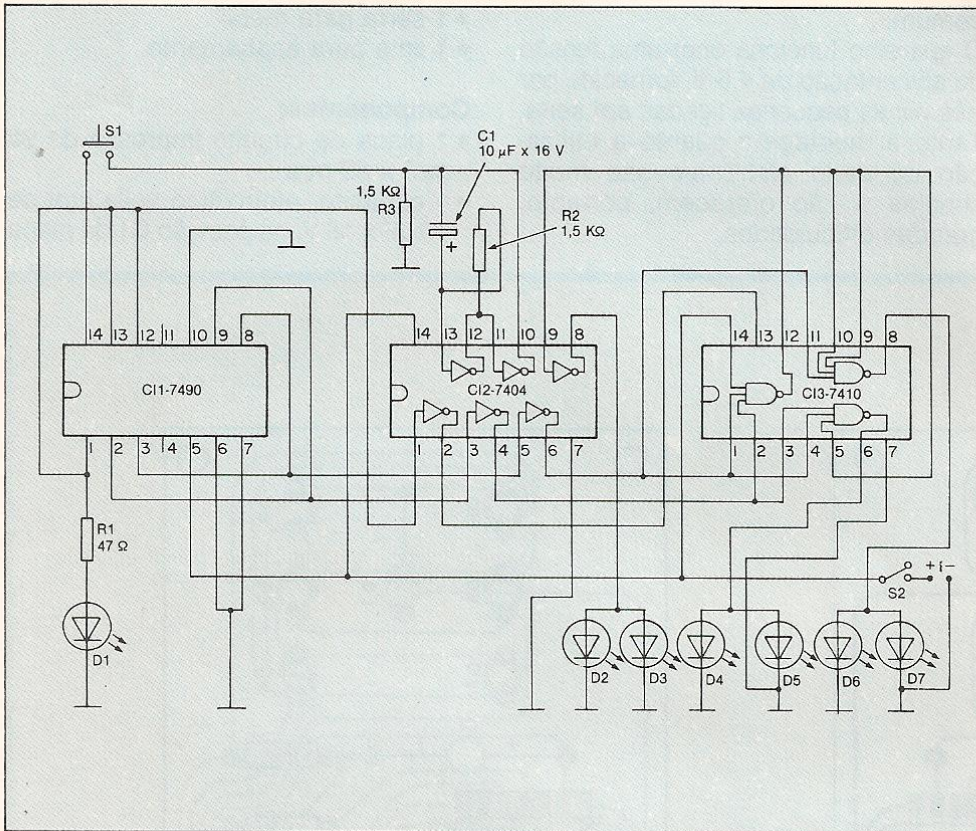
### O desenho do circuito

Este desenho mostra a posição correta para a montagem dos componentes na placa de circuito impresso. Siga-o atentamente.

- 3 resistores de 1/4 W, nas posições R1 a R3 da placa, com os seguintes valores e cores para identificação: R1- 47  $\Omega$  (amarelo-violeta-preto) R2- 1,5 K $\Omega$  (marrom-verde-vermelho) R3- 1,5 K $\Omega$  (marrom-verde-vermelho)
- 7 LED vermelhos de 5 mm, indicados por D1 a D7 na placa
- 3 circuitos integrados, nas posições

- CI1 a CI3 da placa, com os seguintes códigos:  
CI1 - 7490  
CI2 - 7404  
CI3 - 7410
- 3 soquetes de 14 pinos para os circuitos integrados
- 1 minichave H-H (2 pólos, 2 posições), com alavanca

- 1 interruptor de pressão
- 3 pilhas pequenas
- 3 terminais de contato com rebaixo
- 3 terminais de contato com ressalto
- 15 cm de fio vermelho n.º 22
- 15 cm de fio preto n.º 22
- 10 cm de fio azul n.º 22
- 10 cm de fio branco n.º 22
- 10 cm de fio amarelo n.º 22
- 10 cm de fio verde n.º 22
- 20 cm de fio nu (rígido)
- 1 chassi com tampa (altura = 50 mm; largura = 70 mm; profundidade = 97 mm)
- 6 parafusos de 3 mm x 10 mm
- 2 parafusos de 2 mm x 8 mm
- 6 porcas de 3 mm
- 1 pedaço de solda 60/40



6. Esquema elétrico do dado eletrônico.

### Montagem:

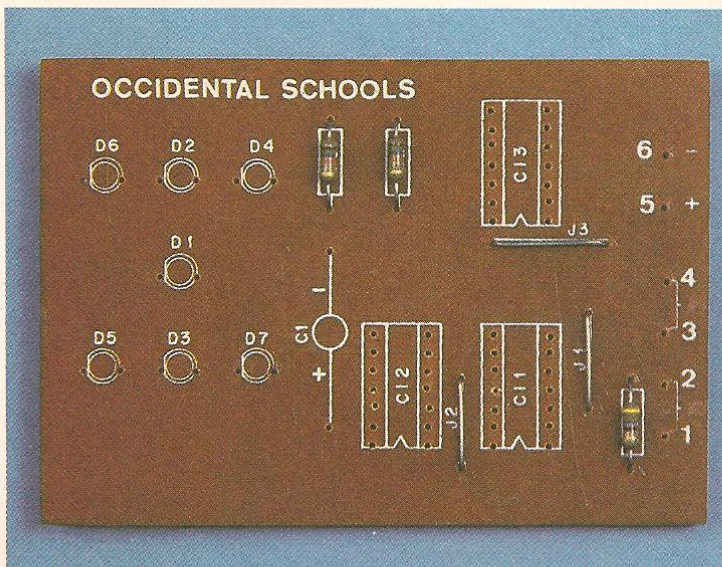
Ao confeccionar a placa de circuito impresso, preocupe-se somente com o lado cobreado. A disposição dos componentes no lado oposto não precisa estar desenhada na placa. Na seqüência de fotos que damos aqui, as posições dos componentes estão desenhadas na placa, para maior clareza.

O chassi e a tampa poderão ser construídos ou comprados prontos, seguindo-se as dimensões fornecidas na lista de material. No entanto, é aconselhável primeiro a aquisição das peças necessárias para a montagem.

