

# ELETRÔNICA

16

para todos



**ONDAS  
QUE SE REPETEM**



**CIRCUITOS  
SIMULTÂNEOS**



**FORMAS  
DOS TRANSISTORES**



**MÚSICA  
ELETRÔNICA**



**CONTROLES  
DO OSCILOSCÓPIO**



**Projeto nº 16:  
INDICADOR DE NÍVEL  
COM MEDIDOR  
DO NÍVEL DE PICO**

SALVAT

JACKSON  
LIBRI



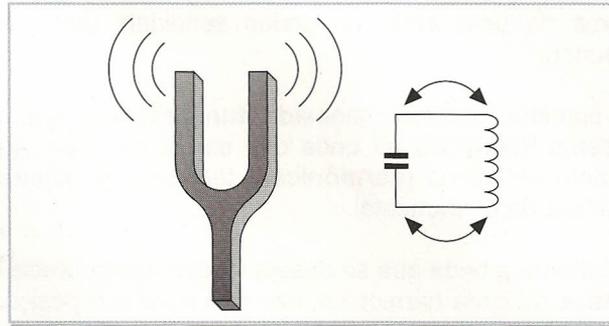
# Ondas que se repetem

Alguns tipos de sinais cíclicos são comuns nos circuitos eletrônicos; aprofundaremos este tema já introduzido na lição 4

A senóide pode ser encontrada em muitos fenômenos naturais pois representa o tipo mais simples de **oscilação**. Por exemplo, é senoidal o som produzido para fazer vibrar um **diapasão** que serve para afinar os instrumentos musicais.

O seu equivalente eletrônico é um **circuito ressonante**, no qual um capacitor e uma bobina trocam continuamente energia, gerando uma senóide.

Recordemos que a forma e a frequência dos sinais sinusoidais não muda em circuitos compostos só por componentes **lineares** (resistores, bobinas, capacitores...): muda só a amplitude.



O diapasão e o circuito LC ressoam produzindo uma senóide.

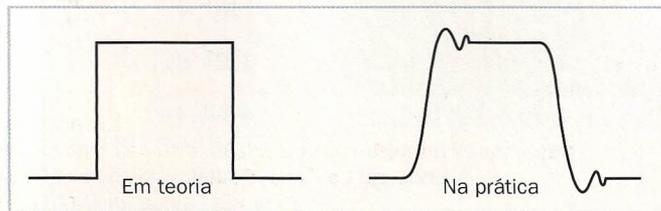
## A ONDA QUADRADA NÃO EXISTE

Também são bastante comuns as ondas quadradas nas quais a tensão **se alterna** periodicamente entre dois valores que estão bem definidos (por exemplo o L e o H nos circuitos digitais).

Ao contrário da senóide, que existe realmente, uma onda quadrada é um **ideal**: a tensão não pode mudar instantaneamente entre os dois valores, porque necessita de utilizar um certo tempo.

Como acontece também com um simples fio que tem uma indutância mínima e uma capacitância baixa para a terra, as **bordas** de subida e descida vão se atrasando.

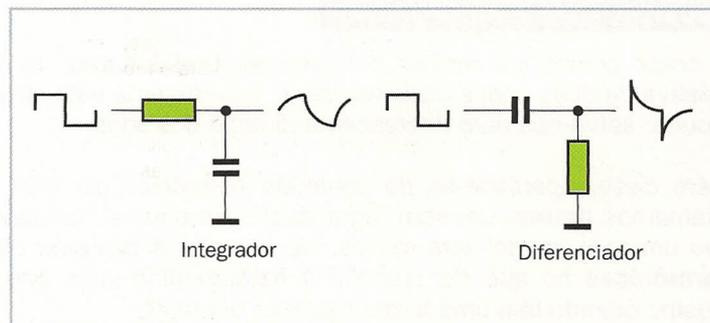
A figura mostra a diferença entre uma onda quadrada teórica e um exemplo **prático** típico, onde também estão incluídos os fenômenos que se podem verificar entre o vídeo da subida (ou descida) e a zona constante.



As ondas "quadradas" são apenas uma simplificação teórica pois a realidade é bastante diferente, especialmente quando aumenta a frequência.

## ONDAS QUADRADAS E CIRCUITOS LINEARES

Se ultrapassarmos os limites anteriormente descritos, as ondas quadradas podem ser **alteradas** de forma notória, mesmo nos circuitos apenas lineares. A figura mostra um integrador primitivo (RC) e um **diferenciador** (CR): nos dois casos, a carga lenta do capacitor produz uma forma de onda diferente.



Um integrador diminui as variações bruscas, ao passo que um diferenciador as põe em evidência.



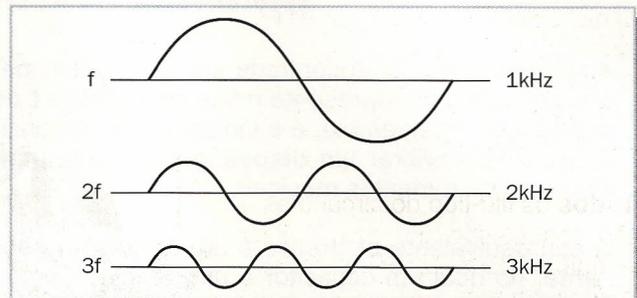
# Série de Fourier

**Quando somamos senóides de frequência múltipla uma da outra, podemos construir qualquer forma de onda**

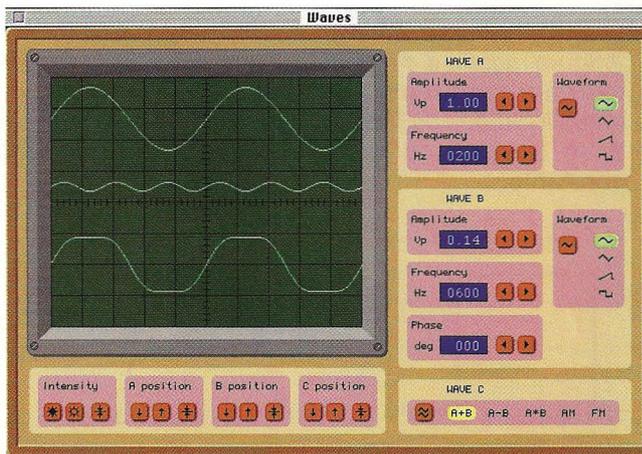
O matemático francês Joseph Fourier demonstrou que qualquer onda periódica pode ser considerada como a soma de uma **série** de ondas senoidais (série de Fourier).

A primeira senóide, chamada **fundamental**, tem a mesma frequência da onda que se vai construir, enquanto as outras (**harmônicas**) têm uma frequência múltipla da fundamental.

Conforme a onda que se deseja variam a **amplitude** e a **fase** de cada harmônica, isto é, o nível e a posição para a frente ou para trás (atrasada ou antecipada).



*Exemplo de frequência fundamental (f), segunda harmônica (2f) e terceira harmônica (3f).*



*Com a fundamental e a terceira harmônica (que tenha a amplitude adequada), tem-se uma primeira aproximação de uma onda quadrada.*

## CONSTRUIR UMA ONDA QUADRADA

Por exemplo, pode-se obter uma onda quadrada somando a fundamental com as suas **harmônicas desiguais**: se a primeira é de 100 Hz, são necessárias senóides de 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, etc.

A amplitude das diferentes harmônicas é **decrecente**: à medida que sobe a frequência, as harmônicas vão-se tornando mais fracas.

Critério empírico: quanto mais **angulosa** é a onda, mais harmônicas senoidais são necessárias para a definir completamente.

Para que se possam construir ângulos limpos e precisos como os de uma onda quadrada ideal, seria necessário um número **infinito** de harmônicas.

## OUVIDO, FASE E HARMÔNICAS

O nosso ouvido (ou melhor, o nosso cérebro) é capaz de distinguir a **fase relativa** de duas ondas distintas, isto é, quando uma está atrasada em relação à outra: serve-nos para diferenciar a direção dos sons.

Além disso, apercebe-se do conteúdo harmônico de uma onda, à qual chamamos **timbre**: um som "agradável" tem poucos harmônicos ao passo que um som "surdo" tem muitos. No entanto, é bastante difícil distinguir a fase das **harmônicas** no que diz respeito à fundamental: duas ondas podem parecer iguais mesmo quando têm uma forma bastante diferente.



# Decibéis

**Para medir os sons e os sinais que os representam, é mais cômodo usar uma escala logarítmica**

O ouvido humano pode escutar muitos ruídos, alguns deles bastante fracos como, por exemplo, o murmúrio do vento entre as folhas, ou muito fortes, como a aterrissagem de um avião: é freqüente dizer-se que o ouvido tem uma ampla **dinâmica**.

No entanto, utiliza uma **escala logarítmica**: isto é, aprecia as variações percentuais do som em lugar das variações absolutas. Por exemplo, uma passagem de 2 W para 3 W de áudio, ou de 200 para 300W, é entendida como **incrementos** do mesmo nível, embora a variação seja de 1 W no primeiro caso e de 100 W no segundo.

