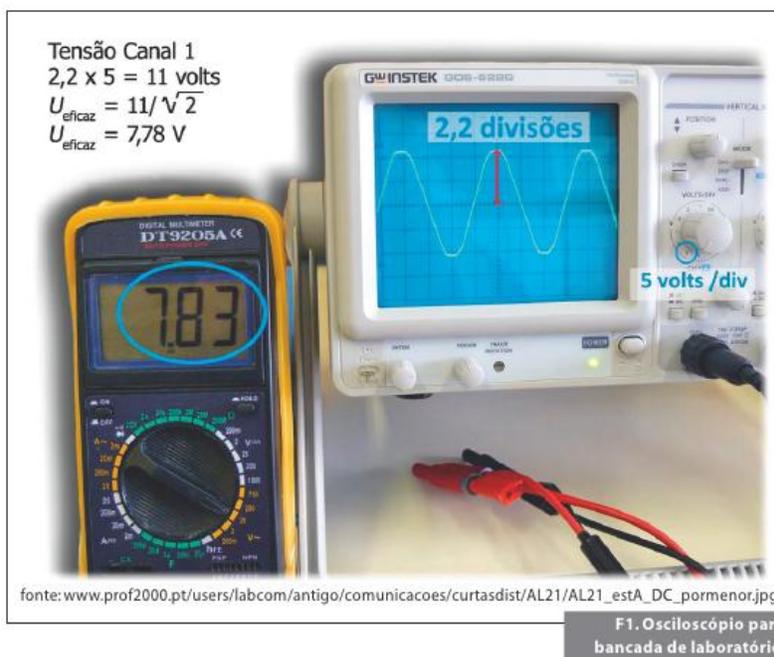


Curso sobre o Osciloscópio

Na história das medidas elétricas e eletrônicas nenhum instrumento provocou tanto impacto como o osciloscópio, sendo um dos aparelhos de medida de maior utilidade em quase todos os laboratórios.

Filipe Pereira

O osciloscópio tem como **finalidade** reproduzir graficamente na tela do tubo de raios catódicos o evoluir de uma tensão elétrica ao longo do tempo. Com os osciloscópios é possível visualizarmos **sinais de elevada frequência**, o que não acontece com muitos aparelhos de medida correntes, que se tornam inoperantes nessas circunstâncias. Na **figura 1**, o aspecto de um osciloscópio comum.



As **aplicações** do osciloscópio são inúmeras como: medição de frequências, medição de defasagens, medição de tensões e correntes alternadas, medição de tensões e correntes contínuas, bem como a análise, verificação, ajuste e reparação de equipamento eletrônico.

O osciloscópio é um instrumento muito sensível à tensão, ou seja, é um **voltímetro de alta impedância**, logo, pode analisar com elevada precisão qualquer fenômeno que possa transformar-se em tensão.

Tubo de raios catódicos

É graças ao tubo de raios catódicos que é possível visualizar o sinal que se deseja analisar. Na **figura 2**, a ilustração de um T.R.C.



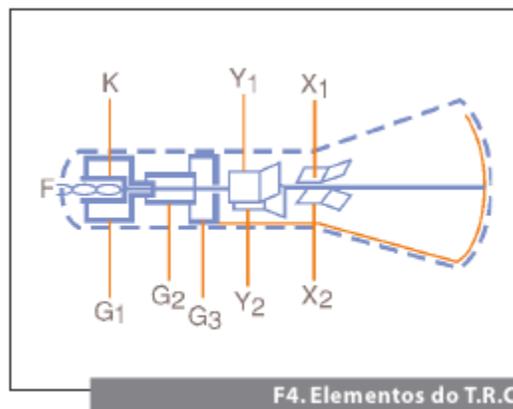
O T.R.C. é um tubo de vácuo em cujo catodo se obtém um feixe de elétrons que convenientemente acelerado, focado e orientado, se faz incidir numa tela fosforescente.

O tubo de raios catódicos é constituído por um canhão eletrônico, pelo sistema defletor e a tela (**figura 3**).



F3. Constituição do T.R.C.

Eletrodos constituintes do **canhão eletrônico** (**figura 4**):



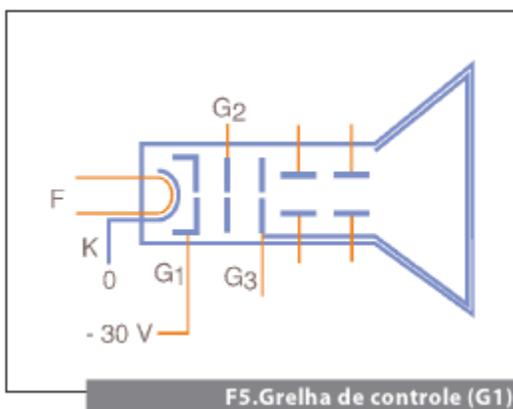
F4. Elementos do T.R.C.

