

## Cristais: O Ritmo da Eletrônica

Dentro de muitos equipamentos eletrônicos, bate um “coração invisível” que determina com ritmo preciso o seu funcionamento. Nos relógios, cronômetros, computadores e muitos outros equipamentos, minúsculos cristais de quartzo vibram com precisão, garantindo que seus circuitos funcionem de maneira totalmente ordenada e sincronizada. É difícil prever o que seria da eletrônica em nossos dias sem a presença desses elementos. A importância dos cristais de quartzo e seu funcionamento será o tema central deste artigo de interesse geral.

**Newton C. Braga**

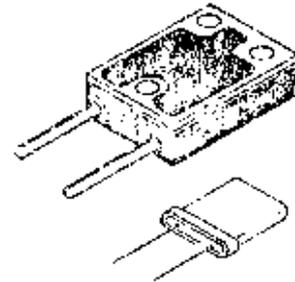
O que faz com que um relógio eletrônico mantenha seu ritmo exato independentemente das variações de temperatura ambiente, das diversas situações em que ele deve funcionar e até do próprio estado de sua bateria? O que faz com que todas as operações de um computador sejam totalmente sincronizadas numa velocidade enorme, com um mínimo de variações?

O que faz com que os transmissores das estações de rádio e de Telecomunicações mantenham suas frequências com grande precisão, não interferindo uma nas outras e permitindo que você as sintonize sempre no mesmo ponto do mostrador de seu rádio, ou sempre que tocar o mesma tecla de seu televisor?

Se o leitor respondeu que é o cristal de quartzo, acertou, mas acreditamos que na maioria dos casos, essa resposta deve estar acompanhada de uma grande interrogação: mas como um cristal de quartzo pode fazer isso?

A maioria dos equipamentos eletrônicos que exige alguma espécie de sincronismo preciso, ou seja, um “relógio

interno”, para funcionar, aproveita as propriedades dos cristais de quartzo, que então podem ser encontrados na forma de componentes eletrônicos, como mostra a figura 1.



**Figura 1 - Cristais de quartzo em invólucros comuns**

Evidentemente, o que temos nesta figura é o invólucro com os terminais de ligação, já que é no interior dele que temos o cristal.

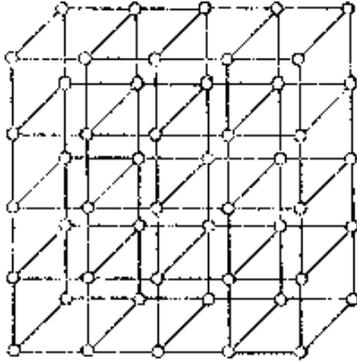
Como funciona a pequena peça de cristal transparente que é colocada nestes invólucros é algo que pode maravilhar tanto pela sua simplicidade como pelo seu significado. Mais uma vez, a natureza se manifesta em simples propriedades que podem ser sofisticadas a ponto de significar todo o sincronismo das operações que seu PC realiza.

### O Cristal de Quartzo

Os cristais são estruturas em que os átomos se dispõem de uma forma ordenada que se repete em toda a sua extensão. Assim, torna-se uma espécie de rede de átomos com uma disposição totalmente ordenada, conforme mostra a figura 2.

Os átomos de um cristal não precisam ser necessariamente todos do mesmo elemento. Um cristal pode ser formado por átomos de dois tipos, como por exemplo de um metal como o silício, o alumínio, etc., e o oxigênio. Muitos cristais de

grande efeito decorativo e também muito valiosos, como o rubi, a turmalina, etc. são estruturas formadas por átomos de dois tipos.

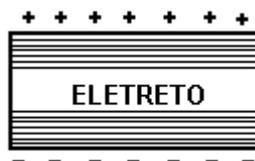


**Figura 2 - Um cristal - estrutura atômica**

A maioria dos cristais apresentam uma estrutura perfeitamente simétrica, o que significa que as forças de natureza elétrica manifestadas pelos átomos no seu interior são balanceadas, e nada de anormal ocorre ou é notado em termos de seu comportamento.