## Intensidades sonoras indicativas em decibéis:

30 dB	susurro
40 dB	sala silenciosa
50 dB	chuva de intensidade média
60 dB	conversa, máquina de lavar pratos
70 dB	aspirador, trânsito
80 dB	despertador
—	limiar de um possível dano auditivo —
90 dB	máquina de cortar grama
100 dB	serra elétrica
110 dB	concerto de rock, discoteca
120 dB	aterrissagem de um avião
130 dB	martelo pneumático
140 dB	arma de fogo

*A sensibilidade do ouvido é proporcional ao nível sonoro expresso em decibéis, isto é, ao logaritmo do nível ideal.*

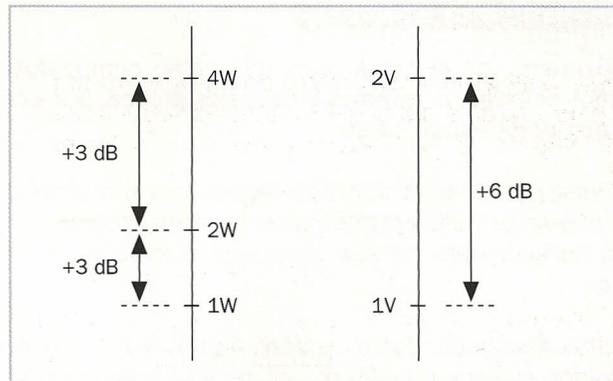
## MEDIDAS EM DECIBÉIS

Também neste caso a relação entre dois sinais (por exemplo, o ganho de um amplificador) é expressa numa medida logarítmica: o **decibel**, de símbolo dB.

Embora formalmente seja o submúltiplo de “bel” (que usa o nome de A. G. Bell), o decibel é a unidade da medida **padrão**.

Como se pode ver na figura, a potência do sinal duplica-se de 3 em 3 dB (e multiplica-se por dez de 10 em 10 dB): por exemplo, “aumentar 20 dB” significa multiplicar a **potência** por 100.

No entanto, a **tensão** duplica-se de 6 em 6 dB, e multiplica-se por dez de 20 em 20 dB: realmente, se duplicarmos a tensão quadruplica a potência, que varia com o quadrado da tensão ( $W = V^2R$ ).



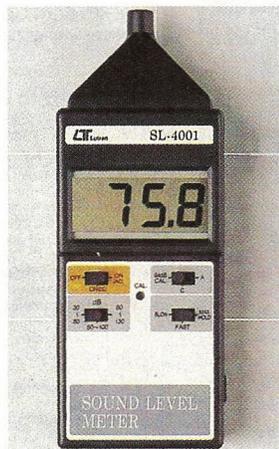
**Somar um valor em dB equivale a multiplicar a tensão (ou a potência).**

## VALORES EM dB ABSOLUTOS

O decibel (dB) é uma medida relativa entre dois sinais. Há também unidades de medida absolutas em decibéis, que possuem simplesmente um **ponto de referência**.

Por exemplo, os **dBV** referem-se a 1 V rms: um sinal de 1 V corresponde por definição a 0 dB, ao passo que 2 V são +6 dB, 4 V são +12 dB, etc.

Também se utiliza a medida da potência **dBm**, que se refere a 1 mW com



uma certa carga resistiva: normalmente 600  $\Omega$  para os circuitos de áudio (aproximadamente 0,78 Vrms) e 50  $\Omega$  para os de rádio (também aproximadamente 0,22 Vrms).

**As ferramentas de áudio e para medições acústicas indicam freqüentemente o nível do sinal em dBm, ou em dB com respeito a um ponto de referência.**



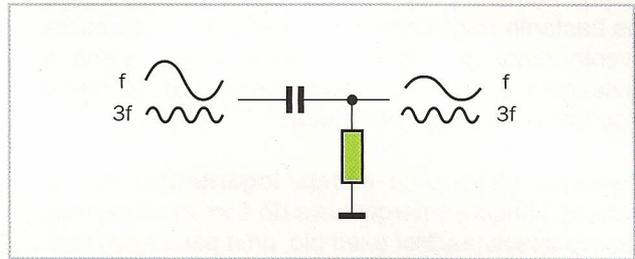
# Análise com senóides

**A série de Fourier sugere uma determinada técnica para calcular o comportamento de um circuito com qualquer onda periódica**

Quando se conhece o comportamento de um circuito (linear) com ondas senoidais nas distintas freqüências, pode-se prever o seu efeito sobre **qualquer** forma de onda.

É suficiente **decompor** a onda nos seus componentes senoidais, considerar o efeito (na sua amplitude e fase) sobre cada uma delas e, finalmente, "montá-las de novo" para obter a saída.

Esta técnica de análise, denominada no **domínio da freqüência**, simplifica muito o trabalho e também é muito utilizada nos projetos do circuito.



*Para calcular o comportamento de um circuito é bastante cômodo considerar as diferentes componentes, uma de cada vez.*

## CIRCUITOS NÃO LINEARES

Infelizmente, os circuitos reais não estão compostos apenas por elementos lineares: os **diódos e os transistores**, por exemplo, não têm um comportamento linear.

Nalguns casos, este fato não representa um problema: por exemplo, num **amplificador** os transistores funcionam normalmente na sua zona que é mais ou menos linear.

Noutras situações, como no caso de um diodo corretor, as senóides individuais podem ser **modificadas** na sua forma: a técnica da decomposição já não é suficiente.



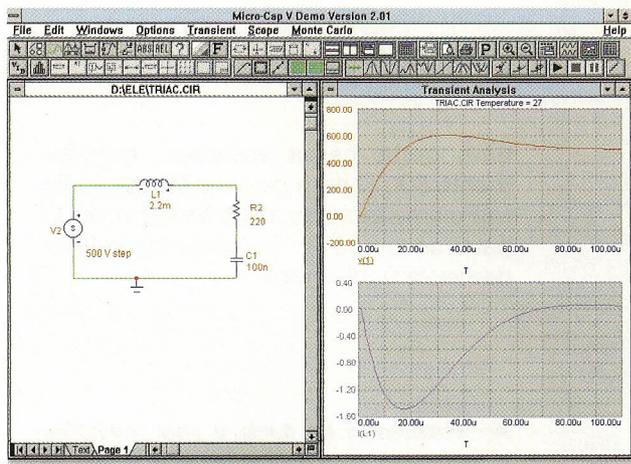
## SINAIS NÃO REPETITIVOS

Também nos circuitos lineares, o método da decomposição funciona somente se a onda é **periódica**, isto é, se sempre se repete.

Alguns impulsos simples, ou, de todos os modos, variações que não são periódicas, implicam cálculos mais complicados: passa-se para a análise no **domínio do tempo**.

Na prática, o comportamento do circuito é analisado **instante a instante**, utilizando intervalos de tempo suficientemente breves.

Atualmente, a análise dos circuitos já está **automatizada** e, como veremos mais adiante, ao alcance de qualquer adepto (embora os conhecimentos técnicos não sejam demais).



**Análise no domínio do tempo com um dos diferentes programas derivados do conhecido SPICE da Universidade de Berkeley.**



# Circuitos simultâneos

## Uma referência central resolve muitos problemas causados pelos atrasos dos circuitos

Uma solução prática para os problemas das temporizações e atrasos reside na utilização de um **relógio central** de referência, o "master clock".

**Todos** os flip-flop do circuito estão controlados por este único relógio e, portanto, comutam ao mesmo tempo.

Entre cada comutação e a seguinte, os sinais podem mudar **livremente**: o glitch e as transições que não são desejadas não



incomodam, porque o circuito é simplesmente combinatório.

Depois de ter decorrido o tempo suficiente para que todos os sinais sejam **estáveis**, chega a posterior transição do relógio central e o circuito pode passar para outro estado.

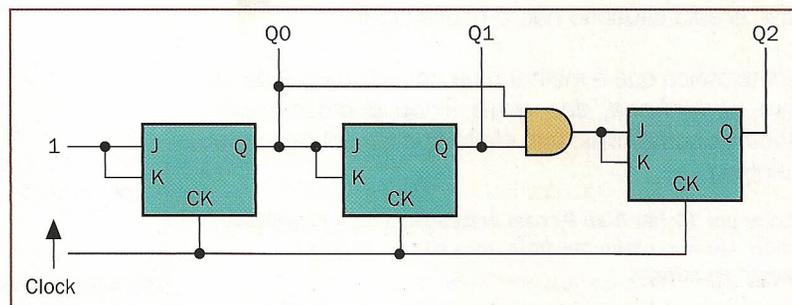
*O relógio central indica o tempo para todo o circuito: é como o diretor de uma orquestra.*

## CONTADORES SIMULTÂNEOS

Enquanto nos contadores assíncronos os distintos flip-flop saltam um a seguir ao outro e cada um deles com o transporte do anterior, nos contadores simultâneos devem comutar **todos juntos**.

Deste modo, não é possível esperar o transporte do anterior. É necessário **prevê-lo** e enviar o sinal para a entrada do flip-flop seguinte.

*Contador simultâneo de três bits: cada flip-flop prepara-se para mudar de estado quando todos os flip-flop anteriores estão em 1.*



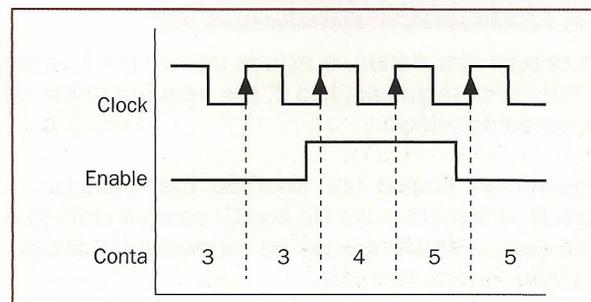
Esta previsão não tem nada de especial: é um circuito **combinatório**, cuja saída é 1 se as saídas do contador representam um número que dará o transporte ao próximo contador.

## HABILITAÇÃO

Se o relógio é único para todo o circuito, não pode ser utilizado como **entrada** de contagem: o contador avançaria sempre, em lugar de contar os acontecimentos que interessam.

Utiliza-se, no entanto, uma entrada de habilitação (**enable**), que indica se deve-se avançar ou ficar na mesma conta: se o enable falta, o contador fica parado.

