

PARTE I

SISTEMA DE TV DIGITAL

1 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

Em julho de 1941, a Comissão Federal de Comunicações Norte-Americana, *Federal Communications Commission* (FCC), autorizou o funcionamento das duas primeiras estações de TV em preto-e-branco nos Estados Unidos. Em 1945, existiam nove estações de televisão autorizadas naquele país, sendo que seis já estavam em funcionamento. No Brasil, a primeira estação de TV em preto-e-branco foi inaugurada em 1952, na cidade de São Paulo. O Brasil adotou o mesmo padrão de TV em preto-e-branco já existente nos Estados Unidos (Padrão M).

Em 1954, foi definida a versão final do sistema norte-americano de TV em cores, sistema *National Television System Committee* (NTSC). Inicialmente, as transmissões de TV colorida norte-americanas apresentavam problemas de fidelidade das cores. Assim sendo, os países europeus criaram outros sistemas para resolver o referido problema. Na França, surgiu o sistema *Sequencial Couleur Avec Mémoire* (Secam), e na Alemanha, foi criado o sistema *Phase Alternation Line* (PAL). Em 1974, o Brasil adotou o sistema PAL de TV em cores, porém compatível com o sistema de TV preto-e-branco já existente (padrão M).

Em 1998, surgiram as primeiras transmissões de TV digital terrestre (propagação pelo ar). Os Estados Unidos adotaram o sistema *Advanced Television Systems Committee* (ATSC) e os europeus, o sistema *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVB-T). No Japão, foi criado o sistema *Integrated System Digital Broadcasting-Terrestrial* (ISDB-T), que somente entrou em operação comercial a partir de 2003. Em 1998, foi realizado convênio entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie, a Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão (Abert) e a Sociedade de Engenharia de Televisão (Set), com o objetivo de testar os três sistemas de TV digital: ATSC, DVB-T e ISDB-T. Os resultados dos testes foram encaminhados à Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) para servir de subsídio para uma futura decisão do governo brasileiro sobre o sistema de TV digital a ser adotado no Brasil. Mais recentemente, em 2003, foi realizado novo convênio entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie, a Abert e a Set, com o objetivo de analisar a evolução dos três sistemas de TV digital.

1.2 O sistema de TV em preto-e-branco

1.2.1 Características principais

As primeiras transmissões de TV basearam-se no antigo cinema em preto-e-branco. No padrão norte-americano, também adotado no Brasil, a relação de aspecto da

imagem (largura/altura) é 4:3, usam-se 525 linhas por quadro e são transmitidos 30 quadros por segundo. Cada quadro é constituído por linhas intercaladas de dois campos consecutivos, ou seja, existem 60 campos por segundo.

A TV em preto-e-branco só foi possível graças à curva de luminosidade relativa do olho humano (Figura 1). Pela figura, pode-se observar que as diversas cores visíveis, cujo comprimento de onda se localiza entre 400m μ (milimicro) e 700m μ , dão sensações de brilho diferentes ao olho humano. Assim sendo, na câmara de TV em preto-e-branco, um feixe eletrônico enxerga a imagem conforme essa curva e cria um sinal conhecido pelo nome de “luminância” ou “Y”. No receptor, o sinal “Y” superposto a um feixe eletrônico faz com que sejam reproduzidas em uma tela luminescente as sensações de “escuro” e “claro” que foram captadas pela câmara.

