

# ELETRÔNICA UNICA

17

para todos



**FILTROS**



**SINAIS POUCO  
LIMPOS**



**DADOS DOS  
TRIGGER SCHMITT**



**CAIXAS  
ACÚSTICAS**



**PROCURAR  
UMA AVARIA**



**Projeto nº 17:  
VARIADOR DE SOM  
PARA GUITARRA**

SALVAT



JACKSON  
LIBRI®



# Filtros

## Existem diversas formas de um circuito RC atenuar os sinais segundo a sua frequência

Muitas vezes é conveniente **bloquear**, ou mesmo reduzir na amplitude, os sinais da frequência que é muito alta (ou muito baixa).

Utilizam-se para esse efeito **filtros** que, do mesmo modo que o controle da tonalidade da aparelhagem de alta fidelidade, podem também atenuar mais ou menos um sinal consoante a sua frequência.

Um grupo RC como o que é mostrado na figura inferior, é o exemplo mais simples do filtro de **passa-baixa** (low-pass): este deixa passar as frequências baixas e atenua as mais elevadas.

De fato, com uma frequência de 0 Hz (contínua), o capacitor é um isolador, ao passo que com uma frequência infinita seria um **curto-circuito** para a massa.



### FREQUÊNCIA DE CORTE

Abaixo de uma certa frequência, o efeito não é **importante**. No entanto, as frequências altas atenuam-se sempre muito mais.

Para sermos mais exatos, a atenuação é de **6 dB por oitava**, ou mesmo 20 dB por dezena, ou seja, que a

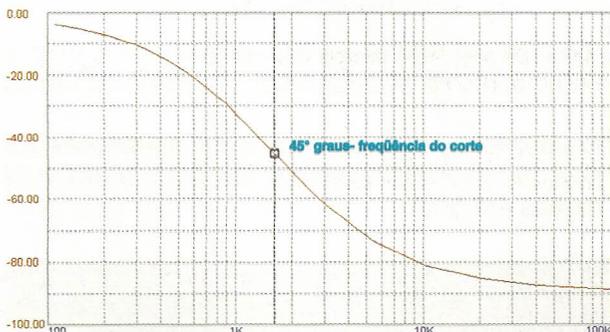
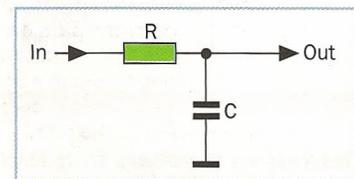


tensão da saída se divide pela metade (-6 dB) cada vez que se duplica a frequência da entrada.

Em um gráfico logarítmico, a atenuação em função da frequência é uma reta: seria muito bom se a atenuação começasse num determinado ponto: a **frequência do corte do filtro**.

Na realidade, o ângulo é arredondado e a frequência do corte é definida como o ponto no qual a atenuação é de **3 dB**, isto é, que a tensão é 0,707 vezes ( $1/\sqrt{2}$ ) da entrada.

**Resposta em frequência de um filtro de passa-baixa RC: na horizontal a frequência e na vertical a atenuação em dB.**



### DEFASAGEM

Os filtros não mudam apenas a atenuação, mas também a **fase** do sinal: para baixas frequências, onde o efeito do capacitor não é importante, a defasagem é zero.

Na frequência do corte a defasagem é exatamente de **45°** (um oitavo de ciclo) de atraso: se for aumentado ainda mais, o atraso poderá aproximar-se aos 90°.

**Defasagem de um filtro RC: na horizontal a frequência e na vertical os graus de atraso referentes à entrada.**

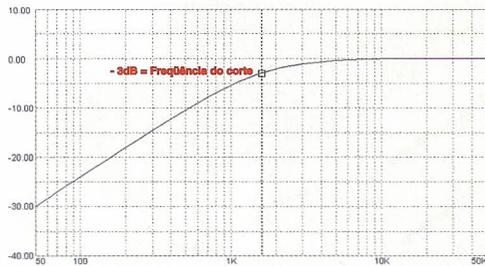


# Tipos de filtros

**Podem-se realizar filtros de distintos comportamentos, conforme as freqüências que é necessário atenuar**

O oposto ao filtro passa-baixa é o filtro **passa-alta** (high-pass): a atenuação cresce quando a freqüência da entrada diminui.

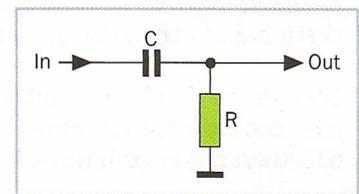
Pode ser realizado se **trocarmos** a resistência e o capacitor: a impedância deste último aumenta com a diminuição da freqüência.



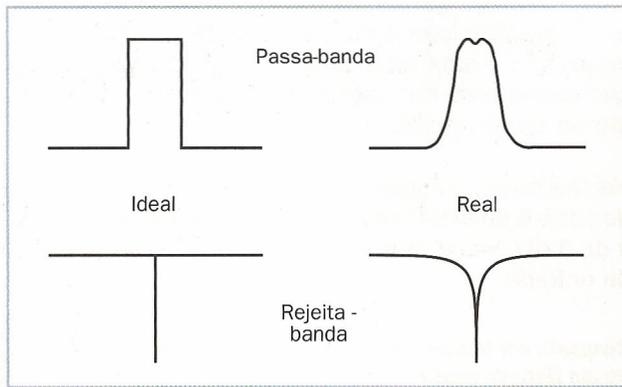
Também se pode **variar** a freqüência do corte de um filtro RC substituindo a resistência por um potenciômetro, de modo que se possa regular o valor.

No entanto, se fizermos esta mudança, infelizmente também mudamos a atenuação: de certa forma, é possível realizar filtros **reguláveis** de amplitude constante, mas com circuitos mais complexos.

*Um simples filtro passa-alta e a sua resposta na freqüência, complementar à do filtro passa-baixa.*



## PASSA-BANDA E REJEITA-BANDA



Muitas vezes desejam-se somente os sinais de um determinado **escalão** das freqüências, por exemplo, entre 500 Hz e 3.800 Hz, e não nas mais altas nem nas mais baixas. Pode-se conseguir este efeito com um filtro **passa-banda** (bandpass) como se pode ver na figura; A "largura da banda" (bandwidth) é a diferença entre as duas freqüências do corte.

O filtro de **rejeita-banda** desenvolve a função oposta, ou seja, atenua as freqüências compreendidas num determinado escalão.

Se, num caso extremo, se deseja eliminar apenas uma determinada freqüência, utiliza-se um filtro **rejeita-banda**. Este tem uma atenuação muito forte centrado num único ponto.

*Resposta em freqüência, tanto ideal como real, dos filtros passa-banda e do rejeitabanda.*

## EFEITOS DOS FILTROS

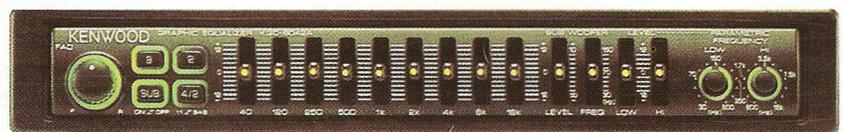
Um filtro passa-banda pode ser utilizado para reduzir as **interferências** não desejadas. Por exemplo, alguns gravadores baratos cortam as freqüências altas para reduzir o ruído.

Mas se as interferências forem de baixa freqüência como, por exemplo, o ruído de fundo, poderão ser atenua-

dos com um filtro passa-alta, enquanto um notch a 50 Hz ou a 100 Hz poderá reduzir um **zumbido** da rede.

Naturalmente, os filtros têm muitas **aplicações** adicionais, por exemplo no campo telefônico e nas comunicações em geral.

*Um equalizador contém um conjunto de filtros de passa-banda /rejeita-banda de atenuação ou amplificação regulável.*



# Filtros e formas de onda

## As formas de onda não senoidal mudam de aspecto quando atravessam um filtro

Até agora consideramos a aplicação para a entrada de um filtro, um único sinal **senoidal**; deve-se medir a sua atenuação na saída.

Se utilizarmos uma forma de onda diferente da simples senóide, provavelmente sairá muito **distorcida**.

Recordemos que uma onda periódica pode **subdividir-se** numa série de senóides múltiplas da frequência fundamental (série de Fourier), cada uma delas com uma frequência e fase próprias.

Cada um destes harmônicos, como a fundamental, tem uma **frequência** distinta, que podem ser atenuadas ou defasadas com o filtro de um modo diferente.



### O PASSA-BAIXA ARREDONDA OS ÂNGULOS

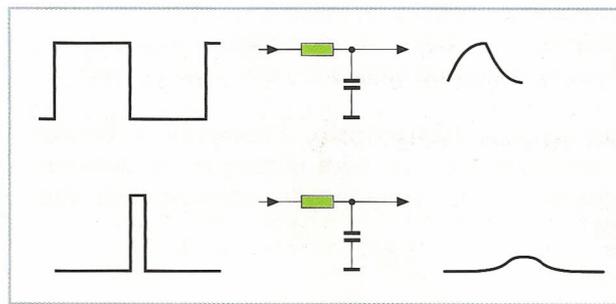
Do mesmo modo que um filtro passa-baixa atenua as frequências altas, os **harmônicos** são mais atenuados do que a fundamental.

Isto significa que a onda é **menos angulosa**. Uma onda quadrada, por exemplo, será menos quadrada e será mais parecida com uma senóide.

Com mais razão se atenuam os **picos**: utiliza-se frequentemente um filtro passa-baixa como proteção contra os impulsos breves de alta tensão (por exemplo, as descargas eletrostáticas).

*Um filtro passa-baixa arredonda as formas da onda, amortecendo os picos de breve duração.*

Também se pode dizer que o filtro funciona como **integrador**: a saída responde lentamente às variações da entrada, como se tivesse uma certa inércia.