Esta entrada também deverá ser **simultânea**, isto é, deve mudar somente entre uma transição ativa do relógio e a seguinte.



*O relógio chega sempre, o enable decide se o contador avança ou não.*



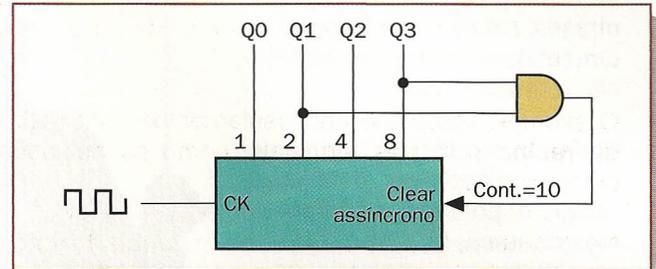
# Contadores não binários

Com um pouco de lógica combinatória, os contadores podem ser divididos pelo número desejado

Os circuitos que já foram vistos até agora são contados (ou divididos, pois é o mesmo) somente por potências de dois: 2, 4, 6, 8, 16, etc.

Para contar um número diferente de impulsos, por exemplo 10, poder-se-ia **colocar a zero** o contador quando chegar a este valor.

É possível realizá-lo com um circuito **combinatório** que possa ler as saídas e os comandos da entrada colocação a zero (clear), como indica na figura.



Contador por 10 (de 0 a 9) com colocação a zero assíncrona.

## COLOCAÇÃO A ZERO SIMULTÂNEA

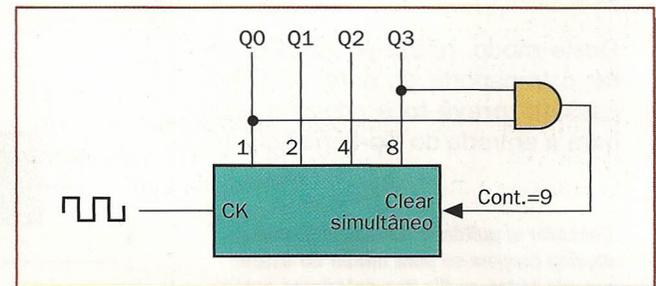
O circuito anterior tem um problema: quando é colocado a zero torna-se assíncrono, isto é, produz-se **depois** de o contador ter superado a conta máxima de 9.

Deste modo, os flip-flop podem ser colocados a zero num momento diferente do da transição do **relógio** central, e esta situação não é conveniente.

Este fato indica que é melhor uma entrada de colocação a zero **simultânea**, das quais estão dotados muitos contadores comerciais: tem efeito apenas sobre o vídeo do relógio.

**Contador por 10 (do 0 ao 9) com colocação a zero simultânea: o CLEAR não tem efeito imediato, mas sim no seguinte "impulso" do relógio.**

No entanto, pode-se controlar com **prioridade de um ciclo**: isto é, pô-lo ativo (por exemplo, 1) quando o contador alcança a conta máxima (9): esta terá efeito na transição seguinte.

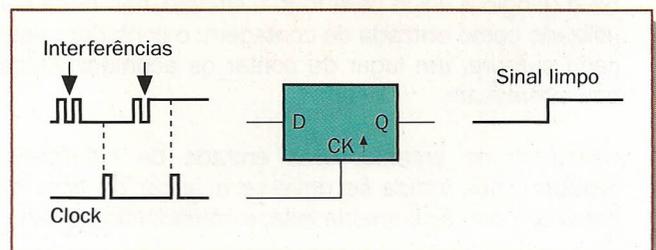


## FLIP-FLOP PARA LIMPAR E ATRASAR

Num circuito simultâneo, o estado do circuito é válido com intervalos regulares, isto é, **em seguida antes** de cada borda do relógio.

Se queremos **limpar** um sinal de interferências, é suficiente acrescentar um flip-flop D: como a entrada é levada para a saída apenas no momento do relógio, esta última é sempre válida.

O sistema introduz um **atraso** no sinal, igual ao ciclo do relógio; é utilizado unicamente para obter este efeito.



Um flip-flop do tipo D limpa um sinal, escondendo o que acontece entre uma transição do relógio e a seguinte.

# Funções dos contadores

**Os contadores simultâneos oferecem normalmente diferentes possibilidades, além do simples avanço**

Não é necessário que os contadores devam contar para poderem aumentar. Também podem ser concebidos para **contarem ao contrário**.

Um tipo bastante comum é o **up/down**, que tanto pode contar para aumentar como para diminuir, conforme o estado da entrada correspondente.

Naturalmente, esta entrada também é **simultânea**, e pode ser mudada entre um "impulso" do relógio e o seguinte, invertendo o sentido da conta.

Por exemplo, é possível **contar** as pessoas que estão presentes numa sala, aumentando (fazendo avançar) o contador quando uma delas entra e diminuindo quando uma outra sai.

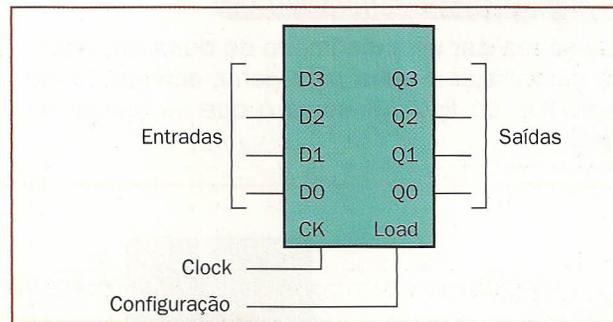


## CONFIGURAÇÃO DE UM NÚMERO

Para além da colocação a zero, e como alternativa para este fato, muitos contadores têm entradas de **carga** (load) no número correspondente ao das saídas.

Servem para **configurar**, ou recarregar, o número desejado no contador, de modo que apareça nas saídas; que normalmente, também são simultâneas.

Também se pode utilizar esta entrada para **recarregar** um contador ao contrário com o número desejado, cada vez que chega a zero, de forma análoga ao contador simultâneo por 10 visto anteriormente.

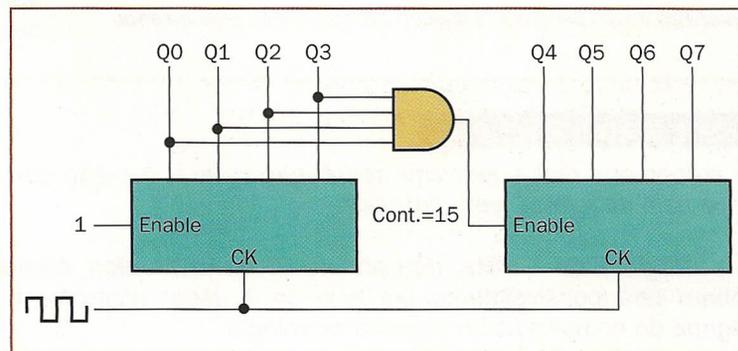


*Se a entrada da carga está ativa, os valores nas entradas D substituem os que estão presentes nos flip-flop e visíveis nas saídas Q.*

## DESENVOLVER OS CONTADORES SIMULTÂNEOS

Dois contadores simultâneos não podem ser simplesmente ligados **em cascata**, como acontece com os contadores assíncronos.

O transporte do primeiro chega um instante **depois** da transição do relógio, o que significa que é muito tarde. Num circuito simultâneo, os sinais devem estar preparados antes do relógio. Por isso também é necessário **prever** que no próximo ciclo haja transporte, por exemplo, observando que o contador se encontre na sua conta máxima.



*Contador simultâneo de 8 bits obtido com os dois contadores de 4 bits: o segundo avança um passo quando o primeiro volta para zero.*



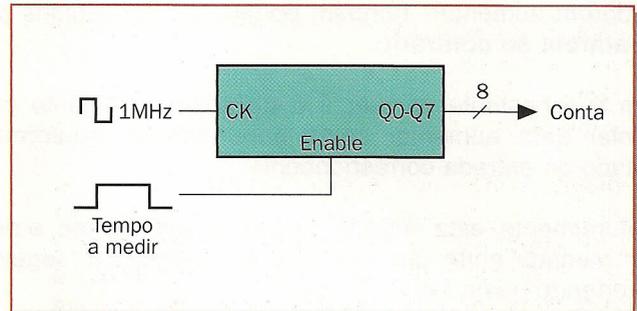
# Temporizadores digitais

Os contadores podem ser utilizados para medir os intervalos do tempo

Com um relógio estável e **preciso**, e um oscilador de quartzo, pode ser construído facilmente um cronômetro.

É suficiente ligar a entrada procedente do exterior (1 = conta, 0 = não conta) ao sinal do **enable** do contador.

Como o contador avança sempre que esta entrada fica ativa, a conta alcançada corresponderá ao **tempo** durante o qual o sinal permanecerá a 1.

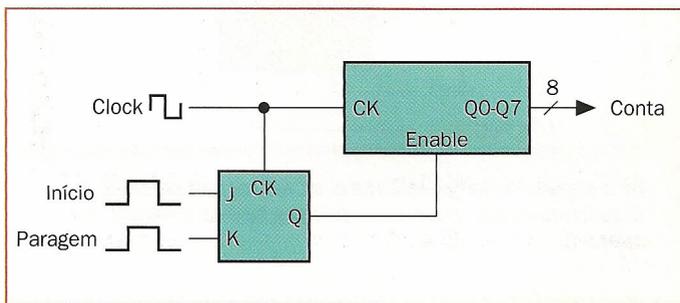


*Cronômetro digital: se o relógio está a 1 MHz, o contador indica durante quantos micro-segundos a entrada ficou a 1.*

## CRONÔMETRO INÍCIO/PARAGEM

Pode-se realizar um cronômetro de **duas entradas**, uma para iniciar e outra para parar, acrescentando um flip-flop do tipo J-K como o que se mostra na figura.