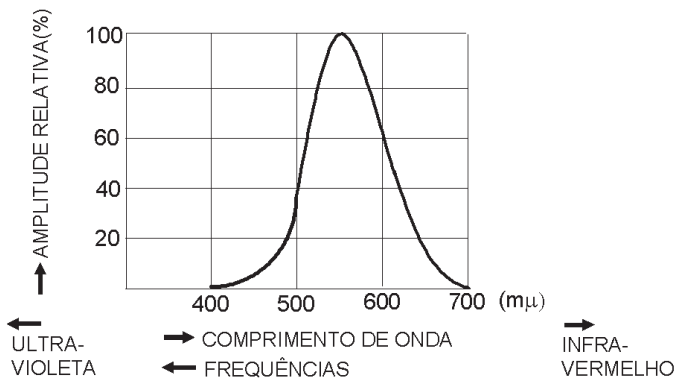


Figura 1 Curva de luminosidade relativa do olho humano

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 1 mostra o princípio da varredura intercalada. No primeiro campo, admitindo-se que no início o feixe eletrônico está na parte inferior à direita da tela, são perdidas 20 linhas para o feixe subir até o canto superior à esquerda da tela. O tempo correspondente a essas 20 linhas é conhecido como Retorno do Primeiro Campo. A seguir, inicia-se a varredura efetiva do primeiro campo: o feixe traça linhas (percorrendo a tela da esquerda para a direita, e sempre retornando rapidamente para a esquerda) desde a linha 21 até a metade da linha 263, quando se atinge o centro da borda inferior da tela e se inicia o retorno do segundo campo, que também corresponde a 20 linhas. Assim, na metade da linha 283, o feixe está no centro da borda superior da tela e inicia-se a varredura efetiva do segundo campo, de tal modo que no fim da linha 525 o feixe volte ao canto inferior à direita da tela. Como se pode observar, a informação completa de um quadro é obtida pelo intercalamento das linhas de dois campos.

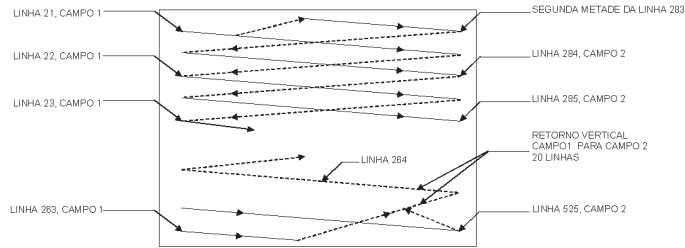


Figura 2 O princípio da varredura intercalada

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.2.2 Varredura horizontal e varredura vertical

Como foi visto, conclui-se que a imagem de televisão é o resultado de dois sistemas de deflexão:

- *Deflexão vertical* – É o movimento do feixe de cima para baixo, com posterior retorno para cima. Como este movimento corresponde a um campo, conclui-se que a frequência de deflexão vertical é $f_V = 60\text{Hz}$. Assim sendo, o período da deflexão vertical é $T_V = 16,67\text{ms}$, sendo que o tempo correspondente ao retorno (20 linhas) é de $1,27\text{ms}$.
- *Deflexão horizontal* – É o movimento do feixe da esquerda para a direita, com posterior retorno para a esquerda. Como um quadro possui 525 linhas e tem-se 30 quadros por segundo, conclui-se que a frequência de deflexão horizontal é $f_H = 525 \times 30 = 15750\text{Hz}$. Assim sendo, o período da deflexão horizontal é $T_H = 63,5\mu\text{s}$. A norma prevê 16% de T_H para o tempo de retorno horizontal, ou seja: $10,16\mu\text{s}$.

Dependendo se o sistema de deflexão é eletrostático ou eletromagnético, pode-se associar ao movimento de varredura uma forma de onda “dente de serra de tensão” ou de corrente. As figuras 3a e 3b mostram os dentes de serra correspondentes, respectivamente, à deflexão horizontal e à deflexão vertical.

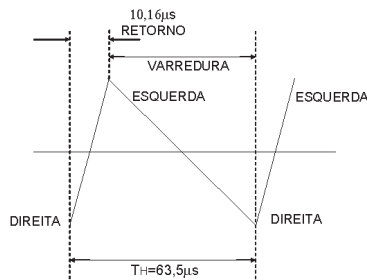
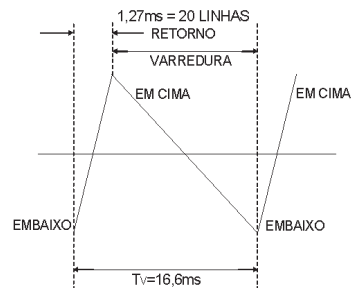


Figura 3a Deflexão horizontal

Fonte: Elaboradas pelos autores.



3b Deflexão vertical

1.2.3 O sinal de vídeo

A Figura 4a mostra o aspecto do sinal de vídeo gerado pela estação correspondente a uma linha horizontal. Durante o tempo de varredura da esquerda para a direita (ver o correspondente dente de serra da Figura 3a) é enviado o sinal de luminância “Y” que pode excursionar entre 10% que corresponde ao branco até 75% que corresponde ao preto. Durante o tempo de retorno horizontal ocorre o “apagamento horizontal”, ou seja, o sinal fica “mais preto do que preto”. Durante o intervalo de “apagamento horizontal”, a estação envia um sinal conhecido como “pulso de sincronismo horizontal” cuja função é sincronizar o dente de serra do horizontal do receptor com a estação.