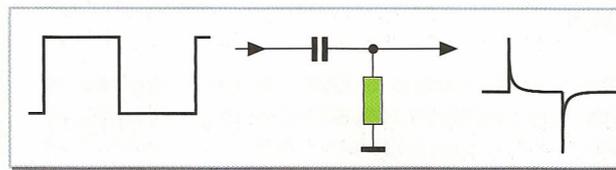
### O PASSA-ALTA FAZ SOBRESSAIR AS VARIAÇÕES

Pelo contrário, um filtro passa-alta atenua a **fundamental** e os harmônicos mais baixos, deixando passar os de ordem superior, ou seja, os de frequência mais alta.

Com efeito, deve-se ressaltar as variações bruscas, fazendo com que a forma da onda seja mais **angulosa**. Por exemplo, uma onda quadrada transforma-se numa série de impulsos.

*Um filtro passa-alta ressalta as variações rápidas do sinal.*

O filtro funciona como um **diferenciador**: a saída é especialmente sensível à velocidade da variação da entrada.



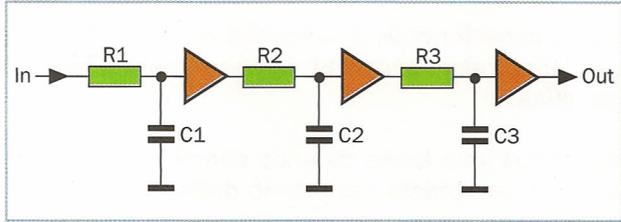


# Os filtros mais eficazes

## A utilização de indutores e amplificadores permite realizar filtros de corte mais limpo

O filtro RC tem dois defeitos: começa a atenuar **depressa demais**, muito antes da frequência do corte, e o seu efeito não é especialmente drástico.

Pode ser melhorado utilizando **vários filtros em cascata**, com o fim de que nenhum deles incomode o anterior; com três filtros simples (“de primeira ordem”) tem-se um filtro **de terceira ordem**, que se terá de sujeitar com 18 dB por oitava. No entanto, esta técnica não é especialmente eficaz com os filtros RC: apresenta vários limites; para poderem ser superados é necessário acrescentar **indutores**.



*Filtro multi-etapas, os triângulos representam amplificadores de corrente com impedância de entrada alta (não incomodam o filtro anterior).*

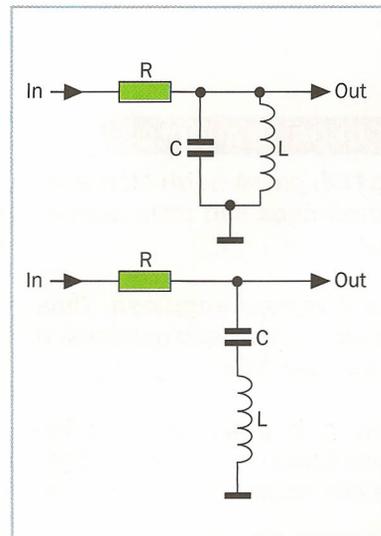
### FILTROS EVOLUÍDOS

O uso combinado de indutores e capacitores permite obter filtros de características de corte **empinadas**, como o passa-banda ou o rejeita-banda já indicados na figura.

Verificam-se fenômenos de **ressonância**, nos quais a impedância do circuito (ou de uma parte) muda rapidamente em volta de uma determinada frequência.

Os filtros RLC (resistores, indutores, capacitores) são freqüentemente bastante **complexos** de projetar, embora tenham sido estudados com muita atenção.

Especialmente, **Butterworth, Chebysev e Bessel** têm analisado técnicas para conseguir os melhores resultados numa determinada característica dos filtros.



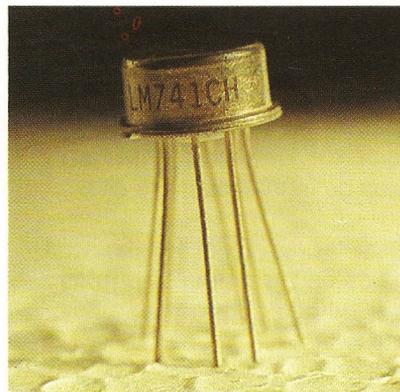
*Filtros RLC elementares: o primeiro é um passa-banda bastante estreito, e o segundo é um rejeita-banda.*

### FILTROS ATIVOS

A utilização de componentes ativos permite **eliminar** os caros e imprecisos indutores, realizando filtros com boas características e dimensões bastante reduzidas.

São utilizados muito freqüentemente; ilustraremos e falaremos deles após a introdução dos **amplificadores operacionais**, circuitos integrados para diversas utilidades pelo qual se tornaram muito simples e práticos.

Também neste campo existem técnicas **digitais** recentes que permitem resultados ainda melhores, especialmente no que se refere à precisão e capacidade de repetição.



*Um amplificador operacional permite também a realização de filtros ativos.*



# Sinais pouco limpos

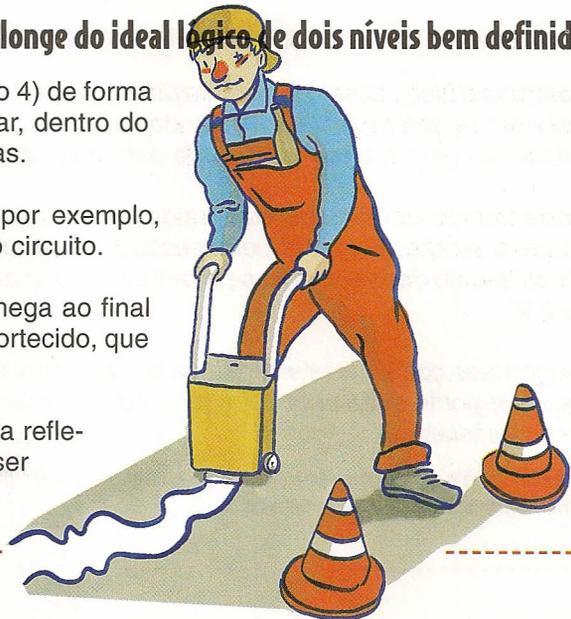
**As tensões nos circuitos digitais estão frequentemente longe do ideal lógico de dois níveis bem definidos**

Os níveis lógicos “baixo” e “alto” estão definidos (ver lição 4) de forma que se deixe uma **margem de ruído** com o fim de evitar, dentro do possível, que as flutuações acidentais causem problemas.

As causas destas interferências podem ser externas (por exemplo, campos elétricos ou magnéticos) ou **internas** do próprio circuito.

Por exemplo, quando uma transição (frente da onda) chega ao final de um fio, tem-se uma **reflexão**: uma espécie de eco amortecido, que ocasiona um sinal de regresso.

Se a frente da onda é particularmente **empinada**, a onda refletida pode superar o limiar lógico de uma entrada e ser considerada como um sinal.



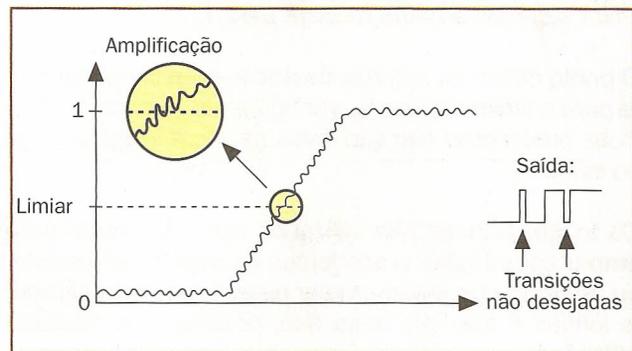
## TRANSIÇÕES DALENTE

Por exemplo, se existe uma excessiva **capacidade** para que muitas entradas estejam ligadas em conjunto, este fato atrasa os sinais: as transições não são mais empinadas, mas necessitam de um certo tempo.

De certo modo, isto significa que a tensão varia com a lentidão relativa no momento em que atravessa o **ponto crítico**, ou seja, o limiar da passagem que existe entre 0 e 1 e vice versa.

*Cada oscilação, por mínima que seja, da tensão da entrada à volta do ponto crítico produz transições na saída.*

De fato, embora os dados indiquem dois limiares (L e H), trata-se apenas dos limites garantidos para o limiar efetivo, que, na realidade é **apenas um**, e que está em alguma parte no meio desses dois valores.

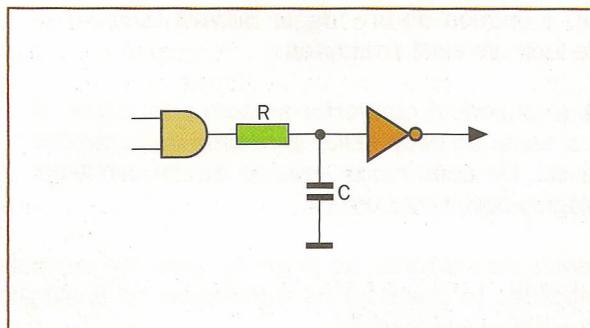


## ATRASOS COM RC

Embora se possa introduzir um atraso na **propagação** do sinal, quando se utiliza uma resistência e um capacitor, existem pelo menos dois inconvenientes.

O primeiro é a imprecisão do atraso devido à imprevisibilidade do limiar; o segundo é a forte **sensibilidade** às interferências (da entrada, da alimentação e da massa) já citada anteriormente.

*Atrasar um sinal com um grupo RC: simples mas pouco aconselhável.*





# Trigger Schmitt

Um circuito que alterna entre duas posições estáveis pode ser útil em muitas situações

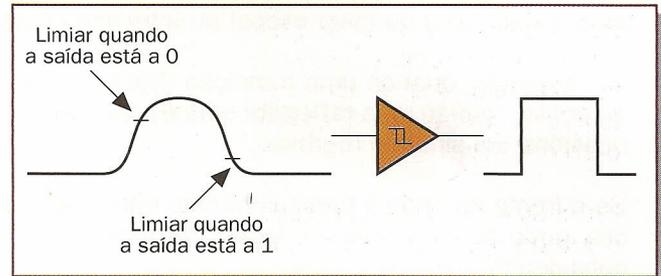
Quando um único limiar de comutação começa a dar problemas, estes podem ser eliminados ao utilizarem-se dois: um para a **subida** e o outro para a **descida**.

Consideremos um circuito cuja saída passa para 1 quando a tensão da entrada ultrapassa **3 V**, mas depois volta para zero somente se a entrada fica abaixo dos **2 V**.