- Filamento (F);
- Catodo (K);
- Grelha de controle (G1);
- Primeiro eletrado acelerador (G2);
- Eletrado de focagem (G3).

O **filamento** (F) de um canhão eletrônico é o elemento que aquece o catodo (K), isto é, o que proporciona a energia calorífica necessária para provocar a emissão de elétrons do catodo. Consiste num fio trançado de resistência adequada, alojado no interior do catodo. Ao aplicar ao filamento uma tensão normalmente de 6,3 V, este torna-se incandescente por efeito de Joule, e desta forma aquece o catodo (K) que o reveste.

O **catodo** (K) é o eletrodo emissor de elétrons. Consiste simplesmente, num cilindro metálico revestido com óxidos especiais.

A **grelha de controle** (G1) consiste num pequeno cilindro metálico com um pequeno orifício circular no fundo, e que rodeia o catodo (**figura 5**). A função da grelha é controlar o fluxo de elétrons procedentes do catodo em direção à tela.



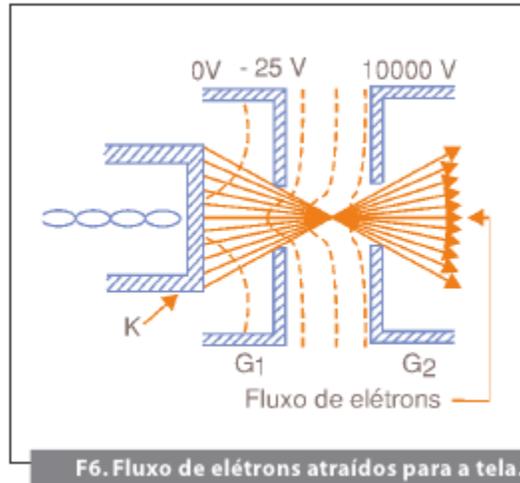
F5. Grelha de controle (G1).

À grelha de controle é aplicada uma tensão mais ou menos negativa em relação ao potencial do catodo. Como consequência deste potencial negativo resulta que os elétrons que o catodo liberta, e que devem atravessar a grelha até a tela, encontram um campo elétrico negativo e, por conseguinte, serão repelidos. Esta repulsão dos elétrons é tanto maior quanto maior for o potencial negativo aplicado à grelha de controle.

Mediante a regulação do potencial da grelha de controle é possível, portanto, controlar a quantidade de elétrons que conseguem atravessá-la até a tela, e desta forma se controla a intensidade do brilho da imagem.

O elevado potencial positivo do eletrodo de aceleração (G2) atrairá os elétrons procedentes do catodo em direção a tela.

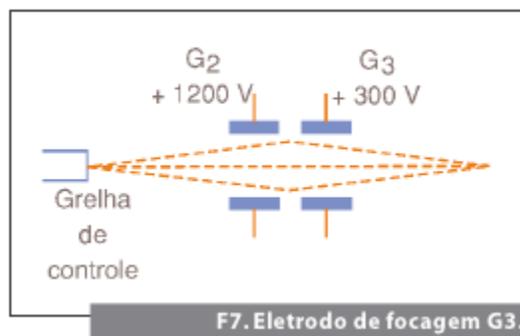
O eletrodo de aceleração tem forma cilíndrica, com pequenas aberturas para a passagem do feixe de elétrons. Veja **figura 6**.



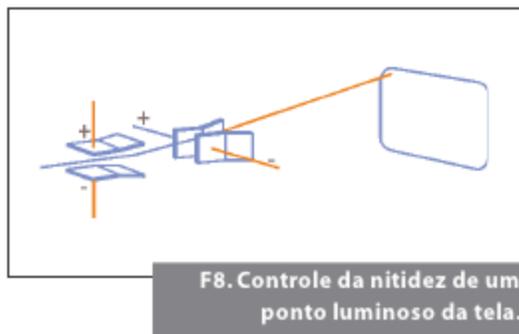
O fluxo de elétrons tende a dispersarse quando entra no interior do eletrodo de aceleração, isto devido a dois fatores:

- Trata-se de um feixe de elétrons, e portanto de cargas elétricas negativas. Como cargas do mesmo sinal se repelem, tendem a separar-se umas das outras;
- Como existe um elevado potencial positivo no eletrodo de aceleração, este atrairá os elétrons.

Para obtermos um ponto luminoso (spot) na tela é necessário focar os elétrons, ou seja, concentrá-los de novo num feixe fino, para isso recorre-se ao eletrodo de focagem (G3). Observe a **figura 7**.