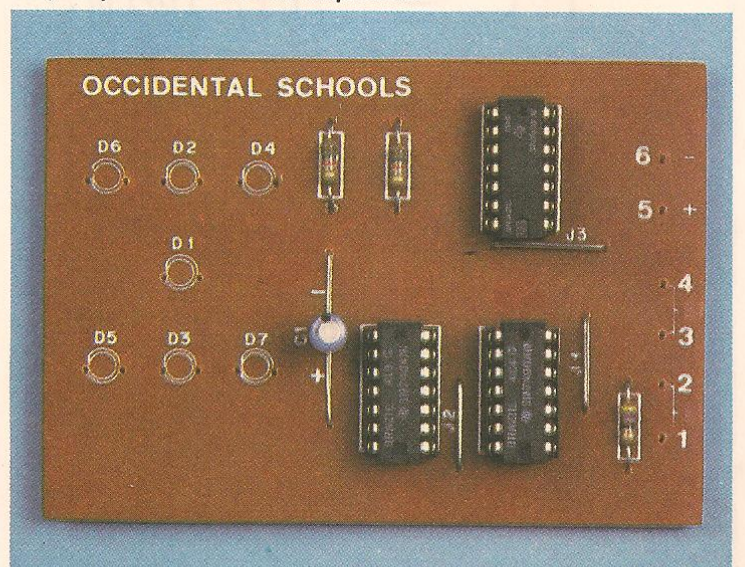
Para a montagem do aparelho, os passos são os seguintes:

1.º) Solde os resistores R1 a R3 nos fu-

7. Colocação dos resistores (R1 a R3) e dos jumpers (J1 a J3) na placa de circuito impresso.



8. Colocação do capacitor eletrolítico (C1) e montagem dos circuitos integrados (CI1 a CI3), com seus respectivos soquetes, na placa de circuito impresso.



ros correspondentes da placa de circuito impresso (veja foto 7).

2.º) Faça os jumpers J1 a J3 e solde-os nas posições desenhadas na placa (veja foto 7).

3.º) Solde o capacitor eletrolítico C1 na placa. Tome cuidado para que não haja inversão de polaridade (veja foto 8).

4.º) Solde os soquetes nas posições CI1 a CI3 da placa, de tal forma que a marcação existente neles coincida com a marcação do desenho da placa. Em seguida, encaixe os circuitos integrados CI1 a CI3 nos soquetes correspondentes, tomando cuidado para que a ranhura do corpo dos integrados coincida com a marcação existente nos soquetes (veja foto 8).

5.º) Coloque os LED D1 a D7 na placa, de tal modo que os seus chanfros coincidam com o lado reto do desenho da placa. A parte inferior do corpo dos LED deve ficar a uma altura de aproximadamente 1 cm em relação à placa, para que posteriormente a tampa do chassi possa ser encaixada sobre todos os LED e eles possam ser visualizados (veja foto 9).

6.º) Ligue os 6 fios nos furos (1 a 6) da placa de circuito impresso, seguindo as duas colunas da direita da tabela I (veja foto 10).

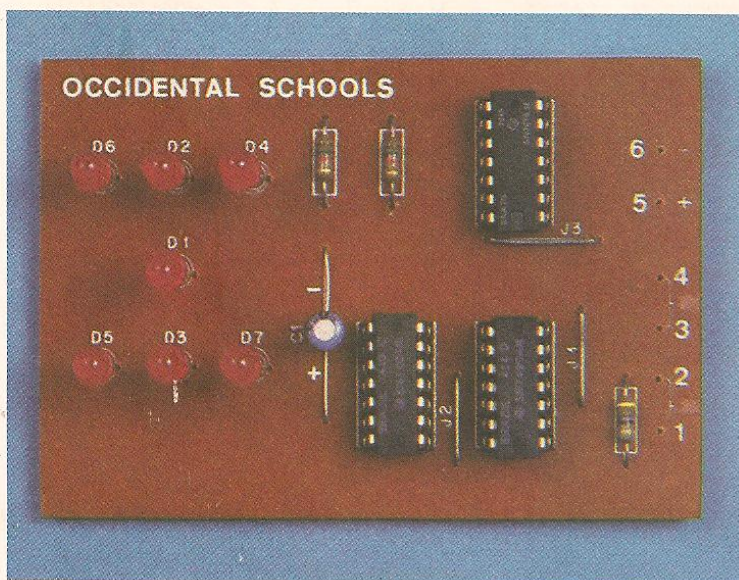
7.º) Ligue os terminais do interruptor de pressão e da chave H-H, seguindo as duas colunas da esquerda da tabela I (veja foto 10).

8.º) Fixe os 6 terminais de contato (3 com rebaixo e 3 com ressalto) no chassi, de tal maneira que um terminal com rebaixo fique à direita, no centro, ladeado por 2 terminais com ressalto. À esquerda, no centro, deve ficar um terminal com ressalto, ladeado por 2 terminais com rebaixo (veja foto 11).

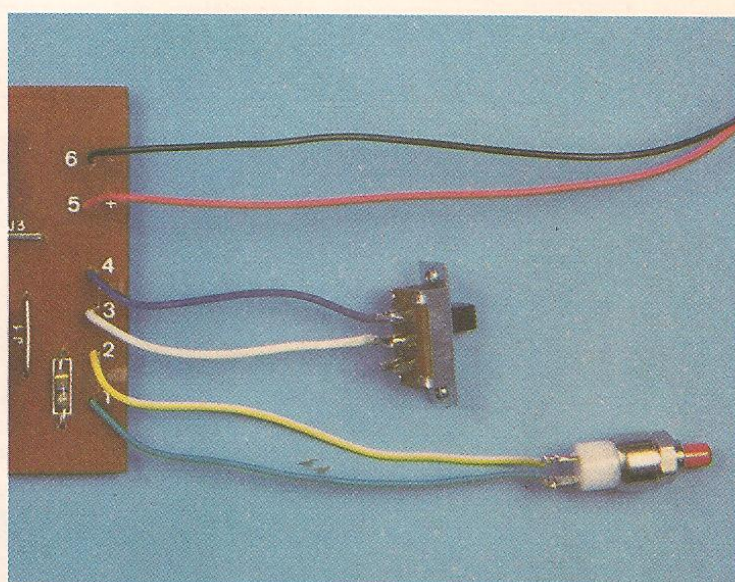
9.º) Faça 2 jumpers entre os terminais de contato, orientando-se pela foto 11.