No entanto, pela disposição dos átomos formando o cristal, pode ocorrer que haja uma assimetria em relação às forças elétricas manifestadas pelos átomos. O resultado é a manifestação de forças de natureza elétrica em determinadas condições.

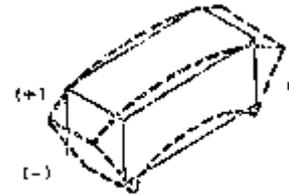
Assim, existem os casos em que essa assimetria se manifesta de tal maneira que nas faces do cristal predominem cargas de determinadas polaridades, ou seja, o material permanece constantemente carregado com cargas estáticas, conforme mostra a figura 3.



**Figura 3 - As cargas das faces de um eletreto são naturais**

Um material desse tipo é denominado piezoelétrico, ou seja, trata-se de um eletreto. As cargas que este material manifesta são intrínsecas, bem diferente das cargas que um corpo acumula quando, por exemplo, o atritamos com outro.

Mas o caso que nos interessa é um pouco diferente: existem cristais que em condições normais não manifestam qualquer desequilíbrio interior. No entanto, quando estes cristais sofrem algum tipo de deformação homogênea, como por exemplo uma compressão, extensão ou torção, aparecem cargas elétricas localizadas, ou seja, eles se tornam polarizados ( figura 4 ).



**Figura 4 - Com a deformação, os cristais de quartzo manifestam tensões elétricas**

Qualquer cristal que não possua um centro de simetria, apresenta esta propriedade, que é a de ser piezoelétrico.

A intensidade com que o efeito se manifesta depende da direção do deslocamento que os átomos sofrem com a deformação, em relação às suas posições originais de equilíbrio.

O efeito contrário também ocorre: se aplicarmos nas faces de um cristal deste tipo uma tensão elétrica, ele se deforma.

Um material que pode manifestar esta propriedade é o quartzo, isso quando seus cristais são cortados de determinada maneira que é mostrada na figura 7.

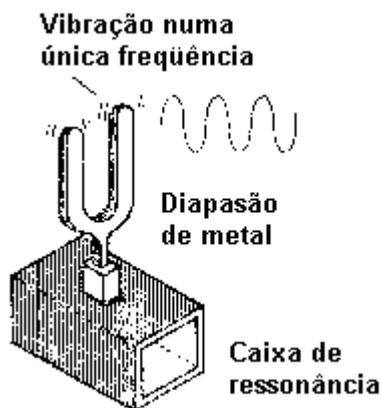
Desta forma, o corte de um cristal de quartzo comum, que é uma forma de óxido de silício, em qualquer das maneiras mostradas na figura, resulta em cristais piezoelétricos.

## Ressonância

Os cristais piezoelétricos de quartzo, em consequência do fato de apresentarem uma polarização elétrica em suas faces devido a deformações, têm outras propriedades importantes conseqüentes.

Uma dessas propriedades é a ressonância.

Qualquer corpo possui uma frequência natural de vibração. Quando batamos numa lâmina de metal presa numa morsa, conforme mostra a figura 5, esta lâmina tende a vibrar numa única frequência que depende de seu formato, tamanho e material de que é feito.



**Figura 5 - Uma lâmina de metal em forquilha (diapásão) vibra numa única frequência**

As vibrações mecânicas fazem com que as forças elásticas entrem em ação, determinando o modo como essas vibrações se realimentam e portanto a frequência natural com que o corpo tende a oscilar.

Este é o princípio de funcionamento da diapásão que produz sempre a mesma nota musical quando excitado mecanicamente, ou das teclas de um xilofone. Até o ar no interior de um tubo vibra em frequência que depende de suas dimensões, o que resulta no princípio de funcionamento de todos os instrumentos de sopro.