A Figura 4b mostra o aspecto do sinal de vídeo durante as 20 linhas correspondentes ao intervalo de retorno vertical. Durante esse tempo, ocorre o “apagamento vertical” de tal modo que as linhas de retorno ficam invisíveis. Na Figura 4b, os pulsos mais largos enviados nas linhas 4, 5 e 6 constituem o “sincronismo vertical” cuja função é sincronizar o dente de serra do vertical do receptor com a estação.

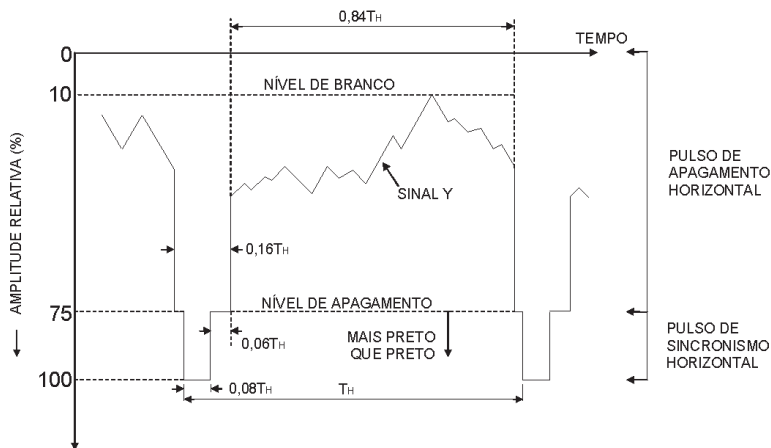


Figura 4a Aspecto do sinal de vídeo durante uma linha horizontal

Fonte: Elaborada pelos autores.



Figura 4b Aspecto do sinal de vídeo durante o tempo de retorno vertical

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.2.4 Resolução

Todos os sistemas reprodutores de imagem possuem limitações. O menor detalhe capaz de ser reproduzido por um determinado sistema é denominado elemento de imagem, ou *pixel* (*picture element*). A resolução de um sistema é especificada pelo número de *pixels* que ele reproduz. Por exemplo, o antigo cinema de 16mm, do qual se originou a TV em preto-e-branco, possui uma resolução de 125 mil *pixels*.

No caso da televisão, o menor detalhe capaz de ser reproduzido na vertical seria correspondente à espessura de uma linha. Entretanto, dependendo do tipo de imagem a ser reproduzido, nem todas as linhas teriam efeito. Assim sendo, determinou-se um fator estatístico K, chamado de Fator de Kell, que estabelece o número efetivo de linhas na vertical. O seu valor é $K = 0,65$. Um quadro de televisão possui efetivamente 485 linhas, pois 40 são perdidas durante o retorno dos dois campos. Então, o número efetivo de *pixels* na vertical é conseguido pela equação $0,65 \times 485 = 315$. Admitindo-se *pixel* quadrado, conclui-se que o número total de *pixels* na horizontal seria $315 \times (4/3) = 420$. Finalmente, pode-se concluir que a resolução da televisão é $315 \times 420 = 132.300$ *pixels*, ou seja, é praticamente idêntica à resolução do antigo cinema de 16mm.

O menor detalhe capaz de ser reproduzido na horizontal seria uma seqüência cíclica de *pixels* pretos-e-brancos tais que o número total de ciclos seria $420/2 = 210$. O desenho 1 mostra qual seria o aspecto do sinal de vídeo correspondente a essa situação. Como o tempo efetivo de varredura é $0,84 \times T_H = 53,34\mu\text{s}$, conclui-se que o valor máximo da freqüência do sinal de vídeo é obtido a partir da equação $(210 \text{ ciclos}) / (53,34\mu\text{s}) \approx 4\text{MHz}$.

Note-se que, se fosse empregada varredura progressiva, ou seja, fossem enviados 60 quadros por segundo, sem a utilização de dois campos, o valor máximo da freqüência do sinal de vídeo seria $\approx 8\text{MHz}$.