Uma boa focalização eletrostática consegue-se aplicando à grelha de focagem uma tensão positiva inferior à aplicada ao eletrodo de aceleração. Um eletrodo de focagem, na continuação do eletrodo de aceleração, e com a mesma polaridade positiva que este, reforçará ou debilitará o campo elétrico que atua sobre os elétrons segundo a diferença de potencial existente entre os eletrodos de aceleração e de focagem. Atuando sobre o comando de focalização do osciloscópio modificamos o potencial aplicado ao eletrodo de focagem, e com ele a nitidez do ponto luminoso na tela (**Figura 8**).

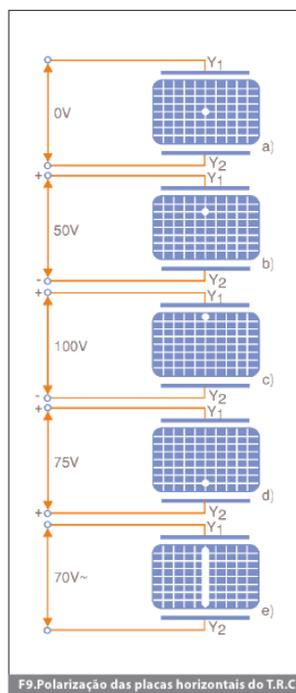


F8. Controle da nitidez de um ponto luminoso da tela.

Se o TRC não dispusesse de um **sistema defletor** (placas de deflexão vertical e horizontal), ou este não atuasse, o feixe de elétrons procedentes do canhão eletrônico incidiria no centro da tela, e permaneceria imóvel no referido ponto.

Precisa-se portanto, controlar ou dirigir o feixe de elétrons em direção à superfície da tela. Para isso é necessário desviar o feixe, vertical e horizontalmente, o que se consegue com as placas de deflexão horizontal e as placas de deflexão vertical, respectivamente.

Considerando que o feixe de elétrons procedentes do canhão eletrônico não é mais que uma carga negativa em movimento, a qual produz um campo magnético, podemos facilmente deduzir que, se submetermos o referido feixe à ação de um campo magnético ou elétrico, o feixe de elétrons desviar-se-á da sua trajetória de acordo com as leis de atração e repulsão das cargas elétricas, e que o desvio citado será proporcional à intensidade do campo magnético ou elétrico aplicado às placas de deflexão. A polarização das placas de deflexão vertical de um tubo de raios catódicos (**figura 9**):



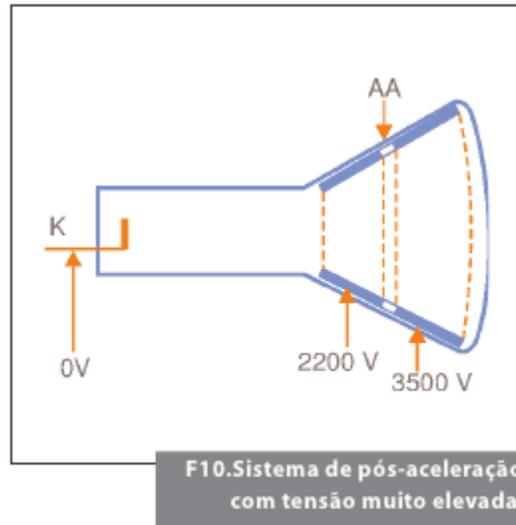
F9. Polarização das placas horizontais do T.R.C.

a) Corresponde à não aplicação de tensão entre as placas verticais; isto é, entre as placas Y1 e Y2 a tensão é de 0 V. O feixe de elétrons não sofrerá nenhum desvio e incidirá no centro geométrico da tela.

b) Se aplicarmos uma diferença de potencial entre as placas verticais, estas farão desviar o spot em direção à placa com potencial positivo, dado que o feixe de elétrons (com carga negativa) será atraído pela placa positiva e repelido pela negativa. Este desvio do spot será diretamente proporcional à tensão aplicada entre as placas. O spot permanecerá imóvel numa dada posição, enquanto se mantiver a d.d.p. entre as placas de deflexão vertical.

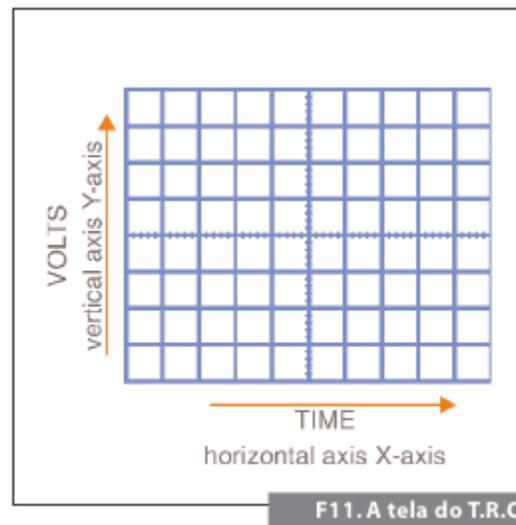
c) Se aplicarmos uma tensão variável periódica, por exemplo uma tensão alternada senoidal, o spot deslocar-se-á continuamente na direção vertical sobre a superfície da tela. Se a frequência da tensão aplicada ao par de placas for muito baixa, observar-se-á perfeitamente, o deslocamento do ponto sobre a tela. Se a frequência da tensão aplicada ao par de placas deflectoras for superior à da persistência do olho humano, ver-se-á uma linha reta vertical, embora na realidade se trate apenas de um ponto luminoso que se desloca rapidamente na superfície da tela.