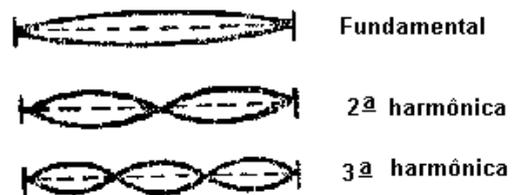
No caso do cristal de quartzo, as suas dimensões e também as forças elásticas que agem no seu interior ( que dependem da direção de sua atuação determinada pelo corte ), fazem com que ele tenda a vibrar sempre numa única frequência quando excitado mecanicamente ou eletricamente.

Em outras palavras, podemos dizer que um cristal de quartzo, se comporta, quando excitado, como um diapásão eletrônico.

Para termos correntes elétricas ou sinais de determinadas frequências, a partir de um cristal de quartzo, basta cortar este cristal com as dimensões apropriadas e excitá-lo eletricamente de modo que ele entre em vibração.

As vibrações vão então ocorrer na sua frequência de ressonância, ou então em harmônicas.

O que ocorre em relação às harmônicas pode ser entendido tomando por base uma corda de violão, conforme mostra a figura 6.



**Figura 6 - Modos de vibração de uma corda presa pelas extremidades**

Uma corda de violão quando excitada pode vibrar somente determinadas maneiras, as quais são estipuladas pelos seus pontos fixos, ou seja, pelos nodos, conforme mostra a figura. Assim, a frequência mais baixa que ela pode produzir é a denominada fundamental e é aquela em que temos os dois nodos nos pontos de fixação da corda e um ventre em seu meio.

Mas a vibração também pode ocorrer de tal maneira que tenhamos um segundo nodo no meio, o que corresponde ao dobro da frequência, ou à segunda harmônica.

Da mesma forma, podemos ter três, quatro, cinco, etc. nodos que vão permitindo que a corda vibre sempre em frequências múltiplas da fundamental. O mesmo ocorre com um cristal, pois ele pode ser forçado a operar em modos de vibração que venham a produzir frequências harmônicas da denominada fundamental.

Esta possibilidade é interessante se considerarmos que, quanto maior for a frequência que um cristal deve produzir, menor devem ser suas dimensões, o que nos leva a um ponto em que o componente se torna muito delicado.

Podemos então usar os cristais desta forma, para produzir sinais que tenham frequências muito mais elevadas que a fundamental e que de outra forma exigiriam componentes extremamente finos e delicados.

## Os Cortes

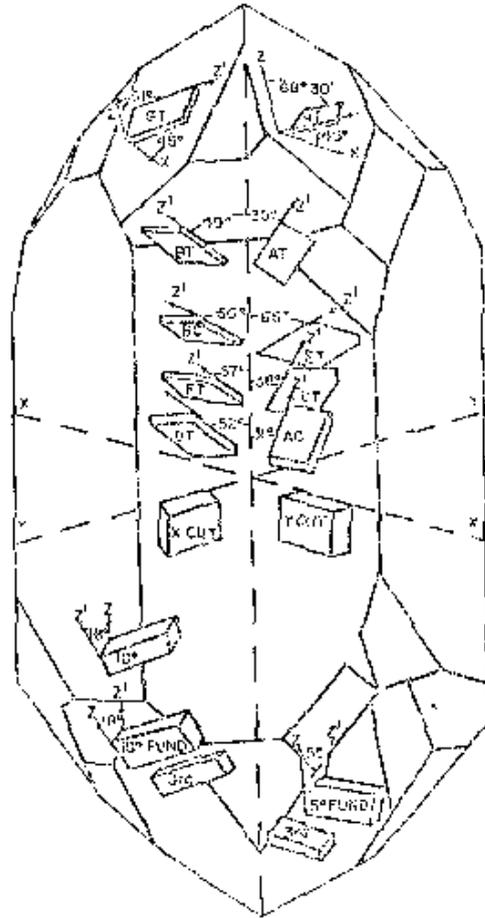
Ao explicarmos inicialmente que o modo como um cristal é cortado influi na maneira como ele pode vibrar e também a intensidade com que o efeito piezoelétrico se manifesta, demos apenas três orientações possíveis.