Comporta-se como um interruptor da luz, que num determinado ponto **salta** para outra posição, evitando as manobras incertas.

**Trigger Schmitt: o limiar da entrada muda conforme o valor da saída, eliminando qualquer incerteza.**

O dispositivo chama-se **trigger Schmitt**; a diferença entre as duas tensões (que não devem ser confundidas com os níveis garantidos pelas portas normais) é denominada **histerese**.

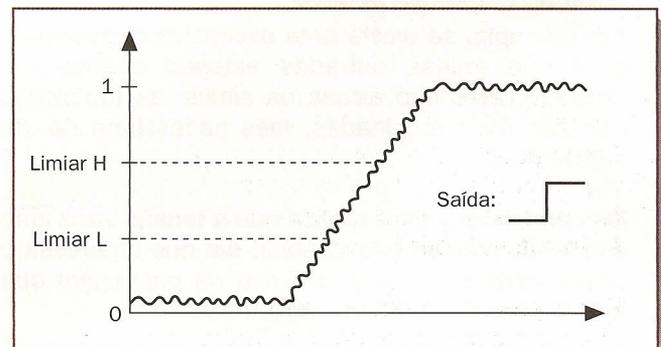


## LIMPAR UM SINAL

Um trigger Schmitt é **insensível** a ondulações mais pequenas do que a histerese; suponhamos que um sinal com interferência suba devagar: quando chegar ao limiar superior, a saída mudará para 1.

O ponto crítico da entrada **deslocar-se-á** imediatamente para o limiar inferior (L, ver figura), ignorando as descidas posteriores que são leves devido à irregularidade do sinal.

Os trigger Schmitt são utilizados com frequência para **limpar** as entradas procedentes do exterior do circuito, ou os sinais que estão a viajar pelas linhas relativamente longas e que, por esse fato, poderiam ter causado reflexões.



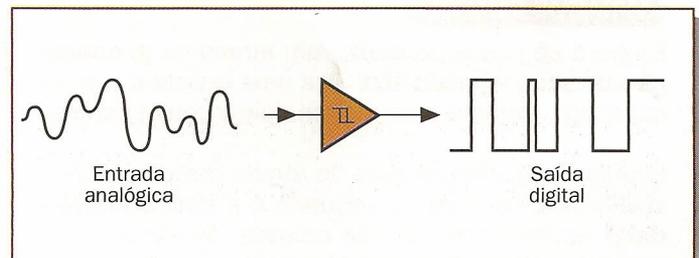
**Um trigger Schmitt limpa o sinal ignorando as flutuações após a comutação.**

## SINAIS ANALÓGICOS

Assim como acontece com as portas lógicas normais, à entrada de um trigger Schmitt também se pode ligar um sinal **analógico**.

Este sinal poderá **converter-se** num sinal digital, já que a saída só pode saltar para uma das posições estáveis. De certo modo, trata-se de um conversor analógico-digital com um bit.

Veremos mais adiante, ao longo do curso, formas mais sofisticadas (e precisas) de **conversão** do analógico para o digital e vice-versa.



**Conversão primitiva analógico-digital: a histerese introduz um erro que não pode ser omitido.**

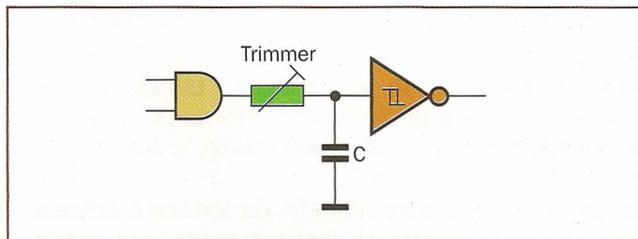
# Atrasos e osciladores

## Os trigger Schmitt prestam-se para algumas aplicações interessantes

Se usarmos um trigger Schmitt em vez de uma porta lógica normal, o circuito do **atraso** baseado numa resistência e num capacitor torna-se mais interessante.

Desaparece o inconveniente da **sensibilidade** para as interferências, embora naturalmente fique a imprecisão devida à imprevisibilidade e à variabilidade do limiar.

Para as implicações onde a estabilidade (no tempo e com a temperatura) não é importante, pode-se utilizar um **trimmer resistente** para regular manualmente o tempo do atraso em cada exemplar.



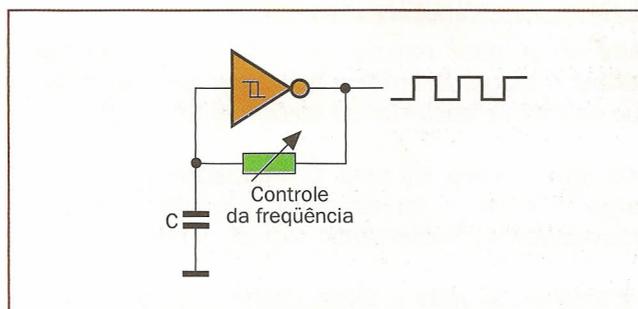
*Regulando manualmente o atraso, resolve-se o problema da variabilidade da produção.*

## PRODUZIR UMA ONDA QUADRADA

Com um trigger Schmitt **inversor**, é suficiente acrescentar uma resistência e um capacitor para construir um circuito oscilador, como o que se mostra na figura: a saída é uma onda quadrada.

Se a saída está alta, o capacitor **carrega-se** até atingir o limiar superior: quando chega a este ponto, o trigger Schmitt salta e a saída volta a estar baixa.

O capacitor começa logo a **descarregar-se**, sempre através da resistência, até alcançar o limiar inferior: o circuito comuta noutra sentida e o ciclo repete-se.



*Oscilador que aproveita a histerese de um inversor trigger Schmitt.*

## NÃO SOMENTE O CMOS

Existem vários tipos de **portas** com entradas trigger Schmitt, e naturalmente não apenas da família CMOS: estão também os TTL.

Estes últimos têm, no entanto, a desvantagem de terem limiares assimétricos e necessitam de uma discreta corrente da **entrada** (até à massa quando a entrada é 0).

Portanto, oferecem uma **impedância baixa** da



entrada, ou seja, comportam-se como uma carga sobre o sinal, quando está apenas no nível L.



Deste modo, são **menos adequados** para os circuitos de atraso e osciladores, especialmente porque o atraso costuma ser diferente nos dois sentidos.

**O princípio do funcionamento de um oscilador do trigger Schmitt.**



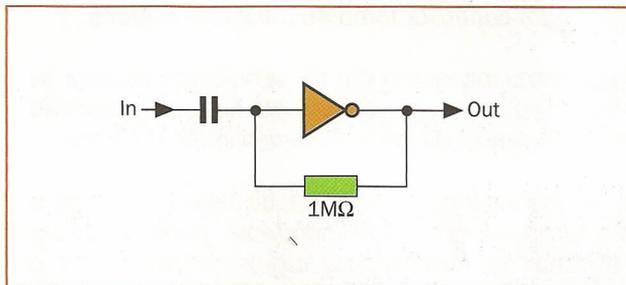
# CMOS do modo linear

## As portas lógicas digitais podem funcionar como amplificadores analógicos

Temos verificado que os circuitos normais lógicos CMOS (não trigger Schmitt) são especialmente **sensíveis** durante o seu ponto crítico, o limiar.

De fato, uma pequena variação da tensão à entrada ocasiona uma grande variação à saída: por outras palavras, tem-se uma grande **amplificação**.

Se ligarmos a um inversor uma **resistência de realimentação** entre a saída e a entrada, pode-se estabilizar exatamente no ponto do limiar, auto-compensando possíveis variações.



*Amplificador analógico com um inversor CMOS: a resistência da realimentação mantém-no no ponto crítico.*

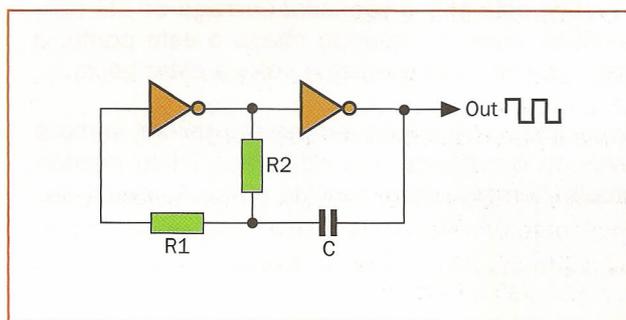
### OSCILADOR DE RELAXAMENTO

Também se pode realizar um oscilador sem ter que **utilizar** o trigger Schmitt: a figura mostra um circuito que se chama "oscilador de relaxamento".

Enquanto a saída vai para 1, o capacitor põe-se em **carga** e envia a tensão para a primeira entrada (através do R1), confirmando o nível alto da saída.

No entanto, quando a saída chega a atingir o nível máximo, o capacitor começa a descarregar-se: logo que o seu terminal da esquerda fica **abaixo** do ponto crítico, inicia-se o ciclo oposto.

O ganho deste amplificador é muito elevado: um sinal relativamente **débil** à entrada costuma quadrar-se, quer dizer, converter-se em onda quadrada.

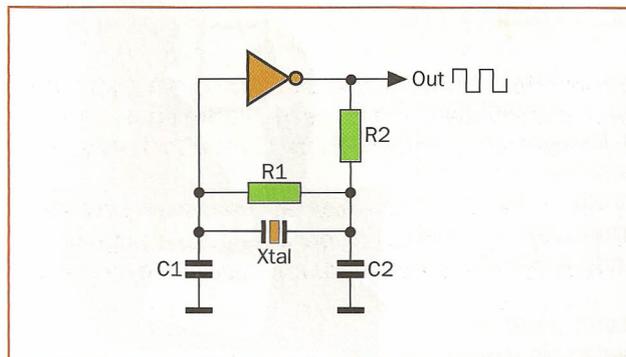


*Oscilador de relaxamento: o inversor da esquerda funciona como amplificador devido à realimentação do R2+R1.*

### OSCILADORES DE QUARTZO

Quando é necessária uma boa **precisão** da frequência, tem de se recorrer a um cristal de quartzo; a figura mostra um exemplo de oscilador com um inversor CMOS.