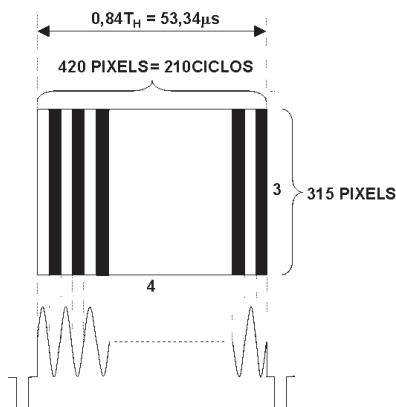


Figura 5 Determinação do valor máximo da freqüência do sinal de vídeo

1.2.5 Os canais de TV do padrão M

No padrão M, estabeleceu-se para cada canal de transmissão uma banda de 6MHz. A Tabela 1 mostra a distribuição dos canais aéreos e a respectiva nomenclatura nas faixas de VHF e UHF.

TABELA 1

Canais aéreos de VHF e UHF

Canal	Frequência Banda, MHz	Canal	Frequência Banda, MHz	Canal	Frequência Banda, MHz
2	54-60	25	536-542	48	674-680
3	60-66	26	542-548	49	680-686
4	66-72	27	548-554	50	686-692
5	76-82	28	554-560	51	692-698
6	82-88	29	560-566	52	698-704
7	174-180	30	566-572	53	704-710
8	180-186	31	572-578	54	710-716
9	186-192	32	578-584	55	716-722
10	192-198	33	584-590	56	722-728
11	198-204	34	590-596	57	728-734
12	204-210	35	596-602	58	734-740
13	210-216	36	602-608	59	740-746
14	470-476	37	608-614	60	746-752
15	476-482	38	614-620	61	752-758
16	482-488	39	620-626	62	758-764
17	488-494	40	626-632	63	764-770
18	494-500	41	632-638	64	770-776
19	500-506	42	638-644	65	776-782
20	506-512	43	644-650	66	782-788
21	512-518	44	650-656	67	788-794
22	518-524	45	656-662	68	794-800
23	524-530	46	662-668		
24	530-536	47	668-674		

Fonte: elaborada pelos autores.

A Figura 6 mostra a distribuição das frequências dentro de um canal. O sinal de vídeo modula em AM (amplitude modulada) uma portadora de vídeo (f_{pv}) localizada a 1,25MHz do início do canal. A modulação é do tipo AM-VSB (“vestigial side band” ou banda lateral vestigial): a banda lateral superior é completa e transmite-se apenas 0,75MHz da banda lateral inferior. Para a transmissão do sinal de áudio, utiliza-se uma portadora (f_{ps}) localizada 4,5MHz acima da portadora de vídeo. O sinal de áudio modula a portadora de som em FM (frequência modulada) com desvio de frequência de 25kHz. Note-se que, no receptor de TV, a informação de áudio é obtida através de uma interportadora de som de 4,5MHz gerada pela diferença entre f_{pv} e f_{ps} .

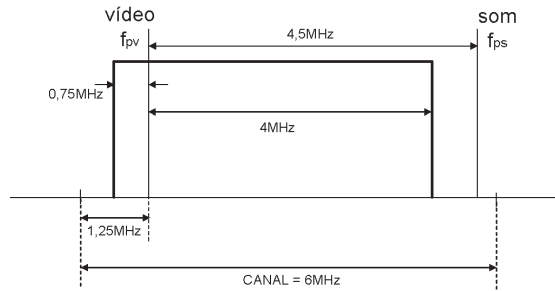


Figura 6 Distribuição de frequências em um canal do padrão M

A Figura 7 mostra o aspecto da portadora de vídeo (f_{pv}) modulada pelo sinal de vídeo.