Na prática, a eletrônica pode aproveitar muito mais orientações e assim existem muitos tipos de cortes, os quais resultam em cristais com aplicações específicas.

Na figura 7 são mostrados todos os tipos de corte de cristal com as suas denominações.

Estes cortes vão determinar não só o modo segundo o qual o cristal vibra quando excitado, na sua aplicação principal,

como também a faixa de frequências e o uso a que se destina.



**Figura 7 - Os cortes possíveis de um cristal de quartzo**

Temos então os seguintes cortes principais:

### a) Duplex 5 X - Designação J.

Neste corte o cristal vibra no sentido de seu comprimento e pode operar em frequências entre 0,8 a 10 kHz.

Trata-se pois de um corte para baixa frequências, obtendo-se um coeficiente nulo de temperatura na temperatura ambiente.

### b) XY

Neste corte, o cristal pode vibrar tanto no sentido de comprimento como na largura, numa faixa de frequências entre 3 e 50 kHz. Também temos neste caso um

corte destinado a operação em baixas frequências.

**c) NT - Designação N.**

Os cristais com este corte vibram no sentido de seu comprimento em frequências entre 4 e 150 kHz, sendo indicados para aplicações em osciladores de baixas frequências e filtros. Uma estabilidade de frequências de 0,0025% pode ser obtida na temperatura ambiente sem a necessidade de controles de temperatura.

**d) +5 X - Designação H.**

O cristal neste corte vibra no sentido de flexionar, numa faixa de frequências de 5 a 140 kHz. As variações relativamente grandes de frequência deste cristal com a temperatura limitam suas aplicações a filtros em ambientes com temperatura controladas. Dentre as dificuldades que podem ser citadas para este cristal, está a dificuldade na sua fabricação, que deve ser uma barra fina e longa, fixada em suporte especial.

**e) BT - Designação B.**

Nesta modalidade de corte o cristal vibra no sentido de sua espessura e em uma faixa de frequências compreendida entre 1 e 75 kHz. Dentre as dificuldades apresentadas por este tipo de cristal, está a dificuldade para sua fabricação.

**f) -18 - 1/2 X - Designação F.**

Neste corte o cristal vibra no sentido de seu comprimento, numa faixa de frequências que pode ficar entre 50 a 250 kHz. Este tipo de cristal é utilizado em filtros e pode ser encontrado em aplicações multi-eletrodos.

**g) +5 X - Designação E.**

Os cristais que apresentam este corte vibram no sentido de seu compri-

mento, numa faixa de frequências de 50 a 250 kHz, sendo usados em aplicações como filtros de baixa frequência, graças a seu baixo coeficiente de temperatura que lhe dá uma boa estabilidade.

**h) DT - Designação D.**

Este tipo de cristal tem suas oscilações rente às faces e pode operar em frequências na faixa de 80 a 500 kHz. Este tipo de cristal é usado como calibrador e base de tempo em frequencímetros, além de transmissores de FM e TV. No entanto, ele não pode operar satisfatoriamente acima de 500 kHz.

**i) MT - Designação M.**

As vibrações neste tipo de cristal ocorrem ao longo de sua extensão, numa faixa de frequências de 50 a 250 kHz. Seu baixo coeficiente de temperatura torna-o ideal para controle de osciladores e filtros. No entanto, trata-se de um tipo de cristal pouco usado, porque existem unidades mais compactas que o substituem.

**j) GT - Designação G.**

Neste cristal as vibrações ocorrem no sentido de sua extensão, numa faixa de frequências entre 85 a 400 kHz. É o tipo de corte que apresenta a maior estabilidade, não excede uma parte por milhão, numa faixa de 100°C. É utilizado em padrões de frequência nos quais a estabilidade sem o controle de temperatura é essencial.