Um impulso de **início** ativará a saída Q, ativando o contador, enquanto um impulso de **paragem** reterá a conta (por exemplo para medir a velocidade de um veículo com duas células fotoelétricas).



*Cronômetro início/paragem: o flip-flop J-K começa ou pára a conta.*

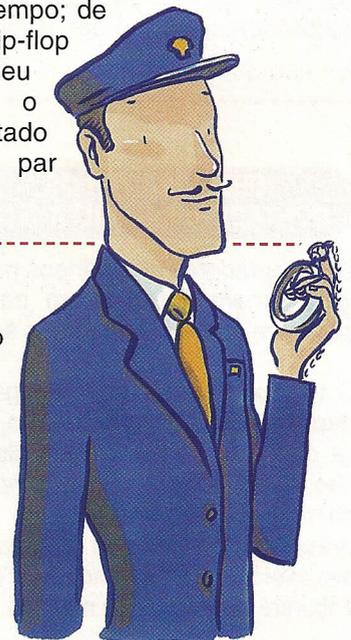
Observemos que os impulsos de início e paragem, quando estão ligados às entradas de um flip-flop simultâneo, devem permanecer pelo menos **durante** um ciclo do relógio para poderem ser detectados. Nem sequer devem estar **ativos** ao mesmo tempo; de outro modo, o flip-flop J-K inverteria o seu próprio estado, o que pode ser evitado apenas com um par de portas lógicas.

## RESOLUÇÃO E PRECISÃO

Um cronômetro digital tem uma **resolução** igual à duração do relógio: mede o tempo com intervalos bem definidos.

Se o relógio é de 1 MHz, não poderá medir **intervalos** inferiores a 1  $\mu$ seg; também terá possivelmente um erro de 1  $\mu$ seg, conforme o momento da chegada do comando com respeito ao relógio.

A **precisão** depende do oscilador central e da sua estabilidade, tanto no tempo como na variação da temperatura, alimentação e outros fatores.





# Formas dos transistores

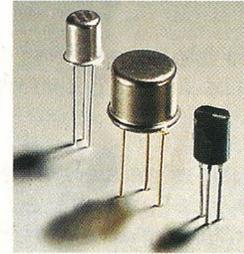
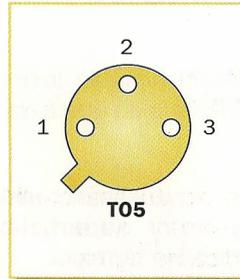
**Os encapsulamentos podem ser muito diferentes, consoante a aplicação e a montagem previstas**

Os transistores de **baixa potência**, isto é, de sinal, são fabricados normalmente de uma caixa de plástico, chamada encapsulamento, de pequenas dimensões.

O exemplo típico é o encapsulamento semicircular de **resina** com três terminais, como os definidos pelos padrão TO-92 ou TO-237.

No entanto, a resina tem uma **resistência térmica** relativamente elevada. Não é adequada se o componente tiver de dissipar o calor de uma certa potência.

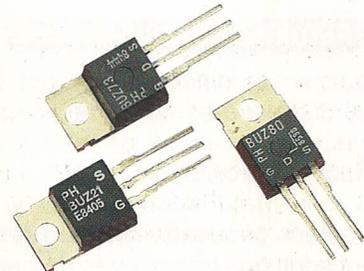
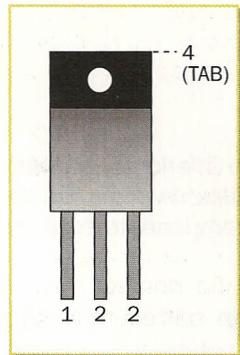
Os encapsulamentos **metálicos**, como os TO-5, TO-18 ou TO-39, permitem uma melhor eliminação do calor, por um preço de custo de produção mais elevado.



## RESINA E METAL JUNTOS

Para potências médias, até dezenas de watts, utilizam-se muito os encapsulamentos **compostos**, formados por um corpo de resina e uma placa metálica com um orifício.

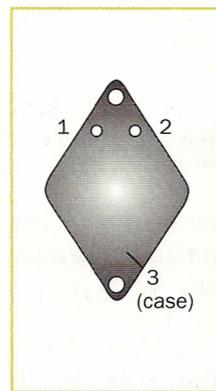
Este último permite a montagem do transistor sobre um **dissipador** de maiores dimensões, fixando-o com um parafuso ao orifício já criado: a superfície plana transmite bem o calor. Entre os numerosos **tipos** do encapsulamento composto, mencionaremos os já difundidos TO-220, TO-126 e TO-247, utilizados por exemplo em muitos amplificadores de áudio.



## POTÊNCIAS ALTAS

Se a potência que se tem de dissipar for grande, será necessária uma resistência térmica **muito baixa** entre o componente e o dissipador.

Deste modo são utilizados grandes encapsulamentos **metálicos**, como o velho mas sempre atual TO-3, ou mesmo módulos compostos (resina/metal) com fixação do parafuso, e ainda encapsulamentos de grande parafuso. Os encapsulamentos que se mostram nas figuras não são utilizados apenas para os transistores de união e sem serem de união, mas também para outros semicondutores, como alguns **circuitos integrados lineares** (não digitais).





# Dissipadores

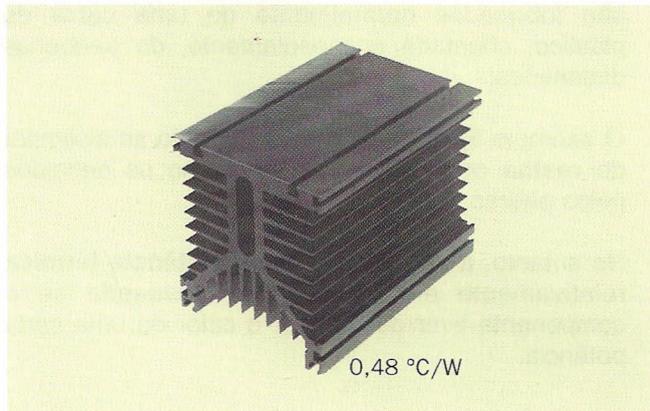
**Com frequência, a resistência térmica do encapsulamento não é suficiente para manter a temperatura dentro dos limites admissíveis**

A resistência térmica entre a união e o encapsulamento do 2N3055, no encapsulamento TO-3, é apenas de 1,5 °C/W, mas a existente entre o **encapsulamento e o ar** é alta (mais de 40 °C/W).

Significaria isto que apenas 5 W de dissipação levariam a temperatura a  $5 \times 40 = 200$  °C mais do que a do ambiente.

Para reduzir a resistência térmica é necessário um dissipador que exponha ao ar a maior **superfície** possível, melhorando assim o intercâmbio térmico.

Os dissipadores são feitos, normalmente, de alumínio anodizado, como os que se mostram na figura. Uma **massa termo-condutora**, a silicone, melhora a condução entre o componente e o dissipador.



*Dissipador para potências altas, com a resistência térmica muito baixa, isto é, com elevada condução do calor.*

## PEQUENOS DISSIPADORES

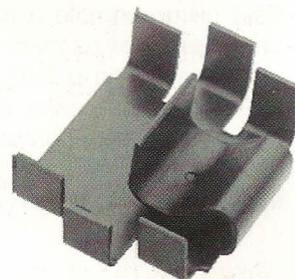
Quando as potências em jogo são inferiores, bastam os dissipadores de dimensões bastante mais limitadas, que evitam ter de montar o componente **fora** da placa do circuito impresso.

Existem pequenos dissipadores **de estrela** que são enfiados nos transistores de baixa potência, e versões planas para os de média potência (por exemplo TO-220).

Os dissipadores, que são similares aos de altas potências mas com dimensões mais reduzidas, podem ser montados no circuito impresso com o fim de que a **temperatura** se mantenha dentro dos limites aceitáveis.



24 °C/W



29 °C/W

*Dissipadores de pequenas dimensões que se enfiam nos transistores de potência média-baixa.*

## ISOLAMENTO E CONDUÇÃO TÉRMICA

A parte metálica de um transistor de média ou alta potência está muitas vezes **ligada eletricamente** a um terminal que é, normalmente, o coletor.

Se o dissipador está acessível, é necessário interpor isoladores **termo-condutores** especiais, disponíveis em formas adequadas para as diferentes caixas, mas que aumentam no entanto a resistência térmica.



*Massa termo-condutora para reduzir a resistência térmica entre o componente e o dissipador.*





# Outros contadores simultâneos

## Alguns exemplos das características específicas oferecidas pelos diferentes modelos de contadores

O 74HC163 conta apenas para a frente, mas tem uma entrada de CLEAR e ainda uma de LOAD: portanto, é possível introduzir à **vontade** tanto um zero como um valor.

A diferença fundamental do 74HC191 reside em que a entrada de LOAD e também a de CLEAR são **simultâneas** e atuam somente na etapa ativa da subida do relógio. Este fato pode ser verificado na **tabela verdade**, onde se indica que não é suficiente pôr altas (H) as duas entradas, mas sim que é necessária a transição ativa do relógio.