Tudo quanto se expôs para as placas de deflexão vertical é igualmente válido para as **placas de deflexão horizontal (X1 e X2)** com a única diferença de que o spot se desviará na direção horizontal no sentido de uma ou outra placa, segundo a polaridade de cada uma delas, e proporcionalmente ao valor do potencial elétrico aplicado. Para se conseguir um compromisso entre a **sensibilidade** (é conveniente que, com a menor tensão de deflexão possível, se obtenha sobre a tela o maior desvio – V/cm) e a **nitidez do spot** emprega-se o **sistema de pós-aceleração**, que consiste num eletrodo constituído por uma camada de material condutor (grafite) depositada no interior da ampola de vidro, entre o eletrodo acelerador e a tela. **Figura 10.**



O eletrodo de pós – aceleração polariza-se com uma tensão muito elevada, cujo valor depende do tamanho da tela. A função deste eletrodo é exercer uma ação de concentração do feixe de elétrons, para obter um ponto luminoso extremamente pequeno.

A tela do tubo de raios catódicos é de vidro, e na sua parte interna deposita-se uma fina e uniforme camada de fósforo, que tem a propriedade de iluminar-se intensamente quando nela incide um feixe de elétrons (**figura 11**).



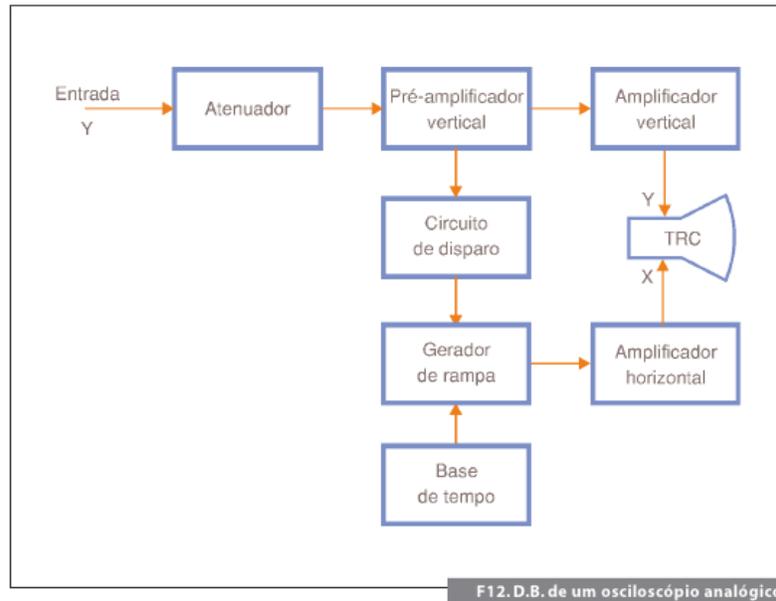
Os elétrons ao se chocarem na tela com velocidade suficiente, iluminam-na no ponto de incidência ou choque, permanecendo iluminada (**fosforescência**) durante um curto período de tempo (**persistência**).

Para que a tela não se carregue negativamente com os elétrons que nela incidem, a camada fluorescente deve emitir um número de elétrons igual ao dos incidentes. Consegue-se isto por intermédio de uma delgadíssima metalização de alumínio na parte posterior da tela.

Com a finalidade de evitar uma influência nefasta de campos eletromagnéticos estranhos, os tubos de raios catódicos para osciloscópios devem ter uma blindagem com um cilindro metálico.

Constituição do Osciloscópio

Um osciloscópio analógico básico é constituído, para além do tubo de raios catódicos, pelos seguintes circuitos (**figura 12**):



- Atenuador.;
- Pré - amplificador vertical;
- Amplificador vertical;
- Circuito de disparo;
- Base de tempo;
- Gerador de rampa;
- Amplificador horizontal.

Vejamos, que funções cumprem no circuito cada uma das etapas indicadas no diagrama de blocos anterior, dividindo-as em dois grupos, as que correspondem à deflexão vertical e as que correspondem à deflexão horizontal.

As etapas correspondentes à deflexão vertical são três:

- Atenuador;
- Pré - amplificador vertical;
- Amplificador vertical.