10.º) Ligue o fio preto (-) da placa no terminal de contato com ressalto que havia ficado sem jumper e sozinho, e o fio vermelho (+) no terminal com rebaixo, que também havia ficado sem jumper e sozinho (veja foto 12).

11.º) Encaixe as 3 pilhas nos terminais de contato, de tal maneira que o pólo

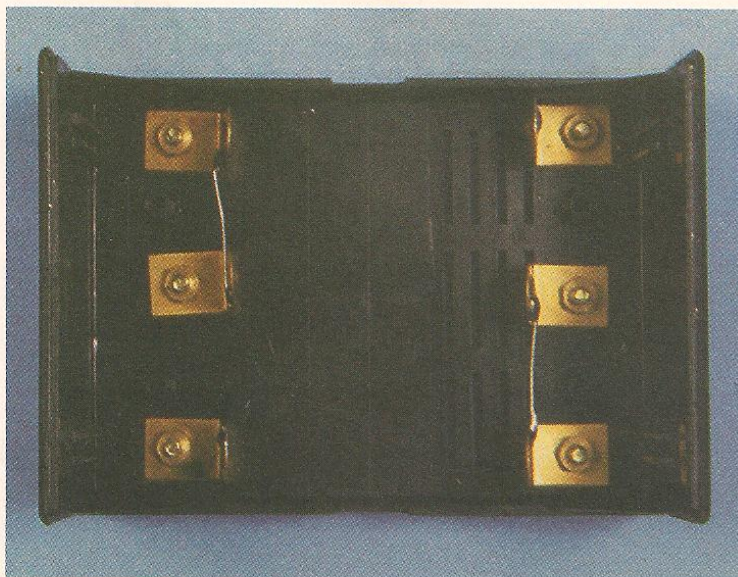


9. Colocação dos LED (D1 a D7) na placa de circuito impresso.

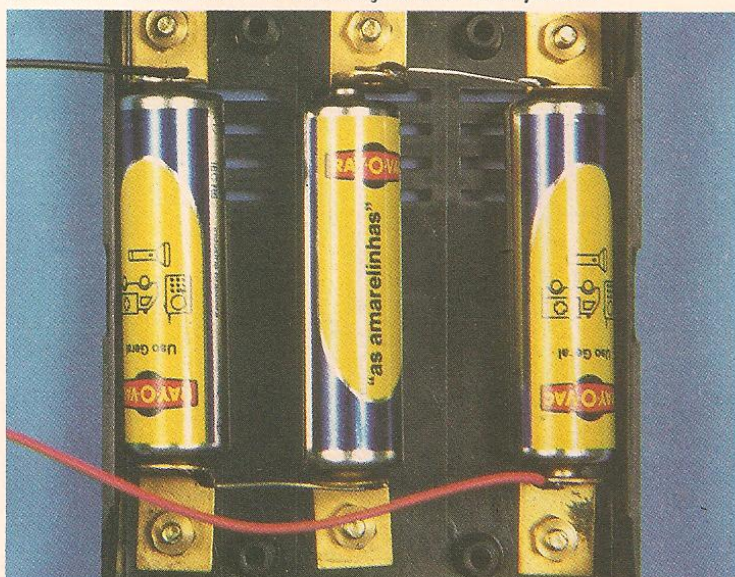


10. Ligação de seis fios, nos furos (1 a 6) e ligação do interruptor de pressão e da chave H-H em quatro fios da placa.

11. Fixação dos terminais de contato no chassi e execução de dois jumpers entre os terminais.



12. Ligação dos fios vermelho e preto da placa em dois dos terminais de contato e colocação das três pilhas.





positivo (+) da pilha fique voltado para o terminal com rebaixo e, conseqüentemente, o negativo (-) fique voltado para o terminal com ressalto (veja foto 12).

12.º) Fixe a placa de circuito impresso no chassi do aparelho (veja foto 13).

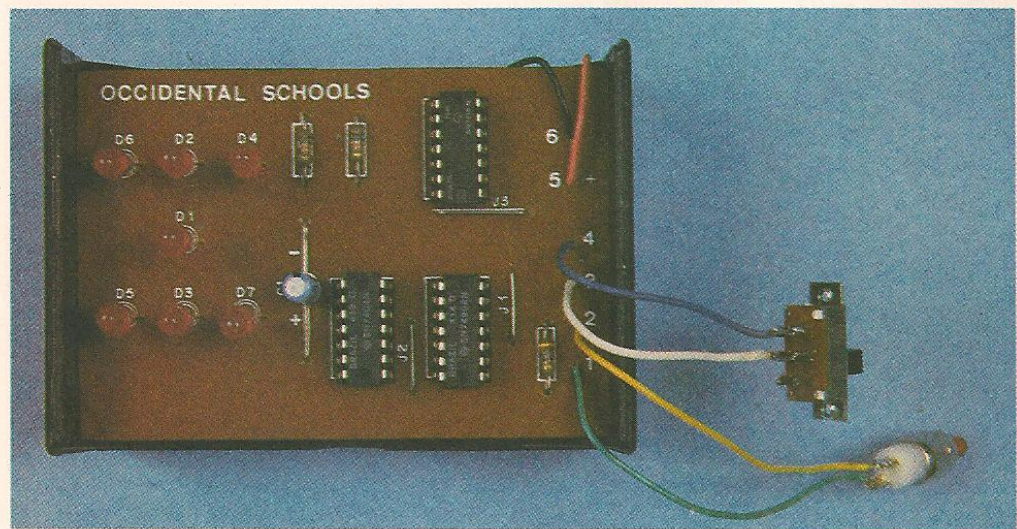
13.º) Fixe a chave H-H e o interruptor de pressão na tampa do chassi (veja foto 14).

14.º) Encaixe a tampa no chassi e nos LED da placa.