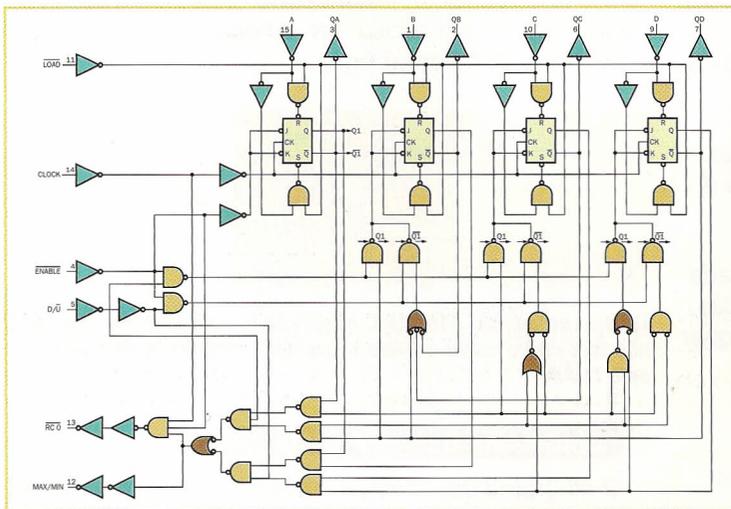
M54/74HC162/163					FUNÇÃO
CLR	LD	PE	TE	CK	
L	X	X	X		NOVO INÍCIO A "0"
H	L	X	X		INICIAÇÃO DE DADOS
H	H	X	L		SEM CONTAGEM
H	H	L	X		SEM CONTAGEM
H	H	H	H		CONTAGEM
X	X	X	X		SEM CONTAGEM

A tabela verdade do 74HC163 é um contador simultâneo com colocação a zero e configuração simultâneas.

### CONTAGEM E TRANSPORTE

Muitos contadores existem tanto na versão binária como na **decimal**, e os já mencionados não são

uma exceção: o 74HC190 e o 74HC161 contam até 9 em vez de até 15.



O 74HC190 (decimal) e o 191 (binário) têm também uma saída de MAX/MIN: a contagem **máxima** conta-se para cima ou a contagem **mínima** conta para baixo.

Esta saída permite, para um possível contador ligado em cascata, **preparar-se** de modo que se avance de forma simultânea no termo do ciclo da contagem anterior.

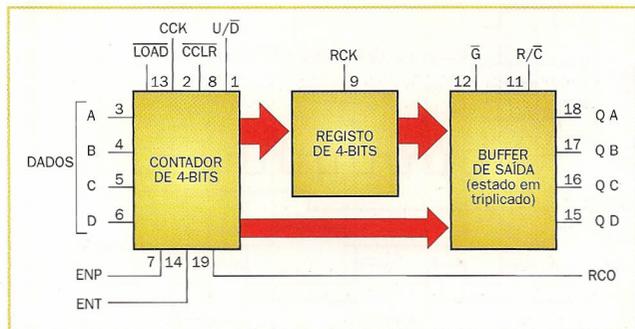
A estrutura de um contador simultâneo (o 74HC190) é muito complexa; felizmente não é preciso conhecê-la para o utilizar.

### REGISTRADORES NA SAÍDA

Entre as numerosas características oferecidas pelos diferentes modelos de contadores, existe também a possibilidade de **capturar** as saídas com um "registrador", que, na prática, é um grupo de flip-flop D.

Por exemplo, o 74HC697 (como outros próximos a ele) permite "fotografar" a **contagem atual** enviando uma etapa da subida para a entrada RCK.

Pode-se depois **escolher**, juntamente com a entrada adequada R-C, se enviar para as saídas o valor atual do contador (C), ou o que está memorizado no registo (R).



Esquema dos blocos do 74HC697: está incluída uma memória de 4 bits para conservar um valor enquanto a contagem continua.



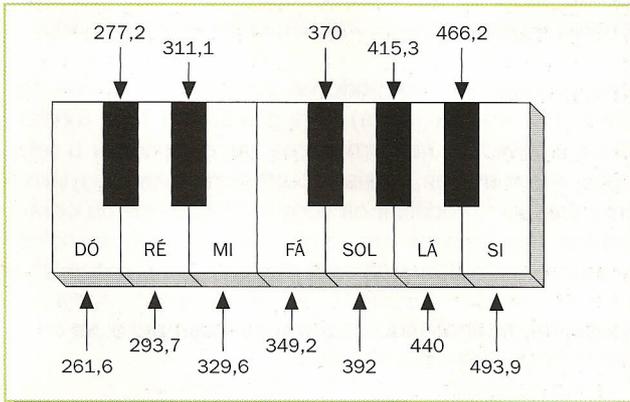
# Música eletrônica

## Conhecendo a estrutura dos sons emitidos pelas ferramentas tradicionais, pode-se tentar reproduzi-los

As notas musicais distinguem-se pela sua **freqüência** ("altura" em termos musicais), por exemplo, o Lá central corresponde a 440 Hz.

A escala do piano está dividida em **oitavas**, cada uma das quais está composta por 12 notas igualmente espaçadas (contando as teclas pretas) numa escala logarítmica. Em cada oitava a freqüência **duplica**: há um Lá reproduzido por uma flauta a 220 Hz, um outro a 880 Hz, etc. A presença dos harmônicos faz que o ouvido as reconheça como a mesma nota.

*A freqüência de cada nota, em Hz, obtém-se multiplicando a anterior pela raiz décimo-segunda de 2 (1,059 mais ou menos).*



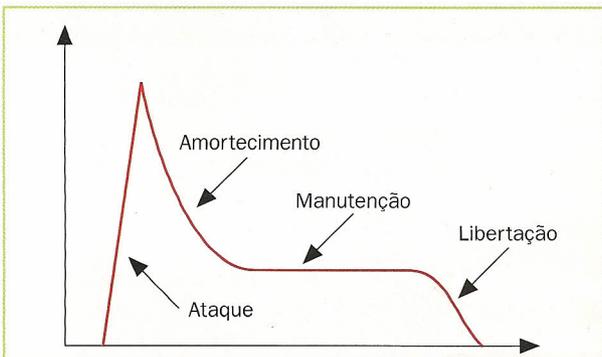
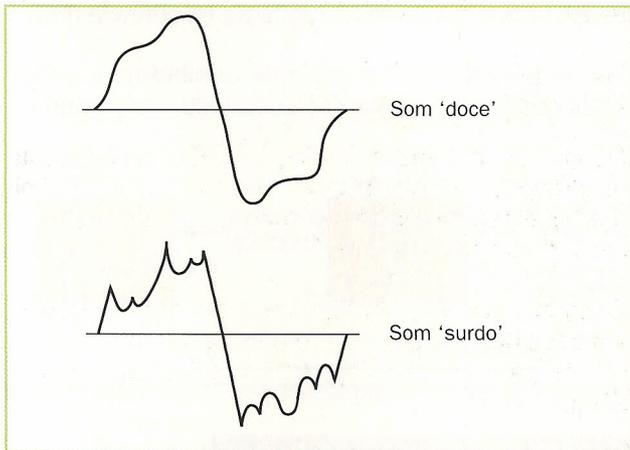
### TIMBRE E FORMA DE ONDA

O mesmo Lá reproduzido por uma flauta e por um violino tem um timbre diferente: muda o **conteúdo harmônico**, que é mais limitado na flauta, e mais rico no violino.

Também se o **observarmos** no osciloscópio, o som doce produzido pela flauta está mais próximo da fundamental (isto é, uma senóide), ao passo que o som surdo do violino tem uma forma mais complexa.

Utilizando freqüências múltiplas da fundamental (harmônicas) e dosificando o seu conteúdo, é possível **imitar** os diferentes sons.

*Dois formas de onda de freqüência similar mas com conteúdo de harmônicas diferente têm um timbre diferente.*



*Envoltura da amplitude (ADSR: atacar, amortecer, sustentar, libertar) para simular um instrumento de percussão.*

### ENVOLTURA E VARIAÇÕES

As notas musicais não têm amplitude (volume) constante, mas têm um princípio e um final; freqüentemente a amplitude **varia** enquanto que a nota soa.

Um instrumento de **percussão**, como o piano, pode simular-se variando a envoltura, isto é, a amplitude do sinal no tempo, por exemplo, com o método já mostrado na figura.

Durante o curso da nota também se podem produzir **variações** mais ou menos periódicas da amplitude (trêmulo), freqüência (vibrato) e timbre. A imitação perfeita de um instrumento tradicional não é simples.



# Síntese musical

**A técnica da produção dos sons artificiais evoluiu ao mesmo tempo que a eletrônica**

Os primeiros **sintetizadores**, como os famosos Moog (tirado do nome do seu criador), eram compostos por numerosos módulos que se ligavam entre eles à vontade.

Havia por exemplo **osciladores** controlados através do teclado (ou manualmente) para produzir a nota fundamental, e diversos “deformadores” para modificar o seu timbre. Além destes, haviam outros módulos que também permitiam modificar os sons já produzidos ou **combiná-los** (também de um modo não linear) para obter sons distintos, embora não necessariamente “naturais”.

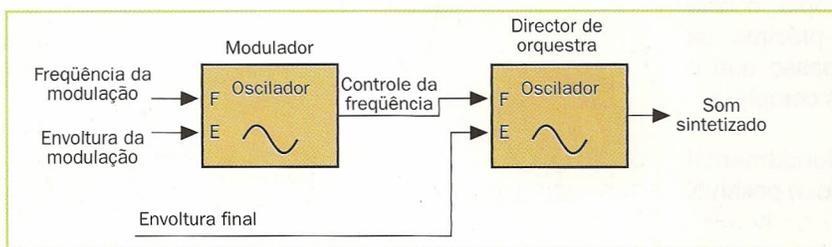
*Os diferentes módulos dos sintetizadores eram ligados por meio de fios e conectores de áudio.*



## SÍNTESE FM

Posteriormente apareceu uma técnica já desenvolvida, que é utilizada pelas placas de som dos computadores pessoais, e que é a da **modulação de frequência (FM)**.