O **atenuador** é a primeira etapa de qualquer osciloscópio, e portanto é o circuito que recebe o sinal que se deseja visualizar. Tem por finalidade igualar a elevada impedância das pontas de prova do osciloscópio, que possuem valores típicos de 1 M Ω ou 10 M Ω , à baixa impedância dos pré-amplificadores verticais. Outra função que o atenuador cumpre é a de diminuir a amplitude do sinal de entrada quando esta tem um valor excessivo que ponha em risco a fidelidade do sinal, isto é, quando pode produzir-se distorção.

A etapa seguinte é um **amplificador vertical**. Este circuito é constituído por um pré-amplificador de tensão, um circuito compensador (são filtros ou etapas corretoras de compensação de baixas ou altas frequências) e um amplificador final que amplifique para um valor adequado o sinal que se pretende analisar. As etapas correspondentes à deflexão horizontal são quatro:

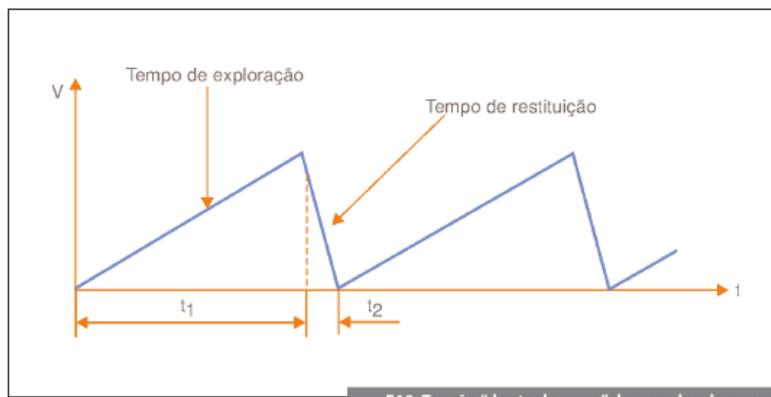
- Base de tempo;
- Gerador de rampa;
- Amplificador horizontal;
- Circuito de disparo.

Os circuitos de base de tempo e gerador de rampa de um osciloscópio têm por finalidade conseguir que a tensão aplicada às placas de deflexão vertical do tubo de raios catódicos apareçam na tela como função do tempo.

Dado que em todo o sistema de coordenadas se representa o tempo sobre a coordenada horizontal X, o circuito de base de tempo e gerador de rampa deve intervir sobre as placas de deflexão horizontal, que são as que controlam o feixe de elétrons sobre o eixo de simetria horizontal da tela.

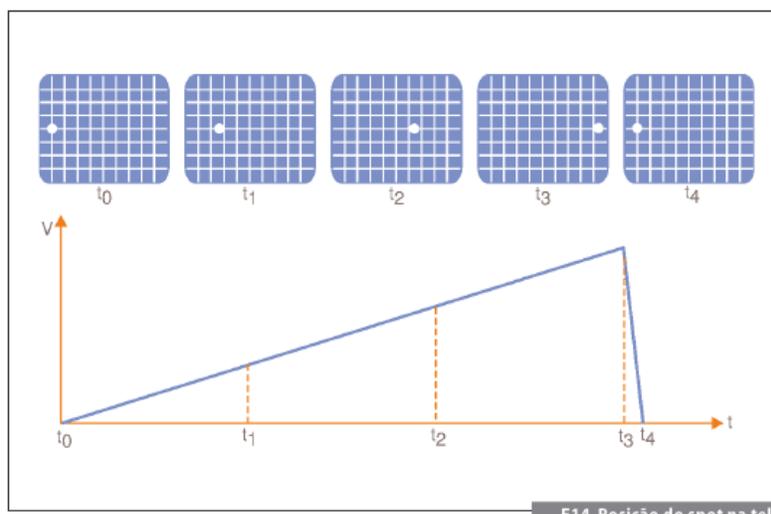
O circuito de base de tempo e gerador de rampa deve fazer deslocar o spot periodicamente e com velocidade constante na direção horizontal sobre a tela, da esquerda para a direita, e voltar o mais rapidamente possível à sua posição original, e assim sucessivamente.

Para efetuar esta varredura, o circuito gerador de rampa fornece às placas de deflexão horizontal uma tensão em dente de serra. O tempo decorrido desde que se inicia a subida da tensão até que se atinja o seu valor máximo tem o nome de tempo de exploração, e é o tempo necessário para que o spot, situado à esquerda da tela, passe para a direita, varrendo no sentido horizontal o eixo de simetria dela. O tempo que decorre desde o momento em que se atinge o valor máximo até a descida da tensão até zero, tem o nome de tempo de restituição, e é o tempo necessário para que o spot, situado à direita da tela regresse ao seu ponto de origem situado à esquerda dela (**figura 13**).



F13. Tensão "dente de serra" do gerador de rampa.