Este circuito também pode manifestar problemas de colocação em funcionamento, especialmente se a alimentação chega devagar; e em geral é preferível utilizar **módulos** de osciladores que já estejam fabricados.



*Oscilador de quartzo: o cristal Xtal faz ressoar o amplificador com a frequência estabelecida.*



# Dados dos trigger Schmitt

Os valores mais importantes são, naturalmente, os dos limiares e da histerese

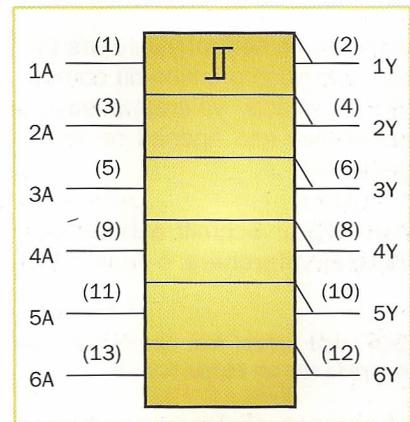
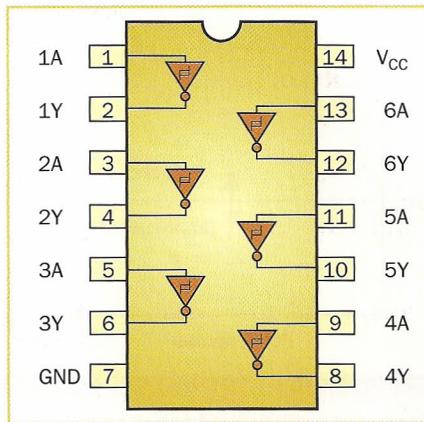
A figura mostra a disposição dos terminais ou pinos do **74HC14**, um difundido integrado que contém seis inversores com entradas trigger Schmitt.

Recordemos que o trigger Schmitt indica uma característica das **entradas**, e não uma função lógica especial (neste caso o NOT).

Em cada inversor está indicado o **símbolo** característico, que

**Disposição dos terminais do sêxtuplo inversor trigger Schmitt 74HC14, e o correspondente símbolo IEC.**

representa a histerese, ou seja, a diferença entre o limiar superior e o inferior.



## NÍVEIS DO LIMITE (LIMIAR)

Como acontece com todos os circuitos integrados digitais, os níveis não são exatos, mas há uma certa **tolerância**, devida às inevitáveis diferenças da produção.

Por exemplo, na figura vê-se que, ao alimentar o circuito com 6 V, o **limite** superior  $V_P$  pode variar de um exemplar para outro entre 3 V e 4,2 V para qualquer temperatura.

Naturalmente, seria possível produzir circuitos com níveis de limiares mais precisos, mas o seu **custo** seria tão alto que não justificaria a comercialização.

Símbolo	Parâmetro	Condições do teste		Valor				Unidade
		$V_{CC}$ (V)	TA = 25 °C 54HC y 74HC			-40 a 85 °C 74HC		
			Mín.	Típ.	Máx.	Mín.	Máx.	
$V_P$	Voltagem do limiar de nível alto	2.0	1.0	1.25	1.5	1.0	1.5	V
		4.5	2.3	2.7	3.15	2.3	3.15	
		6.0	3.0	3.5	4.2	3.0	4.2	
$V_N$	Voltagem do limiar de nível baixo	2.0	0.3	0.65	0.9	0.3	0.9	V
		4.5	1.13	1.6	2.0	1.13	2.0	
		6.0	1.5	2.3	2.6	1.5	2.6	
$V_H$	Voltagem do limiar de histerese	2.0	0.3	0.6	1.0	0.3	1.0	V
		4.5	0.6	1.1	1.4	0.6	1.4	
		6.0	0.8	1.2	1.4	0.8	1.7	

**Níveis do limiar inferior ( $V_N$ ) e superior ( $V_P$ ) do 74HC14, e os limites garantidos para a histerese ( $V_H$ ).**

## HISTERESE GARANTIDA

Se o limiar baixo  $V_N$  estivesse ao **mínimo** de 1,5 V e o alto  $V_P$  fosse no máximo de 4,2 V, teríamos uma histerese (diferença entre os limiares) de  $4,2 - 1,5 = 2,7$  V.

No caso contrário ( $V_N$  máxima,  $V_P$  mínima) teríamos  $3,0 - 2,6 = 0,4$  V. Partindo do princípio de que a histerese é o dado mais importante, uma **variação** similar (entre 0,4 e 2,7 V) seria excessiva.

Da histerese dependem, por exemplo, a **imunidade para as interferências** da entrada e a frequência de um oscilador como aquele que se mostrou na lição de teoria (17 Digital).

Felizmente, estes casos extremos não se **verificam** com frequência: a folha de dados garante valores limites para a histerese: entre 0,8 e 1,7 V no campo total da temperatura.



# Detalhes dos trigger Schmitt

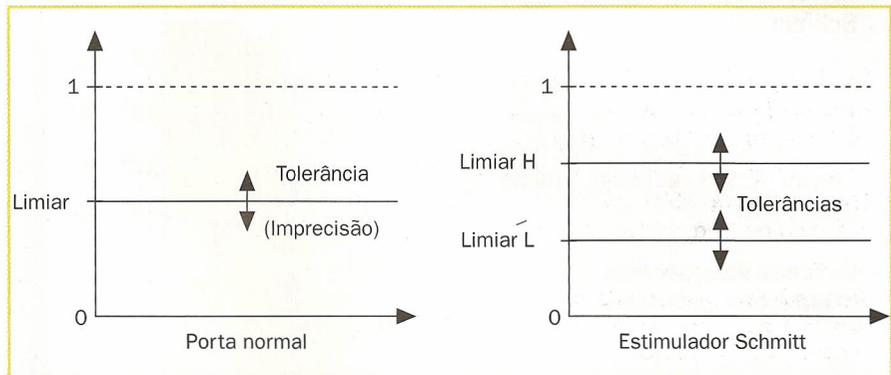
## Um trigger Schmitt não tem nada de especial porque também pode ser construído

Não se devem confundir os limiares de um trigger Schmitt com os de uma porta normal; a figura mostra a diferença.

Numa porta normal existe **um único** limiar (ponto crítico da comutação): os dois valores indicados nos dados são apenas os limites garantidos.

Num trigger Schmitt existem **dois limiares diferentes**: o superior pa-

*Uma porta normal tem apenas um limiar, enquanto que um trigger Schmitt tem dois.*



### TEMPO DE SUBIDA E TEMPO DE DESCIDA

Quando comparamos os dados gerais de um integrado normal lógico CMOS com os de um trigger Schmitt, observamos uma diferença nos tempos de **subida** (rise time) e de **descida** (fall time) das entradas.

Num circuito normal há um **tempo máximo** da comutação, bastante curto (normalmente inferior ao microsegundo): a entrada deve mover-se o mais depressa possível.

Tanto se a subida como a descida forem muito **lentas**, podem causar comutações não desejadas ou mesmo oscilações da saída.

*Num trigger Schmitt não há limites nos tempos da subida (rise time) ou da descida (fall time).*

Nos trigger Schmitt, no entanto, **não há limite**: a presença de dois limiares distintos anula o ponto crítico, e a entrada também se pode mover muito devagar sem causar problemas.

	Porta normal CMOS ( $V_{CC} = 5V$ )	Trigger Schmitt
Tempo de subida máximo	500 nseg	Infinito
Tempo de descida máximo	500 nseg	Infinito

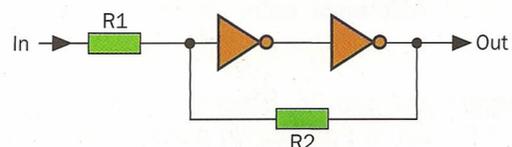
### CONSTRUIR UM TRIGGER SCHMITT

São suficientes duas resistências para **transformar** dois inversores num trigger Schmitt, como mostra a figura; o regresso da saída para a entrada provoca uma "realimentação positiva" ou de reforço.

Quando a entrada alcança o ponto **crítico** e a saída vai para 1, a resistência R2 faz subir depois a tensão na entrada, fazendo com que ela "salte" rapidamente para além do limiar.

*Trigger Schmitt construído com inversores normais; a histerese depende, de certo modo, da relação entre as duas resistências.*

Infelizmente, os limiares deste circuito costumam ser **incompatíveis** com os padrões, pois na prática convém utilizar circuitos já existentes.



# Contador com oscilador

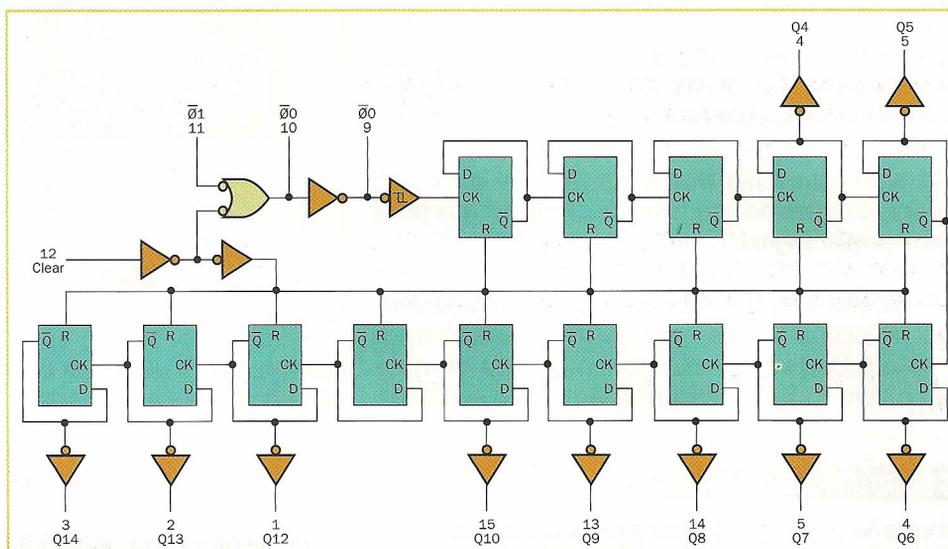
## Vejam um exemplo prático de um contador binário com oscilador incorporado

O 74HC4060 inclui duas funções complementares: a **geração** dos impulsos com intervalos regulares e a sua **contagem**, ou divisão (dependendo do ponto de vista de cada um).