Consiste essencialmente em **dois osciladores**, cada um dos quais produz uma senóide modulada (variada)



sobre a amplitude com a envoltura desejada. A saída do primeiro, que é uma onda relativamente lenta, é utilizada para variar a **freqüência** do segundo (isto é, ser modulado sobre a freqüência).

Também se utiliza normalmente um gerador de **ruído branco** para simular determinados instrumentos de percussão, como os pratos.

**Síntese musical FM: a primeira forma de onda modula sobre a freqüência para a segunda.**

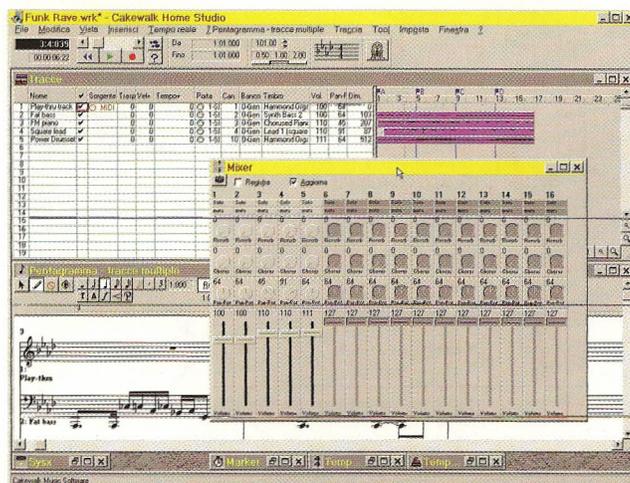
## AMOSTRAS E TABELA DE ONDAS

A redução dos custos dos componentes, especialmente os das memórias, tornou possível uma nova forma de encarar este problema, que foi o de **gravar** o som dos instrumentos.

O sinal colhido por um microfone é **amostrado**, isto é, é medido a intervalos regulares e muito breves de tempo. A forma da onda é armazenada como se fosse uma seqüência de números (“tabela de ondas”).

Esta é, portanto, uma técnica **digital** e já não é analógica: na sua forma mais evoluída permite um claro realismo e uma grande flexibilidade (o instrumento até pode ser imaginário).

**Programa de seqüências para controlar a reprodução das notas amostradas ou sintetizadas, tomadas de instrumentos ligados com fio MIDI.**





# Controles do osciloscópio

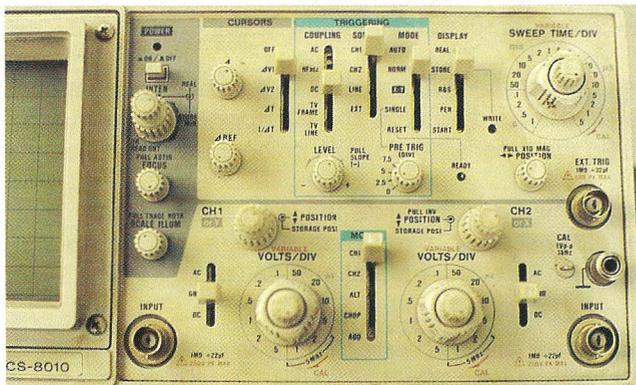
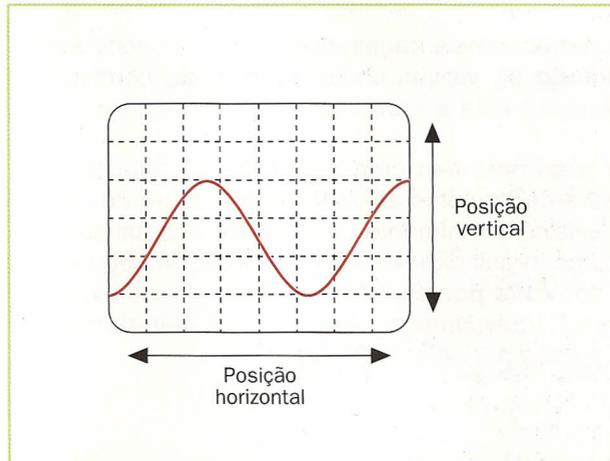
**Em primeiro lugar é necessário saber controlar o traço no vídeo**

O controle da **luminosidade** regula a visibilidade dos traços: se é muito baixa não se vê, se muito alta lê-se mal (e com o tempo podem-se “queimar” os fósforos do vídeo deixando o sinal).

O controle da **posição vertical**, separado por cada traço, permite deslocá-la para um lugar pré-selecionado. No entanto, seria útil fazer coincidir a posição de repouso com uma linha da quadrícula.

O controle da **posição horizontal**, único para todos os traços, é regulado, no entanto, de forma que os mesmos não sobressaiam das bordas do vídeo.

*Efeito dos controles de posição do osciloscópio.*



**É necessário ter muita atenção para encontrar os controles principais do traço, no já muito cheio painel de um osciloscópio.**

## VER MELHOR

Quando o traço não está perfeitamente nítido, depois de ter verificado que a entrada está ligada à massa ou, pelo menos, sem a sonda ligada, pode-se atuar sobre o possível controle da **iluminação**.

Em alguns modelos existe também um regulação de **astigmatismo** e/ou **rotação** para pôr o traço perfeitamente horizontal.

No caso de não aparecer nenhum traço, deve-se colocar o estimulador na posição **auto** (automático), para garantir que a caneta eletrônica viaje também na ausência do sinal.

## BASE DE TEMPOS

Uma vez que o traço está bem visível, pode-se regular a **velocidade de varredura** utilizando o controle giratório dos saltos da base dos tempos.

Normalmente está calibrada, (bem regulada), de modo que a cada posição corresponde um **tempo** exato para cada divisão do vídeo.

Por exemplo, se a regularmos em **0,1 seg/div**, o traço utilizará 100 mseg para atravessar cada quadrado: o movimento do ponto luminoso estará bem visível.



Para assegurarmos a precisão da varredura, é necessário verificar se o controle giratório da **variação contínua** (situado normalmente no centro dos saltos) está na posição de repouso.

**Regulação da base de tempos, ou velocidade da varredura: com saltos (controle externo) ou variável (controle interno).**

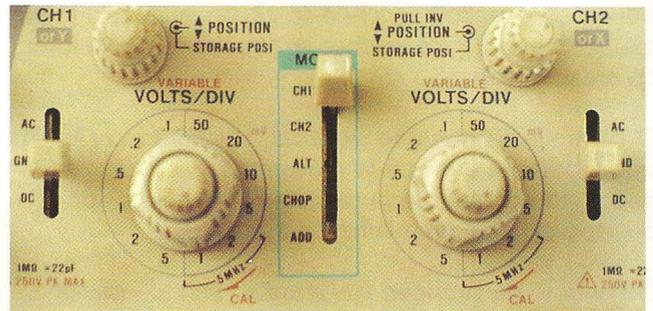


# Traços, entradas e sondas

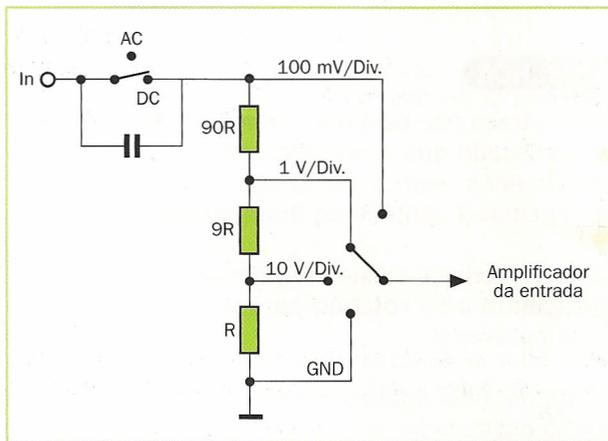
## O percurso do sinal da entrada ao vídeo está influenciado por diversos fatores

Se existirem vários traços, cada um deles pode estar **habilitado** ou visível, conforme o botão correspondente que o está a ligar a um canal de entrada.

Toda a entrada tem uma regulação ou afinação de **sensibilidade**; como acontece com a base dos tempos, existe normalmente um controle dos saltos que tem uma regulação variável adicional. A regulação está em **volts por divisão**: por exemplo, se seleccionarmos 5 V/div, uma tensão de 10 V à entrada deslocará o traço por dois quadrados



Regulação da sensibilidade de cada entrada; nos modelos de gama alta pode ser lida também no vídeo.



## UNIÃO DA ENTRADA

Como a deslocação vertical do traço é proporcional à tensão da entrada, o osciloscópio pode funcionar como um **voltímetro** rudimentar.

No entanto, o que interessa não é o valor em contínua do sinal, mas apenas o seu **componente alternado**. Neste caso seria necessário colocar um capacitor.

Normalmente já está disponível um comutador que permite escolher, para cada entrada, um **união** em contínua (direto) ou em alternada (capacitor).

*O comutador da entrada também tem uma posição de massa para regular o traço quando se verifica uma total ausência do sinal.*

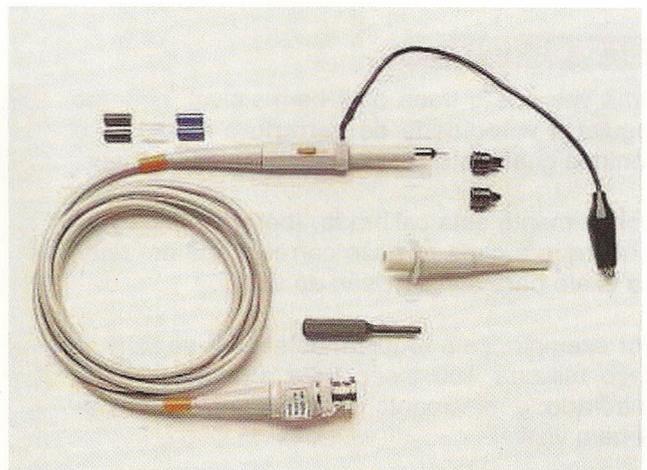
## SONDAS E SENSIBILIDADE

Nas entradas ligam-se as **sondas de medida**, que já estão calibradas para transmitirem o sinal sem distorções, compensando assim os efeitos do fio.