Finalmente, está concluída a montagem do dado eletrônico (veja foto 15).

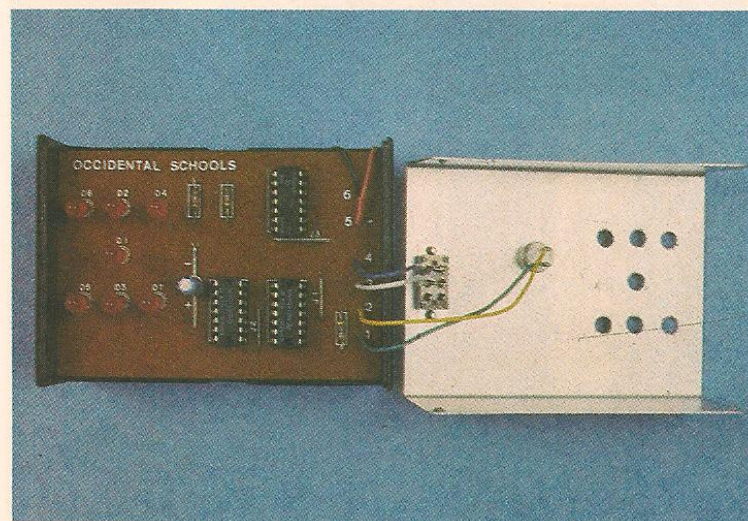
**TABELA I — LIGAÇÃO DOS FIOS NA PLACA, NAS PILHAS, NO INTERRUPTOR DE PRESSÃO E NA CHAVE H-H**

COMPONENTES	FIOS	Nº DOS FUROS
Interruptor de pressão	10 cm/verde n.º 22	1
	10 cm/amarelo n.º 22	2
Chave H-H	10 cm/branco n.º 22	3
	10 cm/azul n.º 22	4
Pilhas Terminal positivo Terminal negativo	15 cm/vermelho n.º 22	5
	15 cm/preto n.º 22	6

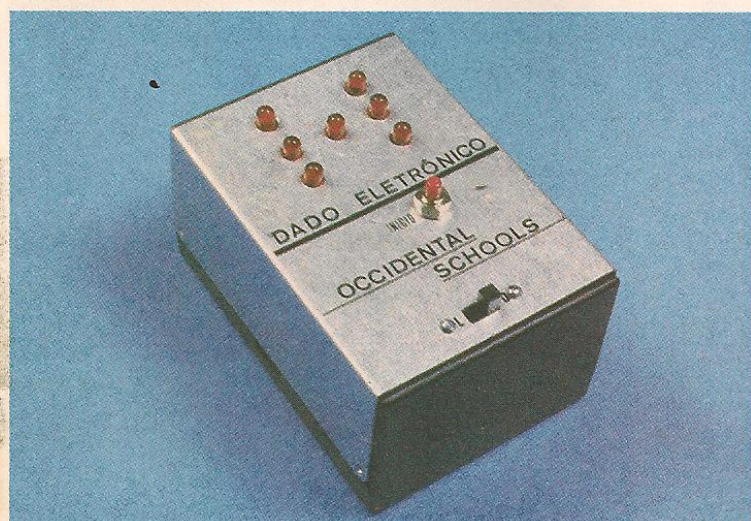


13. Fixação da placa de circuito impresso no chassi.

14. Fixação da chave H-H e do interruptor de pressão na tampa do chassi.



15. Aspecto final do dado eletrônico montado.



**Como funciona o circuito do dado eletrônico?**

Em linhas gerais, ele é formado por um oscilador, que gera um sinal de onda quadrada em determinada frequência, e por circuitos auxiliares que realizam a contagem desse sinal e a excitação dos LED.

**Por que razão são usados sete LED para apresentar os resultados, se o número máximo de pontos é seis?**

São usados sete LED para que a forma do dado eletrônico aproxime-se o mais possível da forma de um dado real. Note que o LED central só acende para formar os números 1, 3 e 5.

**Qual é a corrente consumida pelo circuito do dado eletrônico?**

O consumo varia de acordo com o número de LED acesos. Se os seis LED estão acesos, e este é o maior resultado possível, temos um consumo de, no máximo, 80 mA aproximadamente.

**As pilhas do aparelho precisam ser trocadas freqüentemente?**

Não. Como o aparelho apresenta um baixo consumo de corrente, a vida útil das pilhas será relativamente longa.

# RELÓGIOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS

*Um dia seu relógio pára porque você esqueceu de dar corda. No outro, atrasa porque não foi feita a regulagem necessária. Isto tudo é problema do passado, agora que existem os relógios elétricos e eletrônicos. Eles são verdadeiras jóias, dispensam manutenção e têm uma precisão absoluta. Veja aqui como eles funcionam.*

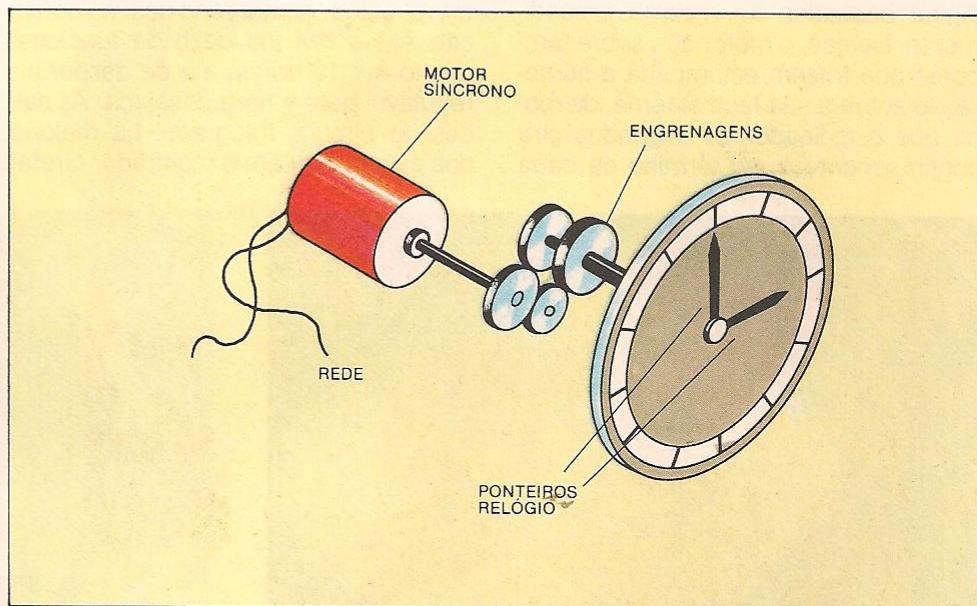
Até algum tempo atrás, quase todos os relógios tinham funcionamento mecânico, e eram dotados de um sistema de molas acumuladoras da energia proveniente de um agente externo. Essa energia era aplicada manualmente, por meio de uma "borboleta" externa. Hoje, esse sistema foi substituído pelos relógios automáticos, e já não há mais necessidade de se dar corda periodicamente. O relógio automático possui em seu interior um sistema inercial, que acumula a energia produzida pelos movimentos do braço da pessoa que o está carregando.