O **esquema global** do integrado (versão HC de um conhecido modelo da série antiga 4000) aparece na figura: observa-se claramente as 14 etapas que compõem o divisor.

O oscilador é menos patente. Proporcionam-se somente os componentes

**Esquema do 74HC4060: é, essencialmente, um divisor de 14 etapas.**



necessários para **construí-lo**, ou seja, as três portas que se podem ver em cima à esquerda.

### CONTADOR EM CASCATA

O contador, realizado com 14 flip-flop do tipo T em cascata, é do tipo "ripple carry", ou seja, **assíncrono**: a saída Q de cada biestável está ligada à entrada do relógio do seguinte.

Os flip-flop são, na realidade, do tipo D, mas estão ligados de modo que funcionam como um **toggle** (T), de acordo com a saída negada Q que volta para a entrada.

Símbolo	Parâmetro	Condições do teste		Valor				Unidade
		V <sub>CC</sub> (V)	TA = 25 °C 54HC y 74HC		-40 a 85 °C 74HC			
			Min.	Tip.	Máx.	Min.	Máx.	
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Tempo do atraso de propagação (ØI - Q4)	2.0	170	300		375	nseg	
		4.5	41	60		75		
		6.0	30	51		64		
t <sub>PD</sub>	Diferença do tempo do atraso de propagação (Q <sub>n</sub> -Q <sub>n+1</sub> )	2.0	32	75		95	nseg	
		4.5	7	15		19		
		6.0	5	13		16		

O tempo de propagação do sinal **umenta** quando se desloca para a saída, já que cada etapa introduz um atraso de comutação próprio. Os dados mostram o atraso da entrada ØI para a saída Q4, e depois o atraso que se tem que acrescentar para cada etapa (Q<sub>n</sub> - Q<sub>n+1</sub>).

**Tempo de propagação da entrada para a saída Q4 (a primeira disponível) e depois para cada saída adicional.**

### CONTADOR OU DIVISOR

Curiosamente, nem **todas** as saídas estão disponíveis: o encapsulamento de 16 pinos não dispunha de ligações suficientes com o exterior. Faltam as três primeiras e a número 11.

O integrado pode ser visto como um contador com

**prescaler**, ou seja, um divisor por 8 (três etapas) na entrada, ou mesmo como um divisor de frequência.

Nas saídas estão disponíveis vários **submúltiplos** da frequência aplicada à entrada, que pouco a pouco se vai dividindo.



# Oscilador livre e de quartzo

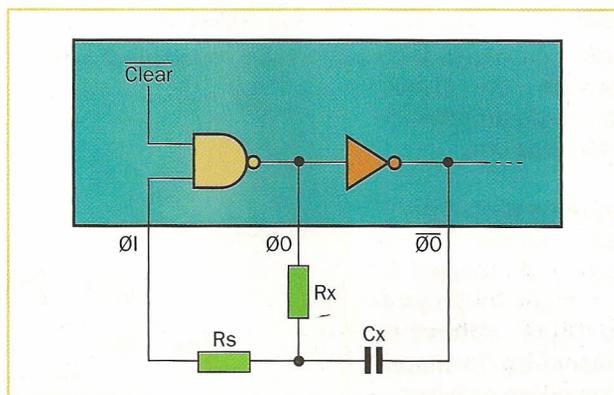
As portas da entrada do 74HC4060 permitem realizar dois tipos de osciladores

A entrada do 74HC4060 pode ser enviado do exterior para o pino  $\emptyset 1$ , ou mesmo **produzir-se** internamente fazendo oscilar as primeiras etapas.

A figura mostra como ligar duas resistências e um capacitor para realizar um **oscilador livre**, de frequência não controlada com precisão.

Tendo em conta a primeira porta (NAND) como um **inversor**, é o mesmo esquema de oscilador que já foi visto na seção Digital.

O NAND, que é equivalente ao OR com entradas negadas do esquema que aparece na página anterior (ver lição 5 Digital), permite, com a entrada de colocação a zero CLEAR, **bloquear** também o oscilador.



Oscilador livre: a resistência  $R_x$  e o capacitor  $C_x$  determinam aproximadamente a frequência.

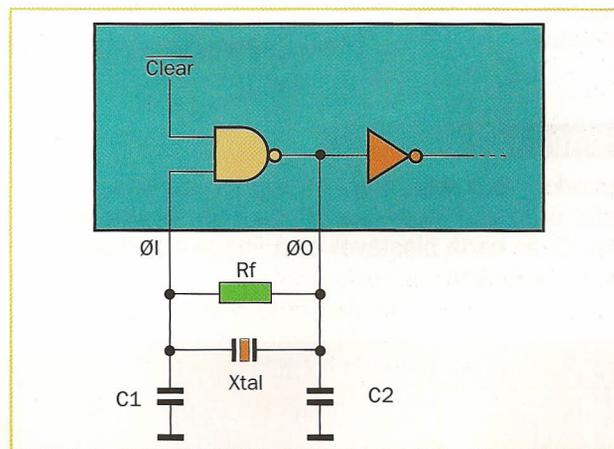
## OSCILADOR DE CUARZO

A **precisão** e a estabilidade são importantes quando, por exemplo, num relógio, é necessário recorrer a um cristal de quartzo.

O exemplo que se vê na figura utiliza uma resistência para que a primeira porta trabalhe de modo **linear**, ou seja, como um amplificador, sucedendo a mesma coisa com a que já foi mostrada na lição 17 Digital.

A terceira porta é um inversor com uma entrada do **trigger Schmitt**, para eliminar qualquer irregularidade procedente do oscilador analógico.

Oscilador de quartzo: a frequência é determinada com precisão pelo cristal,  $R_f$  faz com que a porta trabalhe de forma linear.



## FREQÜÊNCIA LIMITE

Como todo o circuito digital, também o 74HC4060 tem uma **frequência máxima** de trabalho, indicada na folha de dados do fabricante (ver figura).

Nem sempre se pode acreditar no valor típico, pois utiliza-se normalmente o **pior caso**: se trabalharmos com 5 V, podemos contar pelo menos com 24 MHz em todo o campo da temperatura.

Frequência máxima do trabalho do 74HC4060.

Não é de admirar que os integrados digitais manifestem ter problemas com a frequência limite, pois convém ter sempre uma **margem posterior**.

Símbolo	Parâmetro	Condições do teste		Valor				Unidade
		$V_{CC}$ (V)	TA = 25 °C 54HC y 74HC			-40 a 85 °C 74HC		
			Min.	Típ.	Máx.	Min.	Máx.	
$f_{MÁX}$	Frequência máxima do relógio	2.0	6	12		5		MHz
		4.5	30	50		24		
		6.0	35	65		28		



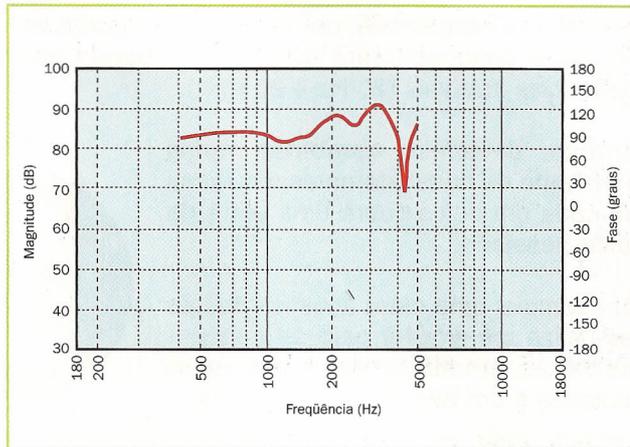
# Caixas acústicas

## Uma caixa adequada melhora as características acústicas dos alto-falantes

O ponto mais delicado de uma aparelhagem de alta fidelidade reside na **conversão** final da energia elétrica para a energia acústica, que se pode produzir nos alto-falantes.

O alto-falante ideal deveria ser **linear**, e produziria a mesma potência acústica com paridade da potência elétrica, em qualquer frequência. De certo modo, a resposta em frequência é irregular, porque está limitada a um conjunto (banda) de frequências e com um máximo na frequência da **ressonância** do alto-falante.

*Resposta em frequência de um alto-falante onde o nível sonoro é produzido segundo a frequência do sinal (a curva inferior indica a defasagem).*



### CAIXAS FECHADAS E RESSONÂNCIA

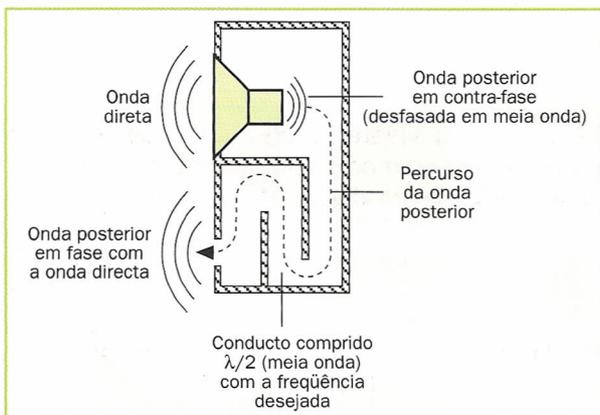
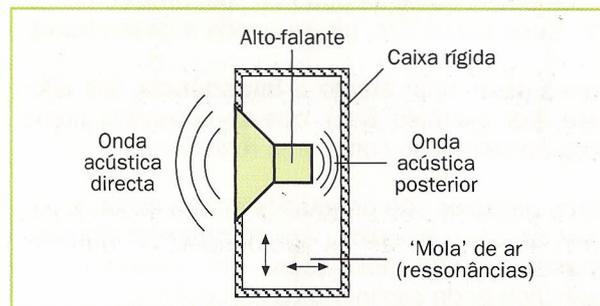
Teoricamente, de um alto-falante interessa principalmente o som **frontal**. Este é produzido por detrás do cone, que, numa contra-fase, seria eliminado.