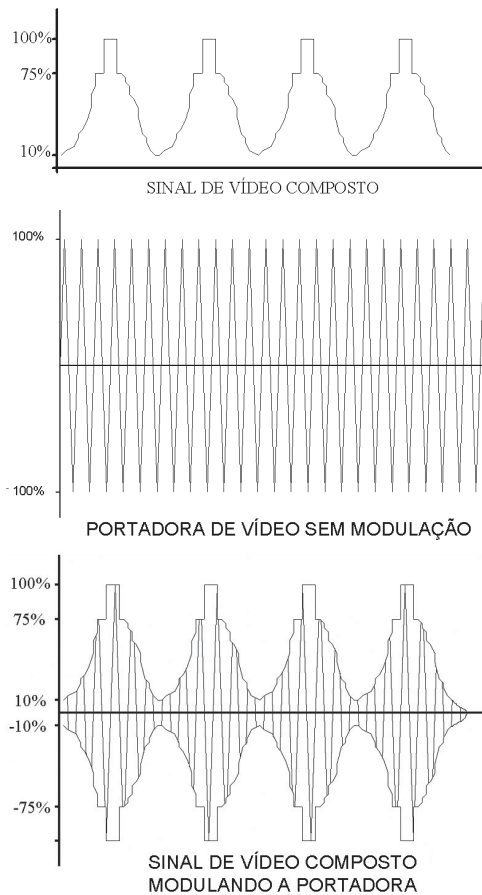


Figura 7 Portadora de vídeo modulada

1.3 O SISTEMA DE TELEVISÃO EM CORES ANALÓGICA

1.3.1 Princípio básico

A TV em cores só foi possível porque o olho humano possui sensores (cones) predominantes para três cores primárias: vermelho (R), verde (G) e azul (B), como mostra a Figura 8. As demais cores são conseqüências de excitações proporcionais das três cores primárias. Assim sendo, tem-se:

$(R+G)$ = (amarelo), $(G+B)$ = (cian), $(R+B)$ = (magenta) e $(R+G+B)$ = (branco)

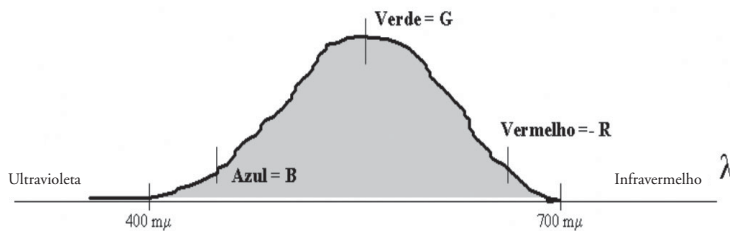


Figura 8 Sensibilidade dos cones do olho humano

Baseada nesse princípio, a estação utiliza uma câmera tricromática com filtros especiais que analisam a imagem conforme as curvas da Figura 8. Criam-se assim três sinais R, G e B com faixa de 4MHz. No receptor utiliza-se uma tela luminescente com três feixes que, ao receberem os sinais R, G e B, excitam proporcionalmente as cores vermelha, verde e azul, reproduzindo assim a imagem original.

1.3.2 O problema da compatibilidade entre TV em cores e TV em preto-e-branco

A TV em cores foi implantada após cerca de 10 anos de existência da TV em preto-e-branco, ou seja, já existiam milhões de receptores em preto-e-branco no mercado. No início da implantação, os receptores de TV em cores eram muito caros, e a pequena quantidade de receptores não justificaria a criação de programas em cores exclusivos. Assim sendo, chegou-se à conclusão de que a melhor solução seria tornar os dois sistemas compatíveis entre si, ou seja: os receptores em cores deveriam funcionar corretamente em preto-e-branco quando recebessem o sinal de uma estação preto-e-branco, e os receptores em preto-e-branco deveriam funcionar normalmente em preto-e-branco quando recebessem o sinal de uma estação em cores.

1.3.3 Sinal Y a partir de R, G e B

Para satisfazer os receptores em preto-e-branco, a estação em cores deve transmitir o sinal de luminância (Y). Assim, os três sinais R, G e B que saem da câmara tricromática são combinados conforme os respectivos pesos no brilho da imagem obtidos a partir da curva de luminosidade relativa da Figura 1, ou seja, o sinal “Y” é obtido através da equação:

$$Y = 0,30R+0,59G+0,11B \tag{1}$$

1.3.4 Sinais “diferença de cor”: (R-Y) e (B-Y)

Como os receptores de TV em cores precisam dos sinais R, G e B, a estação de TV em cores além de transmitir o sinal Y, também envia os sinais (R-Y) e (B-Y). Assim sendo, por simples cálculos matemáticos, o receptor de TV em cores recupera os sinais R, G e B.