A desvantagem está no seu preço, já que é o mais caro de todos os tipos, devido ao grande trabalho que existe em se encontrar a direção exata de seu corte.

**k) CT - Designação C.**

As vibrações neste cristal ocorrem rente a superfície de suas faces, numa faixa de frequências de 300 kHz a 1,1

MHz. Trata-se de um cristal com coeficiente de temperatura nulo nas baixas frequências.

É utilizado em filtros e osciladores que não necessitam do controle de temperatura de funcionamento. No entanto, como desvantagem, este cristal é difícil de ser fabricado em frequências muito baixas, devido às suas dimensões.

#### D) X

Neste corte, o cristal vibra ao longo de sua extensão, podendo fazer isso numa faixa de frequências que vai de 350 kHz a 20 MHz. Trata-se de um tipo de cristal mecanicamente estável e de baixo custo. No entanto, além do coeficiente de temperatura ( algo elevado ), ele tem tendência a mudar seu modo de oscilação.

#### m) SL

As vibrações deste cristal ocorrem rente à face, mas acopladas por flexão, isso numa faixa de frequências entre 300 e 800 kHz. As características elétricas deste cristal são similares às do corte DT, no entanto, ele é maior, possui melhor Q e uniformidade de característica acima de 300 kHz. Estas características tornam-o ideal para o uso em filtros.

#### n) Y - Designação Y

Este cristal vibra com ondas superficiais acopladas por flexão numa faixa de frequências que vai de 500kHz a 20 MHz. Este tipo de cristal é o mais ativo.

#### o) AT - Designação A

Este tipo de corte faz com que o cristal vibre no sentido de sua espessura, numa faixa de frequências entre 550 kHz e 20 MHz para o modo fundamental e de 10 MHz a 60 MHz nos modos em terceiros sobretons.

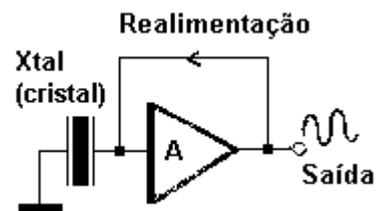
As características excelentes de temperatura e frequência fazem deste tipo

de corte o escolhido para os casos em que a frequência não deve se alterar com as variações de reatância do oscilador. Estas características tornam este tipo de cristal bastante usado no controle de osciladores de altas frequências.

Dentre as desvantagens apresentadas, podemos citar a dificuldade de fabricação.

### Os Osciladores

Um cristal sozinho não pode entrar em vibração espontaneamente. A excitação que coloca um cristal em oscilação e depois mantém esta oscilação é obtida por meio de um circuito especial. Este circuito, conforme sugere a figura 8, nada mais é do que um amplificador, e ao conjunto assim obtido denominamos “oscilador”.



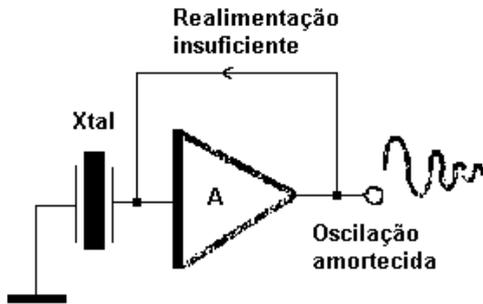
**Figura 8 - Um oscilador é um amplificador com realimentação positiva**

Desta forma, os circuitos que produzem sinais com certas frequências e são controlados por meios de cristais de quartzo, são denominados osciladores controlados por cristal ou simplesmente osciladores a cristal.

Para que tenhamos um oscilador a cristal é preciso que o circuito usado na excitação tenha um certo ganho, ou seja, que o sinal obtido na sua saída seja maior do que o que se necessita para excitar o cristal.

Se isso não ocorrer, o sinal de saída, que serve para excitar de novo o cristal, iria ficando cada vez mais fraco e o que teríamos seria a produção de uma osci-

lação amortecida, conforme mostra a figura 9.