O som pode ser bloqueado, por exemplo montando o alto-falante numa caixa hermeticamente fechada: a **caixa acústica**.

O ar do interior da caixa pode **comprimir-se** e comportar-se como uma mola, talvez amortecido, o que provoca, por sua vez, uma ressonância (ou mais de uma).

*Uma caixa acústica deve bloquear a onda posterior e tornar mais "plana" a resposta em frequência do alto-falante.*

O projetista pode aproveitar esta ressonância como uma vantagem, para conseguir **equalizar** o alto-falante, ou seja, torná-lo mais linear.



**Bass reflex:** para uma determinada frequência a onda posterior está em fase, tendo utilizado um tempo similar a 180° para realizar o percurso.

### CAIXAS ABERTAS: BASS REFLEX

Pode-se aumentar o rendimento de uma determinada frequência, utilizando parte da emissão **posterior** do alto-falante.

Por exemplo, se acrescentarmos uma abertura e um possível conduto interno, a onda posterior necessitará de **tempo** para dar a volta, antes de sair ela também.

Com uma certa frequência, a onda frontal e a que já foi enviada estarão **em fase**, somando-se: deste modo haverá um aumento do volume sonoro. Este sistema (bass reflex) é utilizado para melhorar a reprodução com **frequências baixas** nas caixas pequenas.



# Crossover

## A utilização de vários alto-falantes de características complementares requer um circuito de controle

Nenhum alto-falante tem, por si só, uma resposta na frequência adequada para cobrir toda a **banda** das frequências audíveis (20 Hz ÷ 20 KHz).

Portanto, devem-se **combinar** vários alto-falante de tipos diferentes, de forma que cada um deles cubra uma parte da banda desejada.

Por exemplo, uma caixa acústica de três vias utiliza um **woofer** para as frequências baixas, um **midrange** para as intermediárias e um **tweeter** para as altas.

Algumas aparelhagens incorporam um **subwoofer** para as frequências inferiores ao limite da audição, que são captadas como vibrações (é suficiente utilizar um deles porque não é possível sentir a sua direção).



**Alto-falantes ("difusores") para as caixas acústicas de várias vias: quanto maior é a frequência, mais pequeno é o alto-falante.**

### CROSSOVER COM FILTROS PASSIVOS

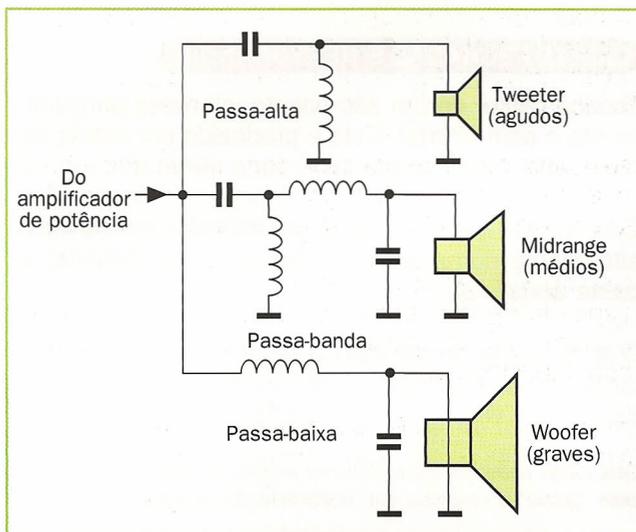
Para que se possa dividir o sinal elétrico entre os alto-falantes, podem-se utilizar os **filtros passivos**, que estão compostos por indutores e capacitores, chamados "crossover" (troca-bifurcação).

A figura mostra um exemplo de um **crossover de três vias**, composto, como se pode ver, por uma combinação de filtros passa-alta, passa-banda e passa-baixa.

O projeto deve estar atento à **impedância** dos alto-falantes (por exemplo 8 Ω), que se considera numa primeira aproximação como uma resistência.

Os filtros passivos são projetados com a caixa, e podem ser também utilizados para **compensar** algumas características não desejadas. Por exemplo, um rejeita-banda pode eliminar uma ressonância.

**Filtro crossover de três vias com uma atenuação de 12 dB/oitava; cada alto-falante tem um filtro diferente.**



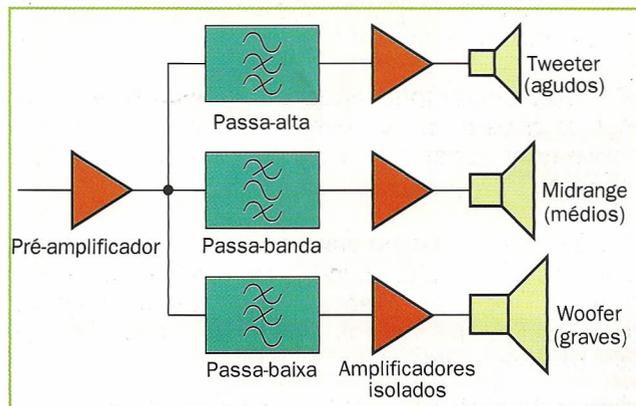
### CROSSOVER COM FILTROS ATIVOS

Em vez de isolar os sinais atrás do amplificador, onde circulam correntes fortes e são necessários grandes indutores de boa qualidade, pode-se fazer **antes**.

A figura mostra o diagrama de blocos de um sistema com **crossover ativo** (realizado com circuitos integrados) e três amplificadores distintos.

O sistema é prático se os **amplificadores** estiverem na mesma caixa, ou mesmo para controlar caixas diferentes (como num subwoofer).

**Um crossover ativo é mais preciso, mas necessita de amplificadores diferentes.**





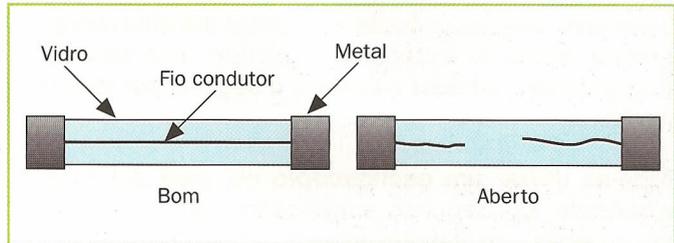
# Procurar uma avaria

## Quando um circuito deixa de funcionar, é necessário investigar

Os circuitos que são alimentados através da rede (127/220 V) têm normalmente um **fusível** de proteção. A primeira coisa que se deve fazer é verificar se ele existe após retirar da tomada.

Se estiver **fundido** troca-se por outro **do mesmo valor** e do mesmo tipo, que se pode reconhecer pela letra F, T ou outra, que indica a velocidade da intervenção.

Se o fusível abrir (se romper) outra vez, há provavelmente um componente defeituoso que causa uma sobrecarga ou um **curto-circuito**: procura-se a avaria com o multímetro e com paciência.



Quando um fusível abre o fio central fica interrompido.

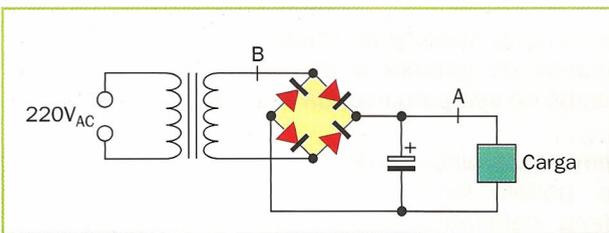
### SEGUIR O ESQUEMA

Se no alimentador que está representado na figura romper o fusível, pode-se **desligar** a carga (ponto A) para verificar se é esta a que ocasionou o problema.

Se o fusível queimar novamente, pode-se experimentar (sempre sem corrente) **desligar** o transformador da ponte de diodos, interrompendo o ponto B.

Se não queimar mais nenhuma vez, o transformador está provavelmente bem; voltam-se a ligar os diodos e isola-se o **capacitor**, sempre sem carga.

Depois de se ter encontrado o componente estragado (por exemplo, um diodo) é possível que se tenha avariado na **carga** por um curto-circuito. Neste caso, avariar-se-á de novo quando se voltar a ligar.



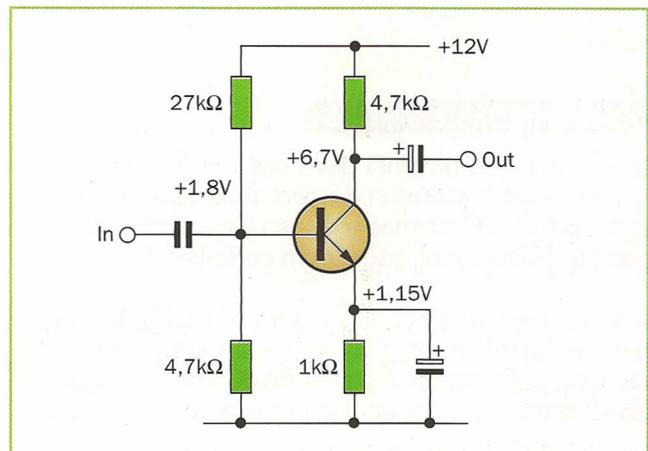
O esquema elétrico é de muita ajuda na localização das avarias; permite seguir o percurso da corrente.

### NÃO ESTÁ QUEIMADO MAS NÃO FUNCIONA

Num circuito que normalmente está aceso mas que não funciona, devem-se verificar as **tensões**, partindo naturalmente da alimentação.

Se esta última é correta, medem-se as tensões da **polarização** nos distintos pontos do circuito, como por exemplo, nos três terminais de cada transistor.

Quando o esquema não o indica, pode-se fazer uma **estimativa razoável**: no coletor do transistor que está na figura poderá haver algum volt, mas se aparece um 0 V ou um 12 V, este fato significa problemas.



Amplificador do transistor, com o exemplo das tensões (aproximadas) razoáveis para 12 da alimentação.