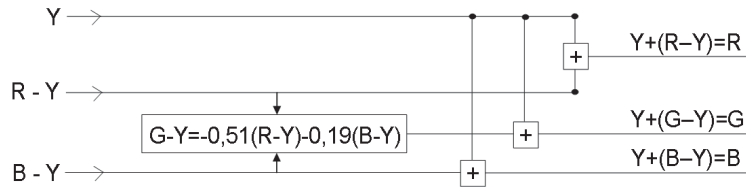


Figura 9 Sinais R, G e B a partir de Y, (R-Y) e (B-Y)

A Figura 9 mostra o diagrama de blocos da operação matemática que é feita no receptor de TV em cores para obter os sinais R, G e B. Note-se que não é necessária a transmissão do sinal (G-Y), pois:

$$Y = 0,30R+0,59G+0,11B \tag{2}$$

ou, $0,30Y+0,59G+0,11B = 0,30R+0,59G+0,11B$
 ou, $0,59(G-Y) = -0,30(R-Y)-0,11(B-Y)$

e, finalmente, tem-se:

$$(G-Y) = -0,51(R-Y)-0,19(B-Y) \tag{3}$$

Estudos do comportamento da visão humana mostraram que a sensibilidade do olho humano para as cores é inferior à respectiva sensibilidade para o brilho. Assim sendo concluiu-se que, apesar de o sinal Y conter frequências até 4MHz, os sinais “diferença de cor” não precisariam conter frequências acima de 1,3MHz.

1.3.5 O sinal de vídeo composto da TV em cores

Para transmitir (B-Y) e (R-Y), a estação de TV em cores cria dois sinais: $U = 0,493(B-Y)$ e $V = 0,877(R-Y)$. Os sinais U e V modulam uma subportadora com frequência $f_{sc} \approx 3,58\text{MHz}$. O processo de modulação é AM-VSB/SC (amplitude modulada com banda lateral vestigial e portadora suprimida) de tal modo que o sinal U modula a portadora a zero grau e V modula a portadora a noventa graus. O sinal assim obtido, também conhecido pelo nome de “sinal de crominância” é superposto ao sinal Y. A Figura 10 mostra a distribuição de frequências na faixa do sinal Y.

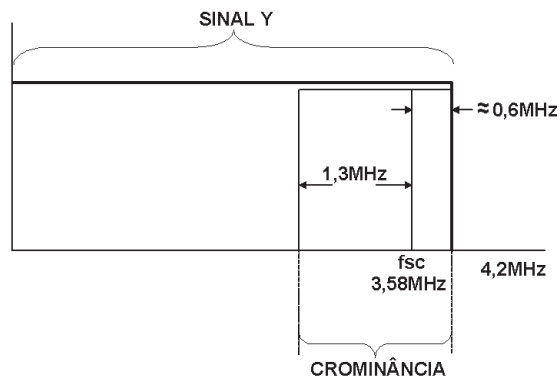


Figura 10 Faixa de frequências do sinal de crominância superposto ao sinal Y

Quando se iniciaram as transmissões em cores, a faixa do sinal Y foi aumentada de 4MHz para 4,2MHz como mostra a Figura 10. Na Figura 10 também se pode observar que o sinal de crominância possui a banda lateral inferior completa (1,3MHz) e a banda lateral superior é vestigial ($\approx 600\text{kHz}$).

A Figura 11 mostra o aspecto do sinal de vídeo composto de TV em cores para um padrão de barras coloridas. Como se pode observar, durante a varredura horizontal, o sinal de crominância fica superposto ao sinal Y. O valor exato da subportadora de cor f_{sc} foi cuidadosamente escolhido para que o sinal de crominância ficasse com baixa visibilidade na imagem dos receptores em preto-e-branco. Na Figura 11 também se pode observar que no pórtilo posterior ao pulso de sincronismo, a estação de TV em cores envia 9 ciclos de amostra da subportadora de cor (f_{sc}). Essa informação é conhecida como “sincronismo de cor” ou “burst”. A finalidade do “burst” é sincronizar o oscilador de 3,58MHz que é necessário no receptor para poder demodular corretamente os sinais U e V.