Freqüentemente, oferecem a possibilidade de **atenuar** o sinal, por exemplo, 10 vezes. O valor indicado pelo controlo giratório da sensibilidade será multiplicado por 10 (por exemplo, 5 V/div converte-se em 50 V/div).

É necessário recordar que o lado da **massa** das sondas está geralmente ligado à terra do osciloscópio e da rede elétrica. Não pode ser ligada a pontos que estejam submetidos a tensão.

**Ponteira da entrada:** o fio com o conector de pinça liga-se à massa o mais perto possível do ponto que se quer medir.





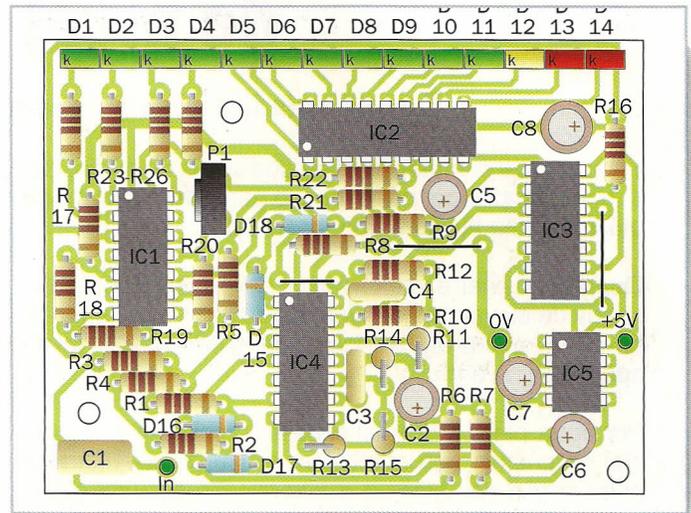
# Montagem do circuito

Apesar da relativa complexidade do circuito, os componentes não são muitos; atenção às três **pontes** do fio nu e às resistências que devem ser montadas na vertical (R11, R13, R14, R15).

Os **LED** do tipo retangular, devem ser colocados bem alinhados, respeitando sempre a polaridade. O cato-do, normalmente correspondente ao terminal mais curto, deve estar do lado marcado com um "K".

Se os LED forem montados na borda da base, convém não insistir muito com o soldador; os últimos três da direita têm uma **cor** diferente da dos outros, para indicar os níveis altos (em amarelo) ou excessivos (em vermelho).

**Plano de montagem dos componentes do medidor de nível: para que não haja nenhum erro, convém controlar bem antes de montar as peças.**



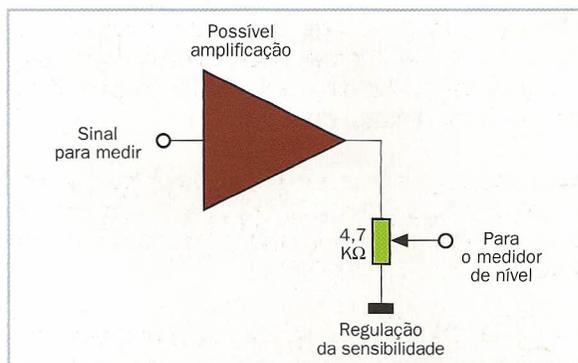
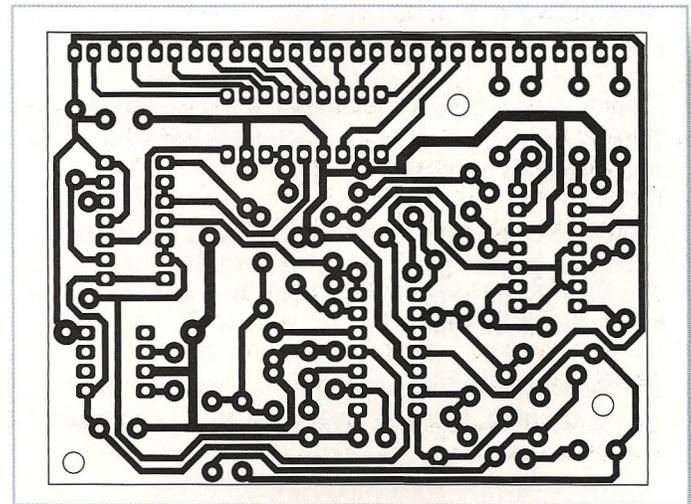
## LIGAÇÃO E TESTE

O medidor de nível necessita normalmente de **alimentação**, 5 V<sub>CC</sub> estabilizados, entre os pontos marcados como +5 V (terminal positivo) e 0 (terminal negativo), e o sinal de áudio para medir.

Este último é aplicado, através do **fio blindado**, entre o ponto In (condutor interno) e o mesmo 0 V (malha externa) que é a massa do circuito.

Se aplicarmos um sinal, por exemplo, da saída para o fones de um leitor de CD, ver-se-á uma **barra luminosa** móvel (o nível médio) e um **ponto** que indica o pico máximo do próprio sinal.

**Lado das soldas do circuito impresso: devido à densidade das trilhas, é necessário ter o cuidado de não ocasionar curto-circuitos com o cobre.**



**Calibragem (afinação) da sensibilidade da entrada do medidor de nível, para aproveitar a escala inteira do LED.**

## REGULAÇÕES

O **trimmer** P1 regula-se observando o display, de modo que se possa obter uma passagem gradual do LED D4, controlado pelo IC1, para o LED D5, controlado pelo IC2.

Uma indicação em decibéis (dB) é sempre **relativa** a um valor de referência; no nosso caso, não se disse que os LED vermelhos correspondam efetivamente ao limite que se deseja para o sinal.

Pode-se modificar facilmente a **sensibilidade** do circuito, ligando um potenciômetro de 4,7 KΩ à entrada, de modo que se torne mais fraco o sinal até que os LED vermelhos se acendam com o nível desejado.



# Indicador do nível com medidor do nível de pico

## Um prático indicador dos níveis médio e de pico dos sinais de áudio

É importante conhecer o **nível** dos sinais de áudio, isto é, a sua amplitude, por exemplo para gravar vozes ou música numa fita com bons resultados.

Quando o sinal é muito fraco, se o quisermos ouvir temos de elevar muito o volume do som, ampliando-o, de certo modo, até ao inevitável **ruído** de fundo do aparelho gravador.

Por outra parte, um sinal excessivo causará a saturação magnética das partículas da fita, ocasionando a deformação dos picos e a intromissão de uma desagradável **deformação sonora**.



*A qualidade da gravação depende muito do nível correto do sinal enviado para o gravador.*

### DO PONTEIRO PARA O LED

Os medidores de nível (do inglês Vumeter, "volume unit": unidade do volume) eletromecânicos mostravam a informação através de um **ponteiro** em movimento numa escala graduada.

Em todo caso, temos uma solução mais moderna que consiste em utilizar uma **banda do LED**. Esta banda ilumina-se até chegar à posição correspondente ao nível médio do sinal.

O nosso circuito tem também outra novidade: mede o **nível do pico**, isto é, o valor máximo alcançado pelo

sinal nos últimos instantes: é o que se tem que controlar para conseguir uma gravação correta.



*O medidor de nível de ponteiro é um galvanômetro, ligado para funcionar como medidor da tensão alterna, com indicação em dB.*

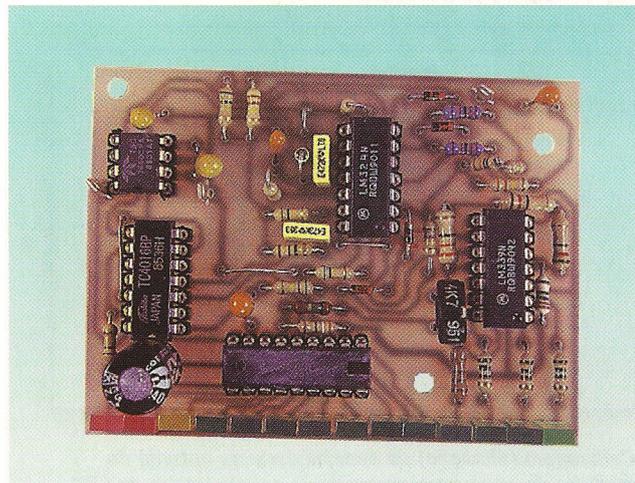
### APLICAÇÕES DO MEDIDOR DE NÍVEL

Para se poderem mostrar duas informações diferentes, na mesma banda do LED, vêm-se **por turnos**: o valor médio aparece como uma banda luminosa e o pico como um único ponto.

Esta versátil ferramenta pode ser utilizada para medir a amplitude de **qualquer** sinal de áudio ou, ligada a um microfone, com o nível sonoro presente no ambiente.

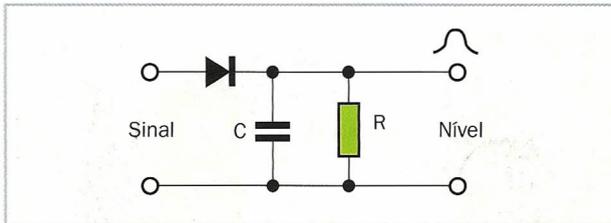
Em todo caso, a indicação é em **decibéis** (dB): cada LED indica aproximadamente 3 dB de variação, isto é, uma duplicação do nível da energia elétrica ou acústica.