Essa denominação — relógio elétrico e relógio eletrônico — é bastante ampla e compreende inúmeras formas, dimensões e modelos, seja do tipo de pulso, seja de parede ou de mesa. É possível, porém, estabelecer uma classificação, de acordo com a forma e o princípio de funcionamento de cada sistema:

- Relógios elétricos de parede ou de mesa alimentados pela rede elétrica.
- Relógios de parede ou de mesa com alimentação própria, geralmente por corrente contínua.
- Relógios de pulso alimentados por corrente contínua.

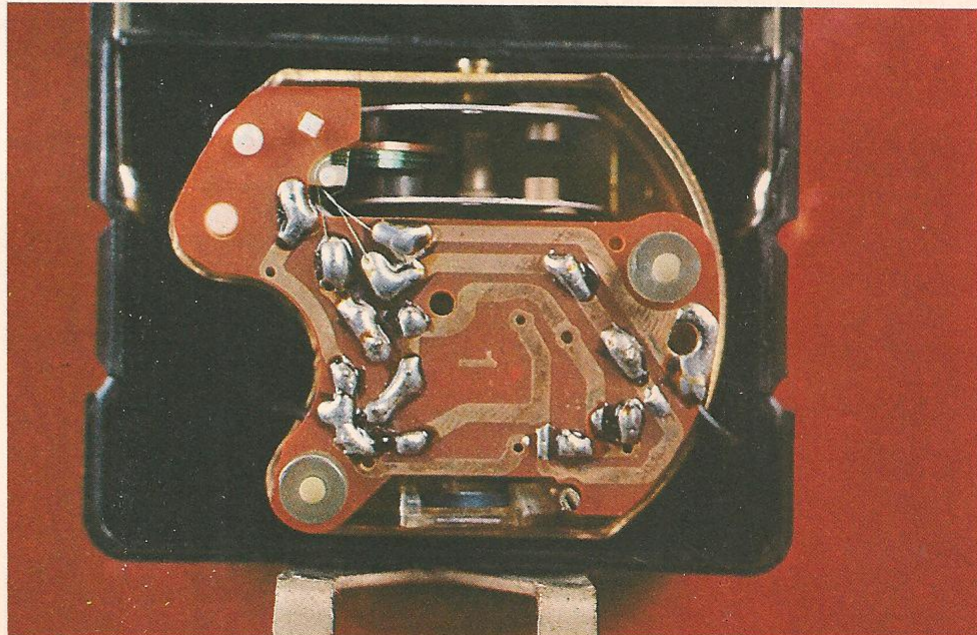
Todos os tipos de relógios descritos aqui podem, por outro lado, pertencer a duas categorias — analógica ou digital — de acordo com a forma pela qual a indicação do tempo é feita: por ponteiros que giram em um círculo calibrado em unidades horárias (analógica) ou por indicação numérica que oferece imediatamente a hora, momento por momento, sem a necessidade de nenhum acessório (digital).

Os relógios alimentados pela rede elétrica são constituídos, na versão analógica, por um motor do tipo **síncrono**,



**Figura 1. Esquema de funcionamento de um relógio acionado por motor síncrono.**

**ABAIXO: circuito elétrico de um relógio analógico a pilha, cujo motor é diretamente acionado pelo oscilador.**



no qual o regime rotatório é inteiramente controlado pela frequência da rede elétrica. Nesse caso, a sua precisão depende totalmente desta.

O sistema baseia-se numa **redução** feita por engrenagens que permitem a adequação da velocidade de rotação à velocidade necessária para a indicação dos segundos, que corresponde a uma rotação por minuto (1 rpm). Por meio de outras engrenagens, que reduzem a velocidade para a sexagésima parte desta, move-se o ponteiro que indica os minutos e, por outro sistema semelhante, avança então o ponteiro menor, o das horas.

Existem ainda modelos de indicação digital baseados no mesmo procedimento. Nestes, o motor age sobre tambores que trazem estampada a numeração sobre a sua face externa, de modo que o indicador de segundos gira continuamente e, ao término de cada

evolução, faz avançar em um número o indicador de minutos. Por um sistema semelhante é acionado o indicador das horas. Este sistema deu origem aos modernos relógios digitais, em que não existe nenhum motor ou peças móveis, já que o princípio de funcionamento é completamente eletrônico.

Esse princípio é baseado num circuito que toma a frequência da rede como referência para a indicação, efetuada por meio de um dos modelos conhecidos de mostrador (a LED, fluorescente ou com cristal líquido).