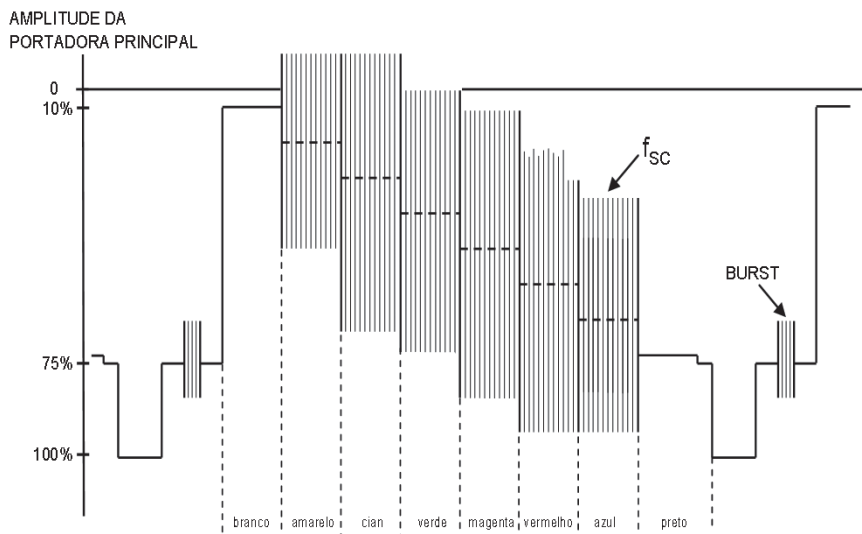


Figura 11 Sinal de vídeo composto de TV em cores

Os sinais U e V são exatamente os mesmos tanto para o sistema norte americano NTSC como para o sistema PAL-M usado no Brasil. Os itens abaixo mostram mais alguns detalhes sobre os dois sistemas:

- Quando se iniciaram as transmissões de TV em cores surgiu uma interferência na imagem resultante do batimento entre a frequência da interportadora de som (4,5MHz) e a frequência da subportadora de cor $f_{sc} \approx 3,58\text{MHz}$. Houve necessidade de reduzir a visibilidade dessa interferência de frequência $(4,5\text{MHz} - 3,58\text{MHz}) \approx 920\text{kHz}$. Como não se poderia alterar a frequência da interportadora de som (4,5MHz) sob pena de milhões de receptores de TV já existentes no mercado deixarem de receber o sinal de áudio, concluiu-se que seria mais prático alterar ligeiramente os valores de f_H e f_V , pois já existia também a necessidade de f_{sc} ter baixa visibilidade. Assim sendo, tanto para o sistema NTSC como para o sistema PAL-M tem-se: $f_H = 15734\text{Hz}$ e $f_V = 59,94\text{Hz}$.
- Cálculos teóricos mostraram que, no sistema NTSC, para se reduzir simultaneamente a visibilidade das interferências f_{sc} e $(4,5\text{MHz} - f_{sc})$, ambas as interferências deveriam ter frequências com valor múltiplo ímpar de $f_H/2$. Assim sendo, escolheu-se o valor $f_{sc} = 3.579545\text{MHz}$.
- O sistema PAL-M foi uma evolução do sistema NTSC. No sistema PAL-M o sinal V sofre inversões de 0° para 180° em linhas consecutivas sucessivamente antes de modular a subportadora de cor f_{sc} . Por esse motivo, se o sistema PAL-M utilizasse o mesmo valor de f_{sc} do sistema NTSC, as interferências

ficariam com alta visibilidade. Estudos teóricos mostraram que para se reduzir a visibilidade das interferências f_{sc} e $(4,5\text{MHz} - f_{sc})$, no sistema PAL ambas as interferências deveriam ter frequências com valor múltiplo ímpar de $f_H/4$. Adotou-se o valor $f_{sc} = 3,57561149\text{MHz}$.

1.4 Digitalização dos sinais de tv analógica

Atualmente praticamente todos os procedimentos de estúdio já são digitais. Até mesmo os receptores de TV analógica recorrem a técnicas de digitalização para a execução de funções mais sofisticadas tais como: inserção de relógio e textos, memorização e função PIP (“picture in picture” ou introdução da imagem de um canal dentro da imagem de outro canal).

Geralmente se digitalizam os sinais Y, R, G e B que possuem faixa de 4,2MHz e (B-Y), (R-Y), U e V que possuem faixa de 1,3MHz. Também foram padronizados os sinais “diferença de cor” P_B e P_R (com faixa de 1,3MHz), com valores: $P_B = 0,564(\text{B-Y})$ e $P_R = 0,713(\text{R-Y})$. Os coeficientes de P_B e P_R (também conhecidos como C_B e C_R) foram escolhidos para que a amplitude pico a pico desses sinais ficasse igual à amplitude do sinal de luminância Y (sem os pulsos de sincronismo).

O processo de digitalização (Figura 12) consiste em amostrar discretamente o sinal com uma frequência de amostragem f_A e, a cada nível de amplitude, fazer corresponder uma respectiva combinação de bits. A teoria, através do teorema de Nyquist, mostra que o valor da frequência de amostragem deve ter pelo menos o dobro do valor da máxima frequência do sinal amostrado.