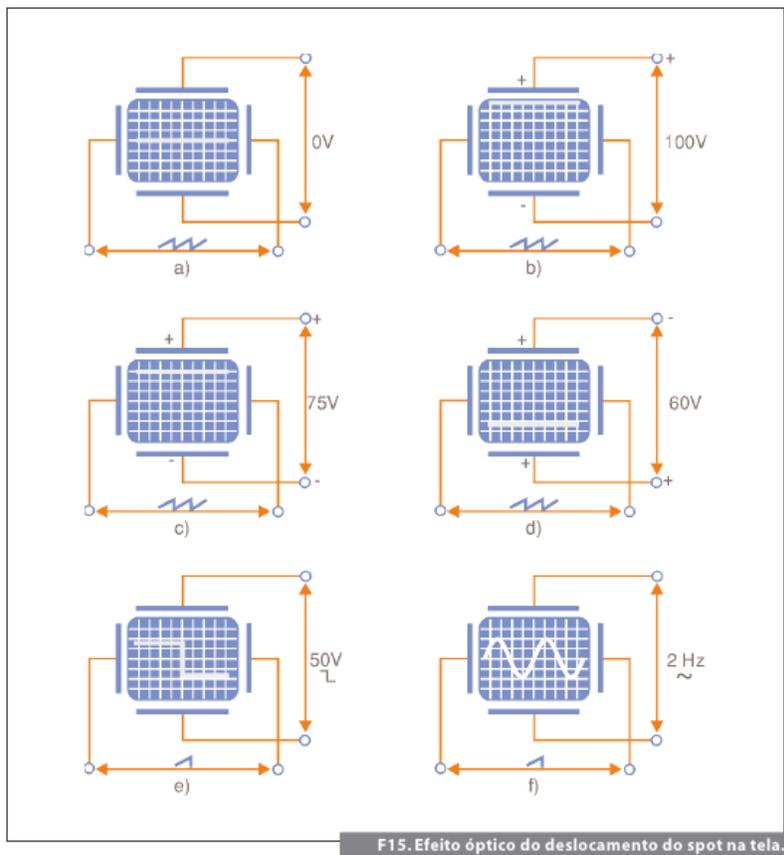
Na **figura 14** representou-se graficamente a posição do spot sobre a tela do tubo de raios catódicos, ao ser aplicada uma tensão em dente de serra às placas de deflexão horizontal.



F14. Posição do spot na tela.

Como se pode observar, o tempo de exploração é maior que o tempo de restituição, já que o que interessa é reproduzir da esquerda para a direita a trajetória do spot e fazer regressar o referido ponto à sua origem no menor lapso de tempo possível.

Dado que a frequência da tensão em dente de serra do gerador de rampa é relativamente elevada, o spot deslocar-se-á horizontalmente pela tela com grande rapidez, pelo que o efeito óptico será igual à presença de uma linha reta e não de um ponto, isto é, na tela do tubo veremos uma linha horizontal, a qual coincidirá com o eixo de simetria horizontal quando não se aplica uma tensão entre as placas de deflexão vertical (ver **figura 15 a**).



Em **(b)** aplicamos uma tensão de 100 V às placas de deflexão vertical com o positivo na placa superior e o negativo na inferior.

Em **(c)** baixamos um pouco a tensão aplicada às placas de deflexão vertical (75 V), com o positivo na placa superior.

Em **(d)** mudamos a polaridade aplicada às placas de deflexão vertical.

Se, durante o tempo que o spot demora em percorrer a distância “lado esquerdo - centro” da tela, aplicarmos uma tensão positiva à placa de deflexão vertical superior, e, durante a outra metade (tempo de deslocamento do spot do “centro – lado direito” da tela) aplicarmos um potencial positivo à placa de deflexão vertical inferior, o traço deslocar-se-á durante metade do tempo de varredura horizontal na parte superior da tela e durante a outra metade na parte inferior do ecrã (ver **figura e**). Vemos, portanto, que dela se reproduz exatamente a forma de onda que se aplicou às placas de deflexão vertical.