**Figura 9 - Uma realimentação insuficiente impede a manutenção das oscilações**

Com um ganho maior que um, “sobra” sempre um pouco de sinal necessário à realimentação que mantém as oscilações e que pode ser usado no circuito externo.

Existem centenas de aplicações eletrônicas em que os cristais controlam a frequência de osciladores, cujos sinais, que são correntes de determinadas frequências são os responsáveis pelos seus ritmos de funcionamento.

### Aplicações Para Os Cristais

Algumas aplicações dos cristais se destacam, por isso será interessante que os leitores as conheçam.

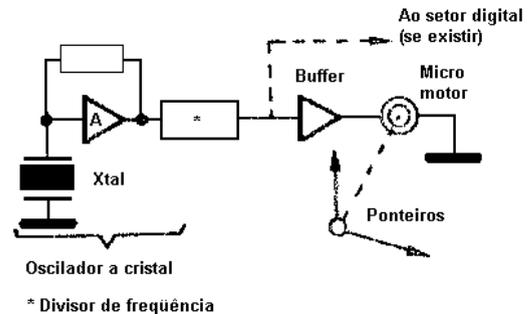
#### a) Relógios

O ritmo de um relógio mecânico é dado pelo balanço de um mecanismo controlado por uma mola. A tensão desta mola determina o ritmo das oscilações.

Os relógios modernos são eletrônicos e seu ritmo é dado por um cristal. Mesmo que exista um micro-motor acionando os ponteiros, conforme mostra a figura 10, seu ritmo e a precisão do relógio dependem do cristal.

Evidentemente, o cristal de um relógio não tem a frequência mínima que estamos acostumados a visualizar, que é a

de 1 Hz, ou um impulso por segundo. Seria muito difícil fabricar um cristal com esta frequência.



**Figura 10 - Diagrama em blocos de um relógio a quartz**

Assim, os relógios usam cristais de frequências mais altas, e estas frequências são divididas por circuitos apropriados de modo a se obter o ritmo que seria ideal para o andamento do relógio.

A precisão obtida num sistema deste tipo é excelente, com pequenas variações que normalmente ocorrem em vista das diferentes temperaturas que o relógio encontra nos ambientes em que trabalha.

O anúncio de que um relógio e de quartzo refere-se justamente à presença deste elemento no circuito, determinando assim seu ritmo preciso de funcionamento.

Devido ao espaço limitado que existe num relógio de pulso, evidentemente os cristais usados devem ter dimensões muito pequenas, o que implica também que eles não conseguem oscilar em frequências muito baixas. Assim, os minúsculos cristais dos relógios produzem oscilações de vários megahertz, para a posterior divisão pelos circuitos de que já falamos.

#### b) Computadores

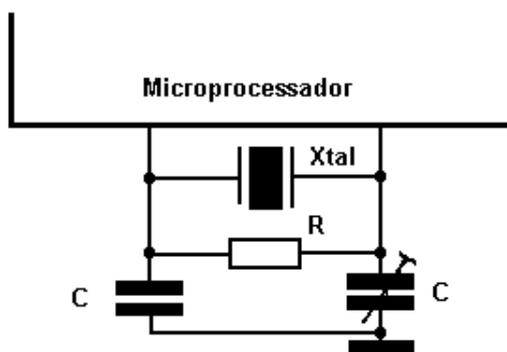
Os computadores do tipo PC e mesmo outros, possuem circuitos que operam segundo o que se denomina de lógica sincronizada.

Todos os circuitos devem operar sincronizados por um determinado sinal único, denominado “clock” que determina quando cada um deve realizar uma determinada operação ou está pronto para emitir o resultado de uma operação ou ainda receber.

Se isso não fosse feito, uma determinada etapa de um computador poderia estar já somando o valor de um dado a outro armazenado numa célula, antes mesmo que o outro tivesse chegado, dando como resultado um valor completamente errado.

Todos os circuitos de um computador são sincronizados por um oscilador único que determina seu ritmo de andamento.