*O medidor de nível já terminado; observe com atenção a linha do LED que indica o nível do sinal aplicado à entrada.*



## PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO

Para se poder representar a **amplitude** de um sinal é preciso medi-lo, o que se pode fazer com um de-



*Um detector normal pode medir a amplitude média do sinal, ou recordar o valor máximo durante algum tempo.*

## DISPLAY DE BARRAS

Quando dispomos de uma **tensão contínua** que indica o nível do sinal, é necessário decidir qual dos LED se deve acender, de modo que se desenhe uma banda luminosa.

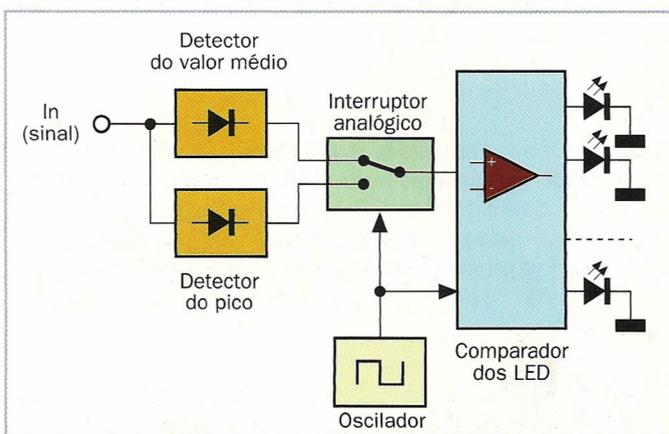
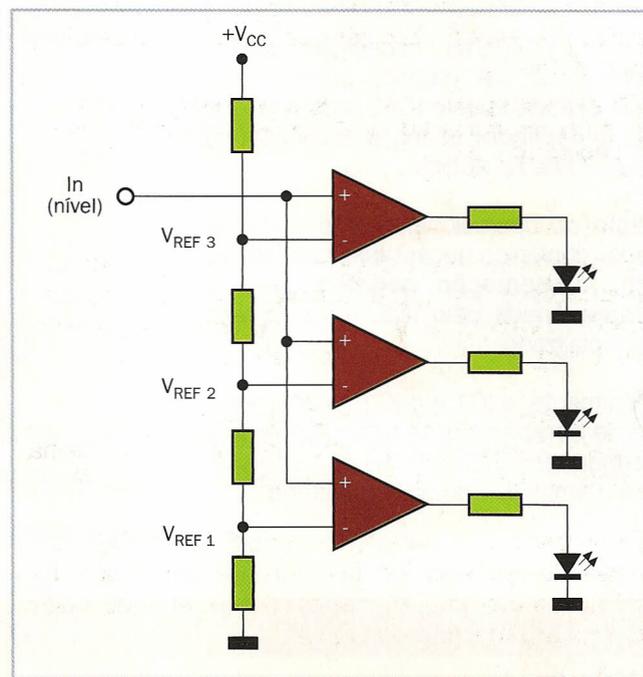
De fato, isto pode ser feito com uma série de **comparadores**, como o que se mostra na figura, depois de se superar uma tensão de referência e que o LED correspondente se acenda (da mesma maneira que um "flash ADC", ver lição 21 de DIGITAL).

Se escolhermos adequadamente os valores das resistências utilizadas para tomar a tensão de referência, pode-se ter uma indicação **linear** ou **logarítmica** (por exemplo em dB).

*Um divisor resistivo e uma série de comparadores permitem realizar uma visualização das bandas do LED.*

detector normal que, na sua forma mais simples, aparece na figura.

O capacitor da saída carrega-se com os picos da onda que forma o sinal, depois descarrega-se o mais rapidamente possível para poder seguir o **perfil** da própria onda. Fazendo o possível para que se descarregue mais devagar (R de valor elevado), o capacitor mantém durante mais tempo o nível alcançado, isto é, recorda a **amplitude máxima** do sinal, que é o nível do pico.



*Esquema dos blocos do medidor de nível com o indicador do pico: o princípio do funcionamento é bastante simples.*

## VISTA EM CONJUNTO

A figura mostra o **esquema dos blocos** do circuito. As saídas dos dois detectores (valor médio e também do pico) são enviados alternativamente para o vídeo do LED.

Quando se envia a saída do detector do pico para o circuito dos LED pede-se que mostre apenas o **ponto** máximo alcançado, em vez de uma banda luminosa inteira.

Como a comutação se produz com bastante rapidez, o olho humano apercebe-se da banda e do ponto como se estivessem presentes **ao mesmo tempo** nos LED, enquanto na realidade são mostrados por turnos.



# Funcionamento do circuito

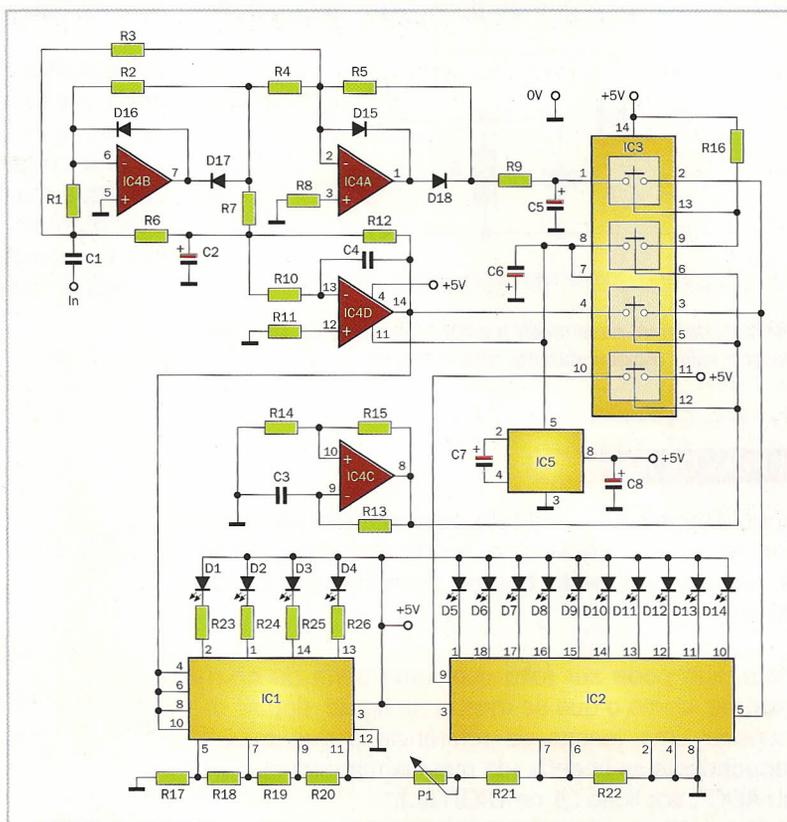
Os amplificadores operacionais IC4B e o IC4A formam os dois **detectores**, de média e de pico; são uma versão mais sofisticada dos simples detectores de diodo que já foram mostrados na página anterior.

O IC4D é um filtro passa-baixa, enquanto o IC3 é o **interruptor analógico**, que escolhe um dos dois sinais procedentes dos detectores, e muda o modo da visualização (banda ou ponto).

A onda quadrada, necessária para a comutação dos próprios interruptores, está produzida pelo IC4C, que funciona como **oscilador** do trigger Schmidt (ver lição 20 de Analógica).

Tanto os operacionais como o comutador analógico necessitam também de uma **alimentação negativa**; esta é proporcionada pelo IC5, um integrado especializado.

Finalmente, o IC1 e o IC2 contêm a série de **comparadores** necessários para acender os LED, de forma que se visualize a amplitude do sinal à entrada.



Esquema elétrico do medidor de nível com o indicador do pico.

## LISTA DOS COMPONENTES

### Resistores

- R1,R2 = resistores de 22 K $\Omega$
- R3,R6 = resistor de 330 K $\Omega$
- R4 = resistor de 160 K $\Omega$  (ou bem 150 K $\Omega$  em série com 10 K $\Omega$ )
- R5 = resistor de 680 K $\Omega$
- R7 = resistor de 150 K $\Omega$
- R8,R10,R13,R16 = resistores de 100 K $\Omega$
- R9 = resistor de 560 K $\Omega$
- R11 = resistor de 220 K $\Omega$
- R12 = resistor de 1 M $\Omega$
- R14,R15 = resistor de 470 K $\Omega$
- R17 = resistor de 18  $\Omega$
- R18,R19 = resistor de 15  $\Omega$
- R20 = resistor de 33  $\Omega$
- R21 = resistor de 2,2 K $\Omega$
- R22 = resistor de 390  $\Omega$
- R23,R24,R25,R26 = resistor de 150  $\Omega$
- P1 = trimmer de 2,2 K $\Omega$  vertical

### Capacitores

- C1 = capacitor de 470 nF de poliéster

- C2 = capacitor de 1  $\mu$ F 35 V de tântalo
- C3 = capacitor de 4,7 nF de poliéster
- C4 = capacitor de 56 nF de poliéster
- C5 = capacitor de 4,7  $\mu$ F 6,3 V de tântalo
- C6,C7 = capacitores de 10  $\mu$ F 6,3 V de tântalo
- C8 = capacitor de 330  $\mu$ F 10 V eletrolítico

### Vários

- D1,D11 = diodos LED verdes rectangulares
- D12 = diodo LED amarelo rectangular
- D13,D14 = diodos LED vermelhos rectangulares
- D15,D16,D17 = diodos de silicio 1N4148
- IC1 = TLC 339 ou então LM339
- IC2 = LM3915
- IC3 = 4066
- IC4 = LM324
- IC5 = ICL7660
- 1 soquete de 8 pinos
- 3 soquetes de 14 pinos
- 1 soquete de 18 pinos
- 1 circuito impresso