# Seguir o sinal

**Um circuito que se acende mas que não funciona pode ser estimulado para se poder examinar o seu comportamento**

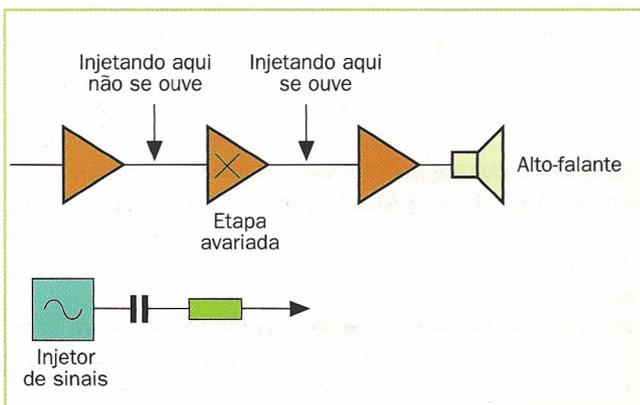
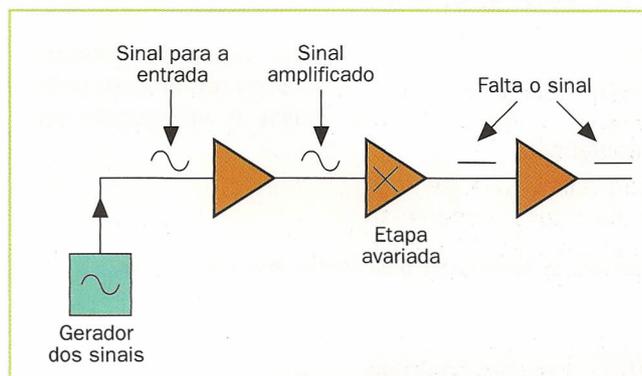
Quando um amplificador de áudio tem a sua tensão de alimentação normal, mas à saída não chega nenhum sinal, é possível examinar o seu comportamento **em alternada**.

O primeiro sistema consiste em aplicar um **sinal** constante de áudio na entrada, por exemplo uma senóide produzida pelo gerador de sinais, e segui-la por todo o circuito.

Pode-se utilizar um **osciloscópio** ou, para ser mais económico, um segundo amplificador para ouvir o sinal, ou ainda o multímetro sobre  $V_{AC}$  com um capacitor em série.

**Seguindo o sinal da entrada até à saída, encontra-se a etapa avariada.**

**Siguiendo la señal etapa por etapa, se encontrará un punto donde la señal entra pero no sale: es probablemente la etapa defectuosa.**



**Injetar o sinal do gerador nas diferentes etapas é outra técnica válida.**

## PRECAUÇÕES E LIMITES

O acoplamento do sinal deve ser **em alternada** com um capacitor (melhor seria com uma resistência) em série, para não incomodar as tensões contínuas ou, o que seria ainda pior, causar um curto-circuito.

À saída será preciso injetar um sinal forte, ao passo que nas primeiras etapas se deverá estar com muita atenção para manter baixo o **nível** e não estragar os alto-falantes com um sinal excessivo.

## INJETAR UM SINAL

Pode-se utilizar também a técnica oposta: ouvir a saída, por exemplo pelo alto-falante, e proceder **para trás** até chegar à entrada.

Neste caso, trata-se de **injetar** o sinal de áudio procedente do gerador e enviá-lo para os diferentes pontos do seu percurso, da saída até à entrada.

Também, e ainda neste caso, poderá localizar-se a etapa defeituosa porque esta **bloqueará** o sinal que está aplicado à sua entrada.



Infelizmente, o conceito de "etapas" nem sempre pode ser utilizado, nem sequer nos amplificadores, embora esta técnica permita **circunscrever** com grandes traços a zona suspeita.



# Variador de som para guitarra

É necessário um circuito simples para tornar mais agressivo o som deste instrumento

Nem todos podem tocar como Jimmy Hendrix, mas sempre podem tentar imitar o som das guitarras elétricas dos anos mais agressivos do Rock, com R maiúscula.

O tom áspero e “incômodo” da típica guitarra do rock, que é totalmente oposto ao som doce da guitarra clássica, costuma ser habitualmente **exacerbado** pela via eletrônica.

Este conceito é possível porque se trata de uma guitarra elétrica cujos sons não são produzidos por uma caixa de ressonância, mas sim por um **captador magnético** (pick-up) do qual sai um sinal que pode ser manipulado à vontade.



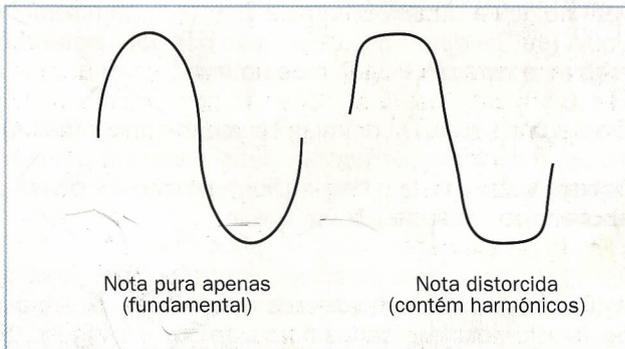
## TIMBRE E HARMÔNICOS

A **nota** que é emitida por um instrumento, por exemplo um Lá natural, corresponde à frequência da oscilação acústica (ou elétrica) produzida pelo próprio instrumento.

Não obstante, com paridade com a nota, pode haver muitas diferenças de **timbre**: o som doce de uma flauta é muito diferente do som metálico de um trombone.

Como já ilustramos na lição 16 de Analógica, o timbre depende da **forma da onda**, ou seja, do conteúdo dos harmônicos, que são as frequências múltiplas da nota fundamental.

*Se alterarmos uma forma de onda muda-se o seu conteúdo harmônico e, a seguir, o timbre captado pelo ouvido.*



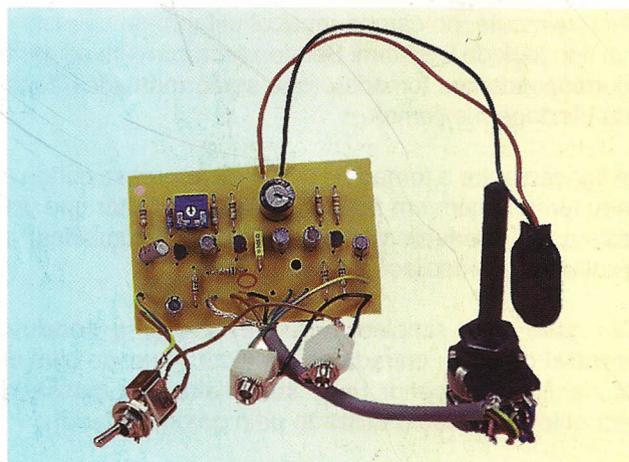
## O VARIADOR DE SOM DISTORCE

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

Por exemplo, **amplificando excessivamente** um sinal, os picos positivos deveriam ultrapassar a alimentação (e os negativos a massa), mas esta hipótese é obviamente impossível.

Portanto, os picos **nivelam-se**, criando uma distorção, ou seja, introduzindo harmônicos onde não existiam: este processo era bastante desagradável num equipamento de alta fidelidade, mas não num concerto de rock.

*O variador de som para guitarra elétrica já terminado.*





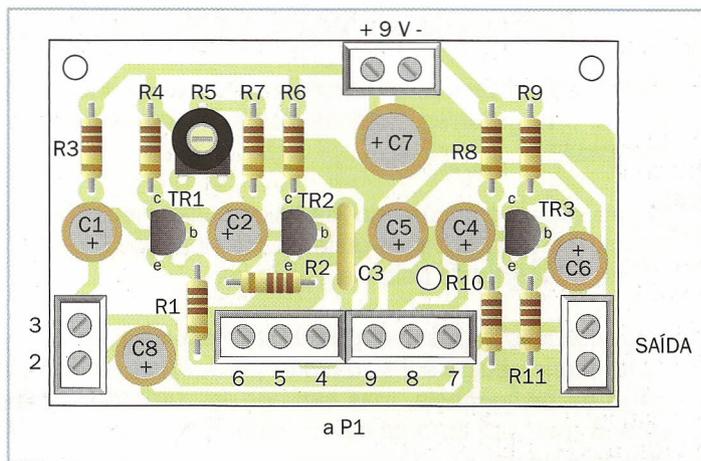
# Montagem do circuito

Todos os **componentes** do circuito, com a exceção da pilha, dos controles e das tomadas da entrada e da saída, encontram o seu lugar na base do circuito impresso, conforme a disposição mostrada na figura.

O circuito é bastante simples: só é necessário ter cuidado com a correta **orientação** dos elementos polarizados: os capacitores eletrolíticos (todos exceto o C3, que é de poliéster) e os três transistores.

Estes últimos são todos do mesmo tipo, porém não é possível que haja nenhuma confusão; como sempre, convém fazer uma **pausa** entre uma solda e outra para que não aqueçam as uniões.

*Disposição dos componentes no circuito impresso do variador de som.*

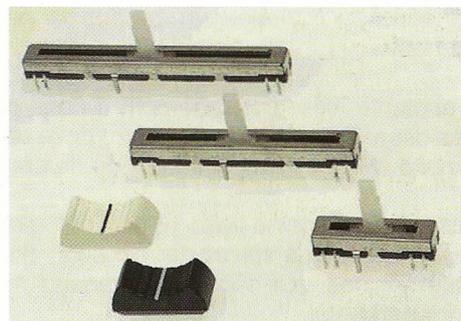


## O POTENCIÔMETRO DUPLO

Para as réguas indicadas como 4, 5, 6, 7, 8, 9, que se vêm na figura superior pode-se ligar um potenciômetro duplo (ou "tandem") que é formado por **dois potenciômetros** e controlado pelo mesmo eixo.

Tratando-se de dois controles de volume que trabalham de um modo **complementar**, seria preferível um outro potenciômetro do tipo "log-antilog"; se não for possível encontrá-lo, pode-se pôr um linear.

As **ligações** com o potenciômetro são mostradas na figura inferior: existem seis fios que devem ser ligados da forma indicada; convém que sejam o mais curtos possível porque, de outro modo, o 4, 5, 7 e 8 devem ficar blindados.