Assim, quando dizemos que um computador “roda” a 40 MHz e portanto é muito mais rápido que outro que só “roda” a 20 MHz, estamos nos referindo à frequência do clock, e que justamente é determinado por oscilador controlado por cristal, conforme mostra a figura 11.



**Figura 11 - Ligação de um cristal ao chip de um microcomputador, determinando a frequência de seu clock**

A velocidade de um computador não pode ser alterada simplesmente pela troca do cristal de seu clock. A escolha de um determinado valor de frequência para um cristal de um computador depende da

capacidade de seus circuitos de operarem com tal frequência.

Se um computador que usar componentes projetados para operar com frequências de 20 MHz receber um sinal de clock de 40 MHz, ele não vai conseguir operar satisfatoriamente.

Um dos problemas que ocorre numa operação em velocidade maior é que há uma dissipação de calor maior. Este fato justifica a existência de uma chave “turbo” em muitos computadores que lhe dotam de duas velocidades: uma é a frequência original do clock dada pelo cristal, e outra dada por um divisor por 2 que permite a operação na metade da velocidade.

Em condições limites, num ambiente quente ou quando o computador tiver que funcionar por horas seguidas, se não estivermos com um programa que necessite de alta velocidade, será interessante ativar os circuitos de um aquecimento maior com a operação em menor velocidade.

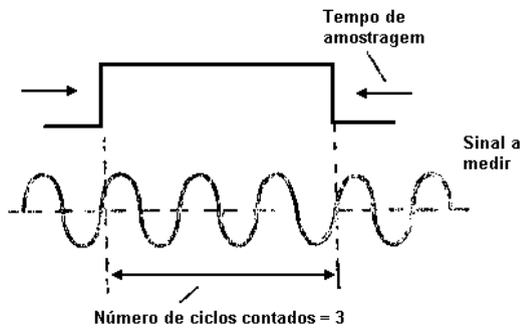
Podemos de uma forma geral dizer que o oscilador de clock de um computador funciona como um “maestro” que determina seu ritmo de funcionamento, de modo que tudo esteja em harmonia. A quebra da harmonia pode significar erros graves e a própria inoperância do aparelho.

**c) Existem instrumentos de medida em que sua precisão depende fundamentalmente da precisão com que se pode estabelecer um intervalo de tempo de referência.**

Este é o caso de frequencímetros, em que a medida de uma frequência é feita contando-se o número de ciclos num intervalo de tempo conhecido, conforme mostra a figura 12.

Por exemplo, num frequencímetro comum, podemos fixar em 1/10 de segundo o intervalo de contagem dos pulsos ou “amostragem”. Assim, se nesse intervalo,

para um sinal de frequência a ser medida, forem contados 5000 ciclos, então a frequência deste sinal, projetada no mostrador será de 50 kHz.



**Figura 12 - Amostragem num frequen-  
címetro**

Os próprios circuitos internos fazem a multiplicação de um valor ou a colocação do ponto decimal, desprezando os dígitos menos significativos, quando necessário.

#### **d) Outras Aplicações**

Telefones sem fio, walk-talkies, televisores em cores, são alguns

outros exemplos de aparelhos em que encontramos os cristais exercendo função decisiva, relacionada com o controle de frequência.

Nos telefones sem fio, os cristais determinam a frequência de operação das estações, garantindo assim uma estabilidade que de outra forma não poderia ser obtida. Se o ajuste da frequência fosse feito por circuitos sintonizados comuns (LC), a possibilidade de “escape” do sinal seria muito maior, resultando na necessidade constante de reajuste do aparelho, com a conseqüente perda da confiabilidade.

Nos walk-talkies, os cristais determinam com precisão o canal em que os aparelhos devem operar, fixando a frequência tanto do receptor como do transmissor.

Finalmente, nos televisores, encontramos cristais nas etapas de processamento de cores, fixando a frequência dos circuitos, de modo a detectar este sinal com precisão.