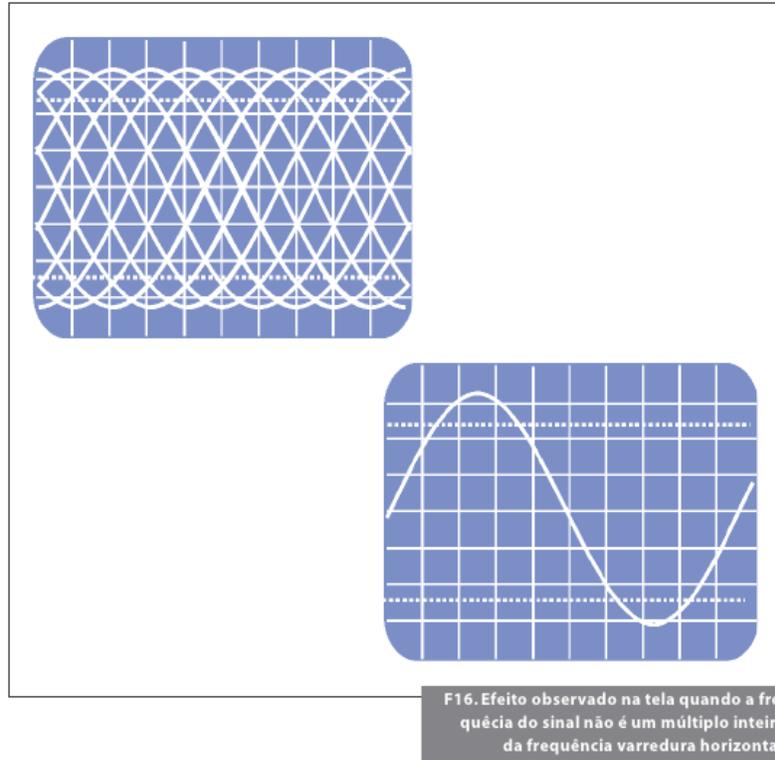
Em **(f)** aplicamos às placas de deflexão vertical uma tensão alternada senoidal, cuja frequência é o dobro da frequência de varredura da base de tempo, o que permitirá ver na tela dois ciclos do sinal alternado.

Os circuitos de **base de tempo** são constituídos por **osciladores ou multivibradores RC**, que geram **pulsos retangulares** de tensão com frequência variável mediante escolha dos grupos RC por um comutador rotativo. Uma vez gerados, esses pulsos passam ao **gerador de rampa**, cuja finalidade é a de convertê-los em tensões em **dente de serra**.

Como a tensão em dente de serra obtida à saída do gerador de rampa não tem amplitude suficiente para fazer desviar o spot de um lado ao outro da tela, é necessário um amplificador horizontal que eleve a tensão em dente de serra para o valor adequado (ver diagrama de blocos).

Circuito de disparo

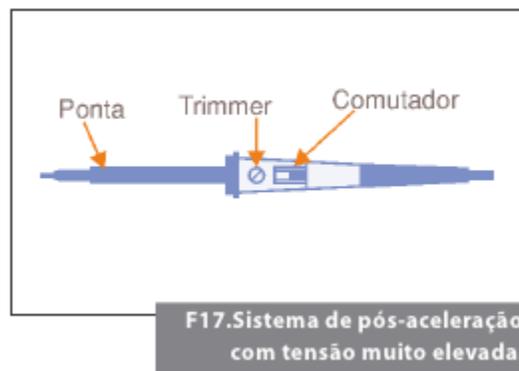
Se a frequência do sinal que se analisa não for um múltiplo inteiro da frequência de varredura horizontal, em cada início de varrimento o sinal analisado iniciar-se-á num ponto distinto da tela, e isso produzirá um efeito parecido com o apresentado na **figura 16**.



Para evitar esta situação recorre-se ao **circuito de disparo**. Este circuito tem por finalidade determinar o instante em que se inicia a varredura horizontal da tela. Faz-se coincidir a origem da rampa ascendente da tensão em dente de serra com o mesmo ponto do sinal que se analisa. Habitualmente, o sinal de disparo deriva do sinal de entrada vertical.

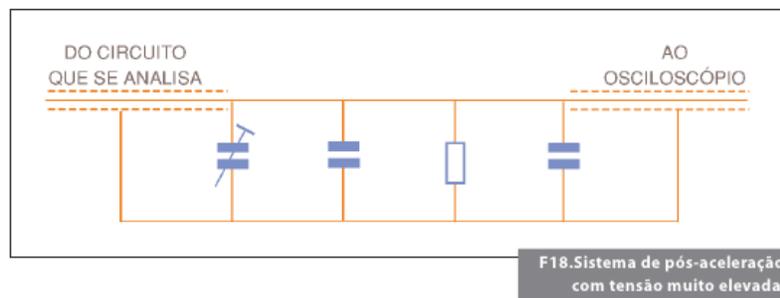
Pontas de prova

Se utilizássemos pontas de prova como as que se empregam nos multímetros, para introduzir os sinais nas entradas verticais de um osciloscópio, estas produziriam sinais parasitas que interfeririam na medida. Para evitar que isto aconteça recorre-se ao emprego de pontas de prova específicas para os osciloscópios (**figura 17**).