Os relógios digitais são construídos a partir de um circuito integrado que realiza a maior parte das funções, entre as quais estão compreendidas a indicação AM e PM (no caso de funcionamento até 12 horas) e a de despertar, regulável para a hora desejada. As saídas do circuito integrado, na maioria dos casos, excitam o mostrador direta-

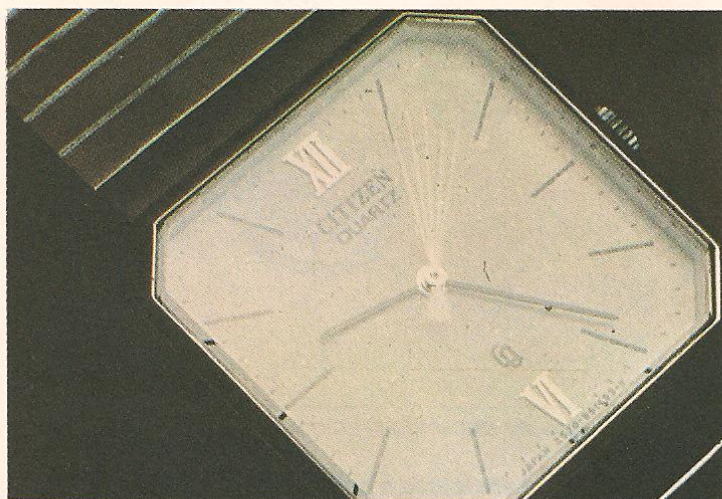
mente ou por meio de um conjunto de transistores intermediários.

Os relógios com alimentação por corrente contínua são caracterizados por um sistema de alimentação autônomo, geralmente à base de pilhas, e requerem, para o seu funcionamento normal, um circuito de base que ofereça uma indicação bem estável no transcorrer do tempo.

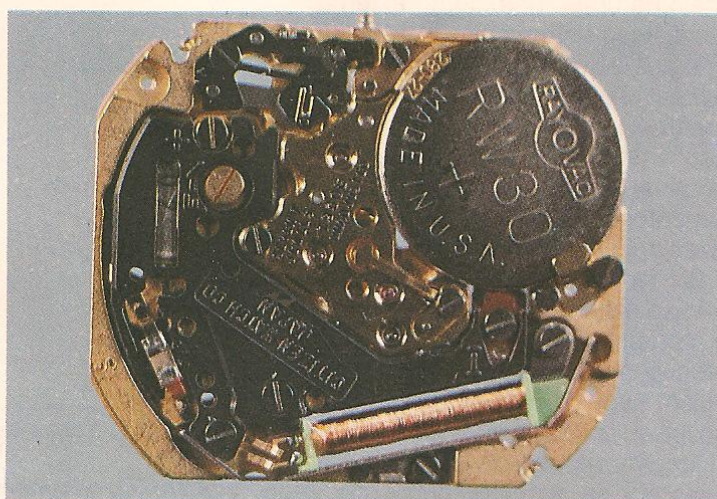
Isso não acontece com o sistema que descrevemos anteriormente, e que deve contar com a frequência da rede para o seu funcionamento.

Aqui, o circuito é formado de um oscilador com estabilidade suficiente para garantir um mínimo de precisão na indicação horária, de modo que sejam evitados ao máximo os desvios (atrasos ou adiantamentos) em relação à hora certa.

Os relógios analógicos que fazem parte deste grupo também são constitu-



ACIMA: relógio analógico. Os ponteiros deste modelo são acionados por um motor que funciona com pulsos de 1 Hz.



ACIMA: aspecto interno de um relógio analógico de pulso. Podem ser vistos a pilha, o motor na parte inferior e o cristal de quartzo, que controla o oscilador e lhe fornece precisão.

Figura 2. Diagrama de blocos de um relógio digital eletrônico, capaz de tomar como referência a frequência da rede.

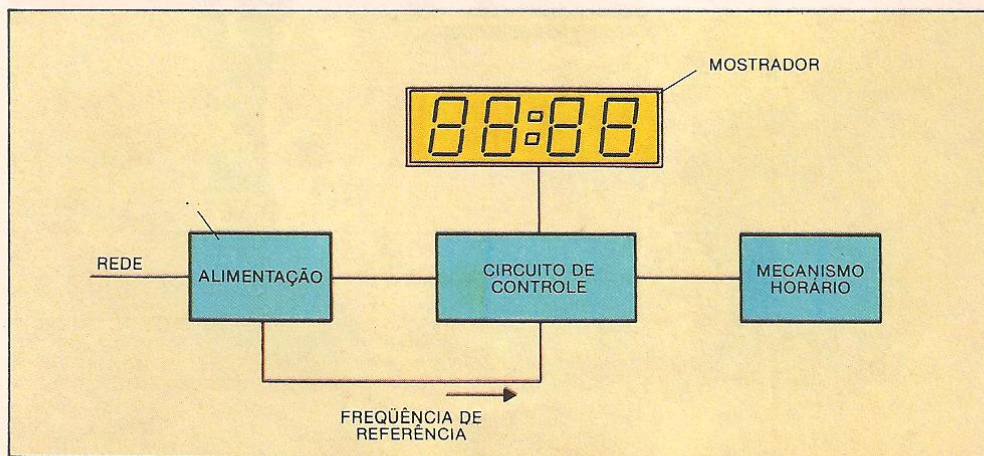
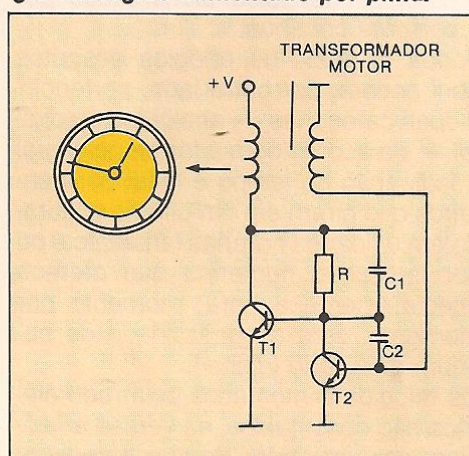


Figura 3. Esquema elétrico de um relógio analógico alimentado por pilha.



dos de um oscilador e de um motor que move os ponteiros. Seu sistema mais simples consta de um circuito, cujo esquema é semelhante ao apresentado na figura 3.