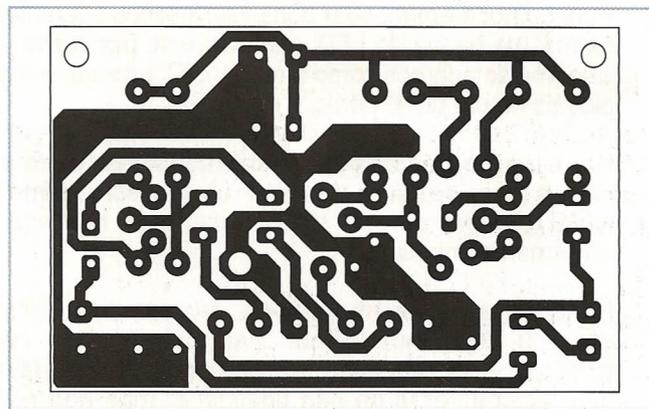
*Também se podem utilizar potenciômetros de deslizamento logarítmicos, montando um deles ao contrário e controlando-os com uma única manivela.*

## LIGAÇÕES DA ENTRADA

Normalmente, no campo musical utilizam-se conectores do tipo **jack** de 6,35 mm. Sendo assim convém adotar as correspondentes tomadas (que serão montadas depois da blindagem externa).

A ligação entre a tomada e o circuito impresso chega a seu término com um **fio blindado**, para evitar que possa captar interferências (especialmente zumbidos) ou produzir auto-oscilações.

No caso mais simples, é suficiente ligar o **condutor central** do fio da entrada no conector marcado com um 3 na figura superior, e a sua malha da massa no conector 6 (também utilizado pelo potenciômetro).



*Lado do cobre do circuito impresso, ou seja, o lado da solda.*

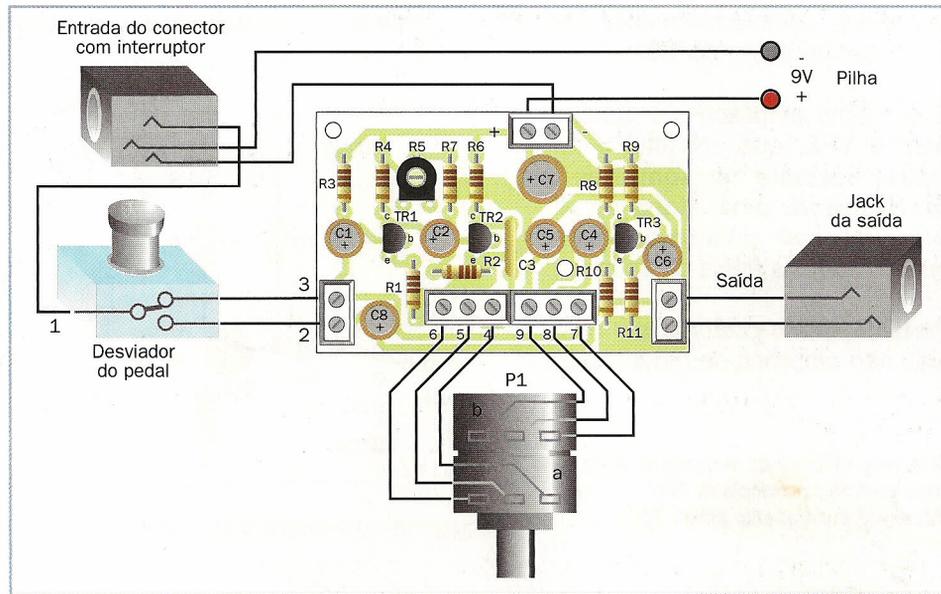
## COMUTAÇÕES

Em vez de ligar simplesmente a alimentação no conector correspondente, pode-se fazer com que o circuito se ligue apenas quando se **introduza** o conector procedente da guitarra.

É suficiente utilizar uma tomada jack com **contato auxiliar**, e ligá-la como está indicado na figura; também se mostra como se pode introduzir e retirar o variador de som com um interruptor de pedal.

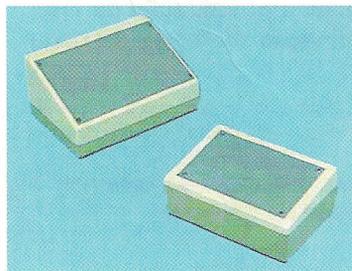
O condutor central da tomada jack e os fios que vão para os conectores 2 e 3,

*Todas as ligações (exceto as das malhas de proteção) para o contato automático e a comutação do pedal.*



## CAIXA

Devido ao ambiente do trabalho, deve-se utilizar uma caixa robusta, preferivelmente **metálica**, na qual se



*Uma caixa com o painel inclinado permite manobrar facilmente o interruptor com o pé.*

deverão praticar os orifícios necessários para as tomadas de jack da entrada e da saída.

Se o **interruptor** S1 estiver montado na parte superior da própria caixa, pode ser acionado com o pé: no entanto, também é preciso um interruptor que seja muito forte.

Quem tenha habilidade manual, poderá realizar um segundo pedal que lhe permitirá **regular** a posição do potenciômetro P1 enquanto soa, em vez de ter de a escolher antes de começar.

## TESTE E UTILIZAÇÃO PRÁTICA

Ligando a guitarra à tomada da entrada e a instalação da amplificação ao jack da saída, pode-se **verificar** o bom funcionamento do circuito, simplesmente tocando e ouvindo.

Se comutarmos o interruptor S1, deve-se passar do som normal para o que está distorcido, enquanto o potenciômetro P1 permite regular a **percentagem** da distorção introduzida, de zero ao máximo.

O grau de distorção é regulado apenas uma vez com o **trimmer** R5, de modo que se obtenha o timbre preferido e também, em função da amplitude do sinal produzido pelo pick-up da guitarra.



*As vibrações das cordas alteram o campo magnético à volta da bobina do pick-up, que produz variações da tensão.*



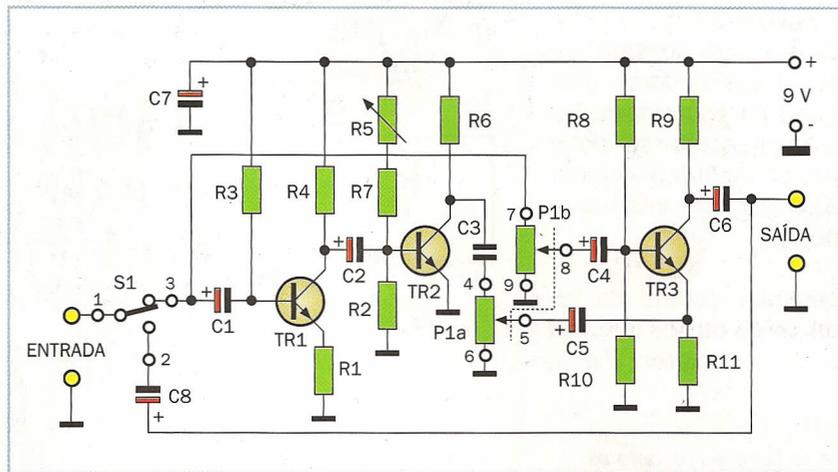
# Funcionamento do circuito

O **signal** da entrada pode ser enviado diretamente para a saída, comutando o interruptor S1 para aquecer o circuito, ou entrar no TR1

Este último amplifica-o e passa-o para o TR2, que constitui o autêntico **variador de som**, que é simplesmente uma etapa amplificadora, mal polarizada (falta também a resistência do emissor).

Portanto, como costuma ser habitual, não amplifica de modo linear,

pois **altera** a forma da onda, produzindo o efeito da distorção que se desejava obter.

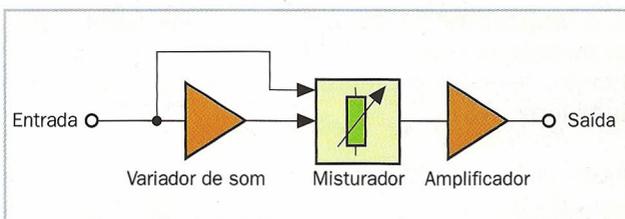


**Esquema elétrico do variador de som para guitarra; o transistor TR2 desenvolve o trabalho principal.**

## PERCENTAGEM DA DISTORÇÃO

Como se pode ver pelo esquema de blocos que está na figura, o sinal da **etapa final** (TR3) pode proceder de duas entradas e amplifica a diferença entre os dois sinais.

Virando o P1 para um dos extremos, passa-se o sinal original até à outra parte que seleciona a que está distorcida; as posições intermediárias permitem **misturá-las** à vontade.



O trimmer R5 atua ao variar a **polarização** do TR2, portanto o tipo de deformação da forma da onda (distorção) que introduz.

**Esquema de blocos do variador de som: o misturador (P1) permite combinar o sinal original e o distorcido.**

## LISTA DOS COMPONENTES

### Resistores, todos de 1/4 W 5%

- R1 = resistor de 100 Ω (marrom, preto, marrom)
- R2, R6 = resistores de 10 KΩ (marrom, preto, laranja)
- R3, R10 = resistores de 15 KΩ (marrom, verde, laranja)
- R4 = resistor de 2,2 KΩ (vermelho, vermelho, vermelho)
- R5 = trimmer de 470 KΩ
- R7 = resistor de 33 KΩ (laranja, laranja, laranja)
- R8 = resistor de 150 KΩ (marrom, verde, amarelo)
- R9 = resistor de 8,2 KΩ (cinza, vermelho, vermelho)
- R11 = resistor de 5,6 KΩ (verde, azul, vermelho)

### Capacitores

- C1, C2, C4, C5, C6, C8 = capacitores electrolíticos de 10 µF 16 V
- C3 = capacitor de poliéster de 3,3 nF

C7 = capacitor electrolítico de 220 µF 16 V

### Transistores

TR1, TR2, TR3 = transistores npn BD546 ou equivalentes

### Vários

- S1 = interruptor de botão metálico (acionamento com o pé)
- P1 = potenciômetro duplo de 50 KΩ, log/antilog o (se não se encontrar) linear
- 1 tomada jack de 6,35 mm mono standard de painel
- 1 tomada jack de 6,35 mm mono standard de painel
- 2 conectores de 3 polos
- 3 conectores de 3 polos
- 1 circuito impresso