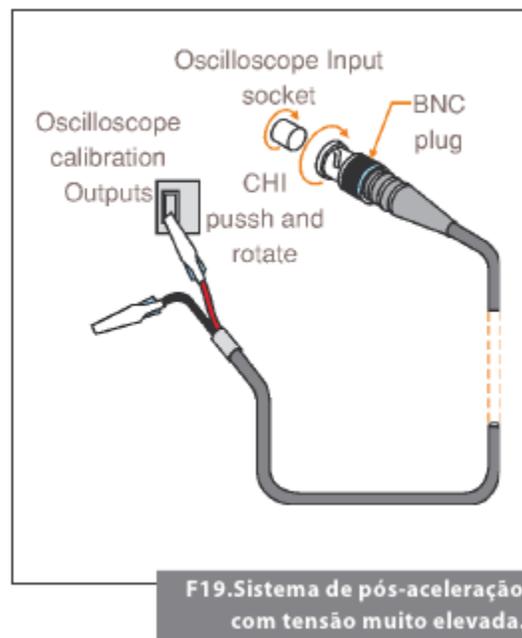


As pontas de prova mais usuais são as seguintes:

- **Passivas, sensores de tensão, x1:** Não reduzem o nível do sinal, pelo que a sensibilidade da ponta é máxima. Elevada capacidade (32 a 112 pF) e largura de banda muito limitada (3 a 35 MHz). Suportam tensões até 500 V;
- **Passivas, sensores de tensão, atenuadoras x10, x100, x1000:** Atenuam a amplitude do sinal em 10, 100 ou 1000 vezes. Capacidade ajustável. Podem trabalhar com grandes larguras de banda (até 300 MHz);
- **Ativas, sensores de tensão:** São constituídas por transistores de efeito de campo (FET). A atenuação é selecionável. Capacidade muito baixa (1,5 pF). Largura de banda até 900 MHz. Têm um elevado custo;
- **Sensores de corrente:** Utilizadas para medir correntes até 1000 – 1500 A. Largura de banda de 50 MHz e carga mínima para o circuito;
- **Alta tensão:** Utilizadas para a medição de tensões muito elevadas, até 40 kV;
- **Detectoras:** Projetadas para detectar frequências muito elevadas. As pontas de prova são constituídas por um trimmer (capacitor de capacidade ajustável) ou grupo de capacitores (um deles trimmer) em paralelo com uma resistência, ou mais, se possuir vários níveis de atenuação (**figura 18**).

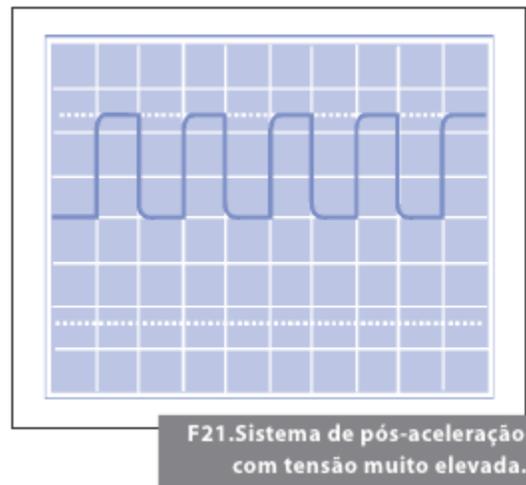
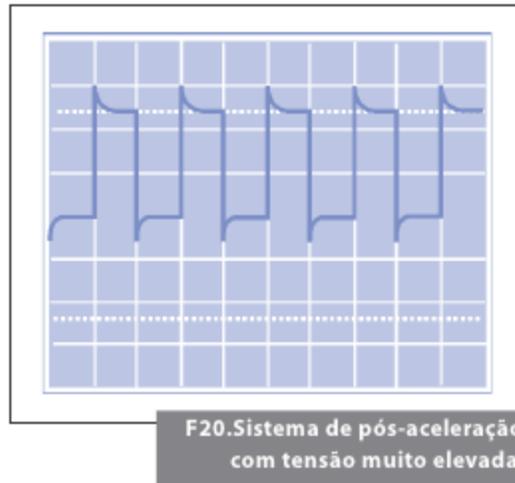


Ao ligar o conjunto osciloscópio - ponta de prova ao circuito em ensaio, a sua impedância é maior que a do osciloscópio sozinho, pelo que afetará menos o circuito em ensaio e a medida será mais confiável. Como norma geral, e para aproveitar ao máximo a largura de banda do osciloscópio, a ponta de prova deverá ter uma largura de banda superior à do osciloscópio (**figura 19**).



Ajuste das pontas de prova

Ao proceder ao ajuste da ponta de prova pode acontecer que esta esteja **pouco compensada (faltam altas frequências)**, em cuja situação a forma de onda obtida na tela do osciloscópio terá uma forma semelhante à indicada na **figura 20**, ou que está excessivamente compensada (sobram altas frequências), caso indicado na **figura 21**.



Tanto num como noutro caso deverá **ajustar-se o trimmer da ponta de prova** com a ajuda de uma pequena chave de fenda em plástico - nunca metálica para evitar capacidades parasitas, rodando à esquerda ou à direita, como convenha, até que na tela se obtenha uma forma de onda perfeitamente quadrada.

Uma vez ajustada a ponta de prova do canal 1 convém marcá-la para que a utilizemos sempre nessa entrada vertical, e em seguida procederemos da mesma forma para o ajuste da ponta de prova do canal 2.