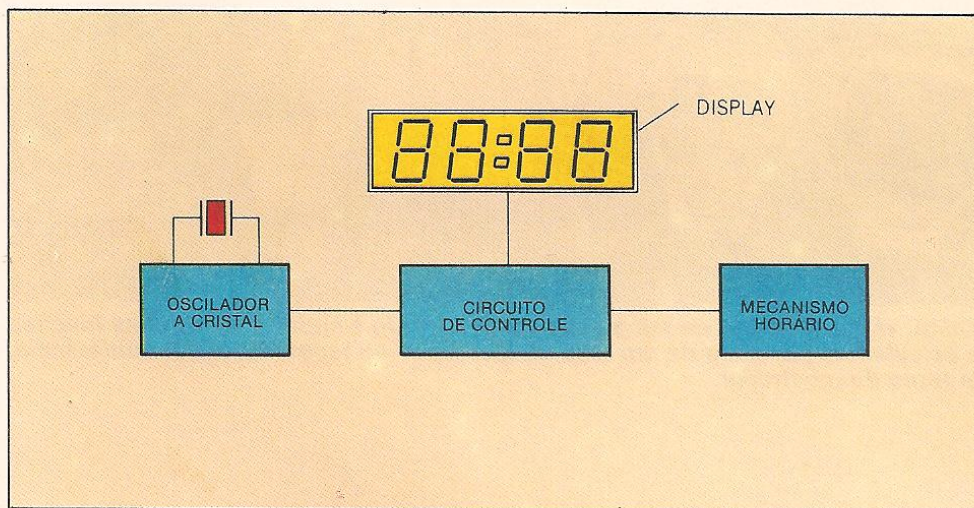
Neste esquema, o transformador é colocado diante de um disco que contém um par de ímãs que aciona um eixo que fornece o movimento e que pode ser considerado uma forma elementar de motor. Quando a corrente passa através do circuito primário do transformador, produz-se um campo magnético que movimenta um dos dois ímãs, fazendo com que o disco gire até que o ímã saia da zona de influência do transformador. Juntamente com o movimento exercido pelo campo magnético do transformador, existe um movimento contrário, exercido por uma mola que se opõe à rotação. Isto faz com que o sentido seja invertido e o disco retorne para trás. O segundo ímã reali-

za o mesmo movimento do primeiro, somando os dois efeitos.

Um outro sistema de grande precisão é aquele que tem um cristal de quartzo que controla o oscilador. Os dois trabalham com base numa frequência de 32768 Hz, atingindo um notável aumento na precisão.

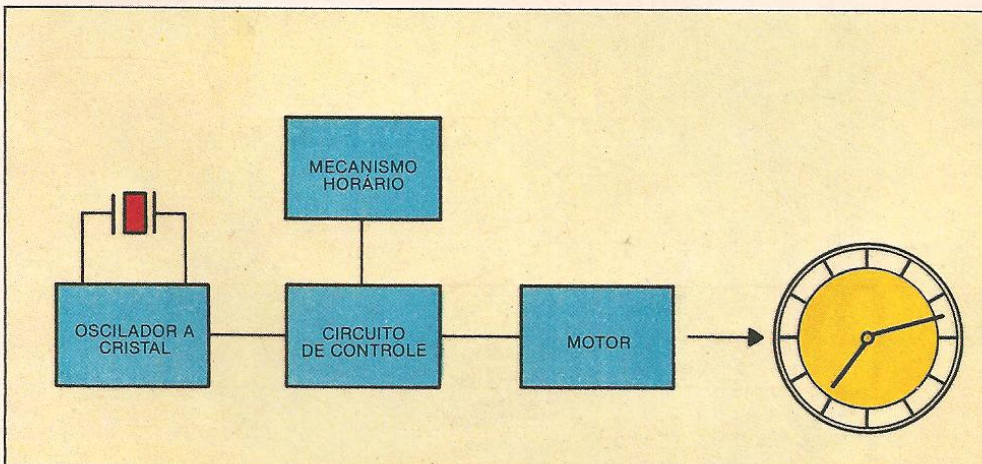
O circuito eletrônico contém geralmente um circuito integrado encarregado das funções de oscilador, divisor de frequência, regulador das horas e da excitação do motor que move os ponteiros. O sinal obtido pelo circuito consiste em uma série de pulsos na frequência de 1 Hz, traduzidos em um movimento descontínuo do ponteiro correspondente aos segundos, que avança aos pulos.

Os relógios digitais desse grupo são bastante semelhantes àqueles ligados à rede, mas são dotados de um oscilador a cristal cujos componentes se



**Figura 4. Diagrama de blocos de um relógio digital; este modelo tem um oscilador controlado por um cristal.**

**Figura 5. Diagrama de blocos de um relógio analógico; este modelo é dotado de um oscilador controlado por um cristal.**



**Além da alimentação, que outra função tem a rede elétrica no caso dos relógios eletrônicos digitais?**

*Da rede obtém-se um sinal destinado a servir de referência de frequência para o circuito do relógio, e isso fornece a precisão e a estabilidade necessárias.*

**Como é o sistema oscilador motor de um relógio analógico alimentado por pilha?**

*As possibilidades são duas: na primeira, que é mais simples, o enrolamento do motor é parte integrante do oscilador. Na segunda, o oscilador, controlado por um cristal de quartzo e por um circuito integrado, realiza a divisão da frequência e a excitação do motor, fornecendo pulsos na frequência de 1 Hz.*

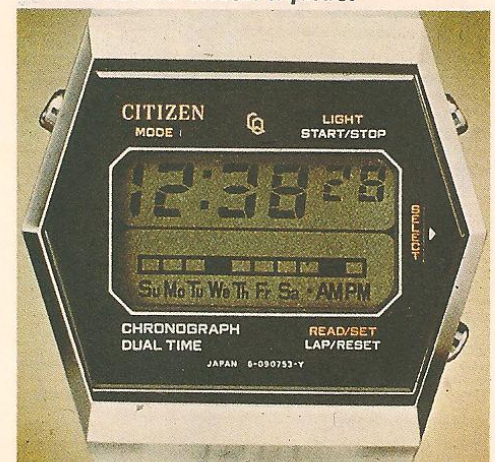
**Por que razão, em um relógio analógico, os ponteiros se movem de forma descontínua?**

*Porque o motor que move os ponteiros recebe um sinal formado de pulsos, de modo que cada um deles provoque um pulso — correspondente a 1 segundo — do ponteiro de segundos.*

**Quais os tipos de mostrador que são usados para a indicação da hora nos relógios digitais?**

*Para este tipo de relógio são utilizados mostradores formados por LED, fluorescentes ou de cristal líquido. Estes últimos são usados exclusivamente nos relógios de pulso e permitem uma longa duração das pilhas.*

**ABAIXO: relógio digital de pulso. Todas as indicações de hora, de cronômetro e de calendário são realizadas por um mostrador de cristal líquido.**



## INSTRUMENTAÇÃO

acham, em sua maior parte, no circuito integrado, com exceção do cristal propriamente dito e do capacitor variável de regulagem.

Os relógios eletrônicos de pulso constituem um grupo muito específico, no qual todos os modelos são caracterizados pela alimentação com corrente contínua fornecida por pilhas de óxido de prata ou de mercúrio. Esses relógios são controlados por um oscilador chamado **mestre**, com cristal de quartzo, e que confere uma elevada estabilidade e precisão ao sistema.

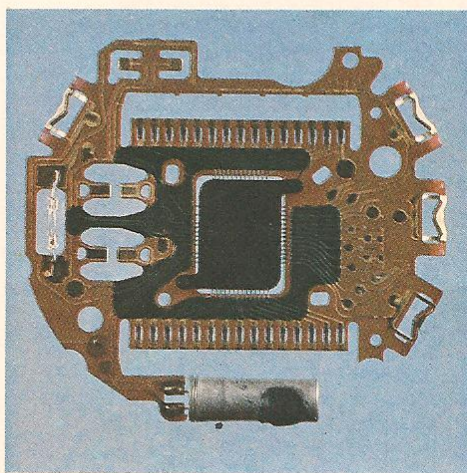
Atualmente, os modelos são extremamente variados, mas podem ser reunidos em três categorias básicas: relógios analógicos, relógios digitais e, finalmente, relógios analógico-digitais, que foram introduzidos no mercado mais recentemente.

Os relógios do tipo analógico possuem uma estrutura bem semelhante à dos relógios mais volumosos, com a diferença de que apresentam um elevado nível de miniaturização das peças e componentes, que podem ser colocados em invólucros de apenas 2,5 mm de espessura.

Em alguns modelos são empregados osciladores de alta frequência, da ordem de 4 MHz, com o objetivo de obter um erro máximo de mais ou menos 3 segundos por ano. Os relógios digitais

de pulso substituíram o motor e o ponteiro por um mostrador de cristal líquido, que é acionado diretamente pelo circuito integrado de base. Este sistema permite incorporar facilmente funções adicionais, como o calendário dos dias e meses, o cronômetro, o despertador, etc.

Os modelos de relógios analógico-digitais combinam os dois sistemas que foram descritos anteriormente, de modo a fornecer simultaneamente a informação da hora sob a forma digital e analógica. Esses modelos podem também trabalhar com dois horários diferentes, o que é muito útil em determinadas profissões.

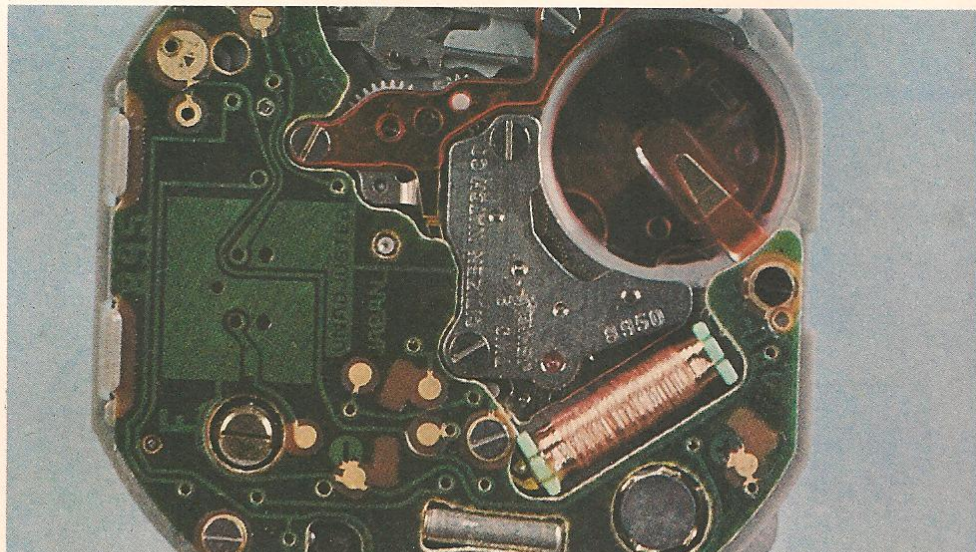
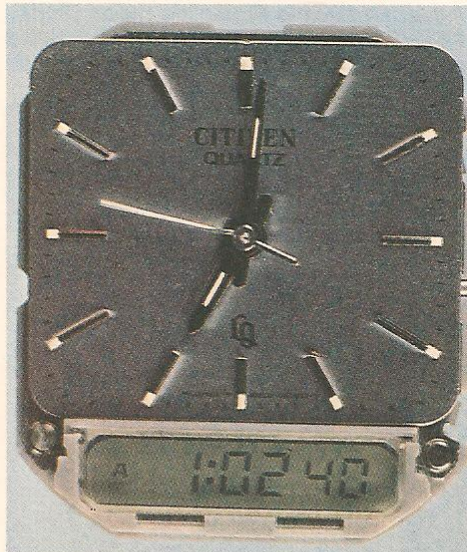


**ACIMA:** circuito impresso de um relógio digital de pulso. Ao centro vê-se o circuito integrado, que desempenha todas as funções necessárias. Na região inferior está situado o cristal de quartzo.



**ACIMA:** vários modelos de relógio digital. O do meio é capaz de realizar as funções de calculadora por meio de um teclado localizado ao longo de sua circunferência, em torno do mostrador.

**ABAIXO:** relógio analógico-digital, uma das realizações mais avançadas da tecnologia dos relógios eletrônicos.



**ABAIXO:** vista do interior do mesmo relógio analógico-digital. Pode-se observar claramente que as técnicas do tipo mecânico combinam-se perfeitamente com as do tipo puramente eletrônico.