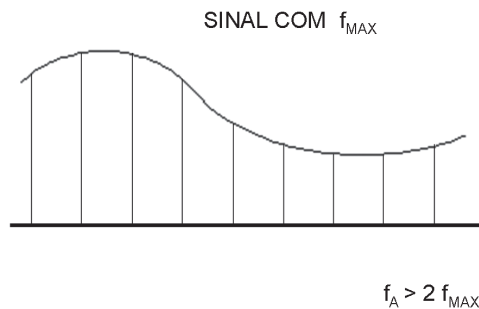


Figura 12 Princípio da amostragem

Embora no início não existisse um valor específico para f_A , atualmente a recomendação conhecida como ITUR601 padronizou como unidade fundamental de amostragem o valor $f_{UF} = 3,375\text{MHz}$. Esse valor foi escolhido, pois é um número múltiplo da frequência de deflexão horizontal f_H tanto para o padrão M (525 linhas com $f_V = 59,94\text{Hz}$) como para o padrão utilizado na Europa (625 linhas com $f_V = 50\text{Hz}$). Assim,

para os sinais Y, R, G e B, emprega-se $f_A = 4f_{UF} = 13,5\text{MHz}$. Para os sinais (B-Y), (R-Y), U, V, P_B e P_R , emprega-se $f_A = 1f_{UF} = 3,375\text{MHz}$ ou $f_A = 2f_{UF} = 6,75\text{MHz}$ ou $f_A = 4f_{UF} = 13,5\text{MHz}$. Em televisão é suficiente a utilização de um sistema de 10 bits ou 8 bits.

Existem vários formatos de digitalização, definidos pelo número de unidades de f_{FU} utilizado na amostragem:

- a) *Formato 4:4:4* – Este formato é usado para teleproduções de altíssima qualidade. Ele refere-se a R, G e B, todos amostrados com $4f_{UF}$ ou Y, P_B e P_R , todos amostrados com $4f_{UF}$
- b) *Formato 4:2:2* – Este formato refere-se a Y amostrado com $4f_{UF}$, P_B amostrado com $2f_{UF}$ e P_R amostrado com $2f_{UF}$. Este formato é o mais utilizado, fornecendo uma imagem de muito boa qualidade.
- c) *Formato 4:1:1* – Este formato refere-se a Y amostrado com $4f_{UF}$ e P_B e P_R amostrados com $1f_{UF}$
- d) *Formato 4:2:0* – Neste formato o sinal de uma linha é amostrado com 4:2:2 e o da linha seguinte amostrado com 4:0:0, ou seja sem P_B e sem P_R . Isso é possível porque o olho humano tem menor sensibilidade para as cores do que para a luminância. A vantagem deste formato é a economia na taxa de bits resultante.

A Figura 13 mostra detalhes da estrutura do formato 4:2:2.

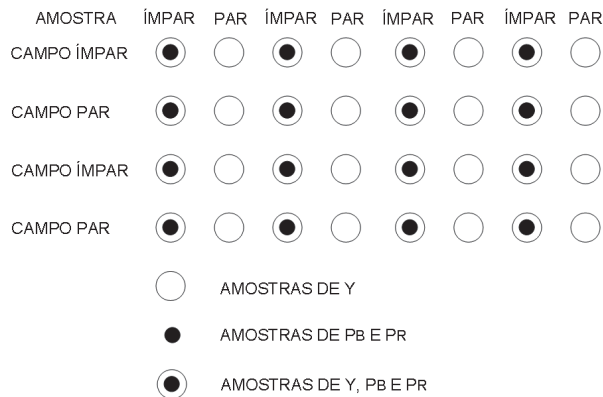


Figura 13 Detalhes da estrutura de amostragem do formato 4:2:2

A taxa de bits do formato 4:2:2 de 10 bits pode ser calculada como mostrado abaixo:

$$\text{(Taxa de bits)} = [(4 \times 3,375 + 2 \times 3,375 + 2 \times 3,375) \text{ (Mega amostras)/s}] \times 10\text{Bit/amostra}$$

$$\text{ou (Taxa de bits)} = 270\text{MBit/s} = 270\text{Mbps}$$

Note-se que o valor da taxa de bits é bastante alto e que tal informação não poderia ser transmitida por métodos convencionais através da banda de 6MHz dos canais de TV.

1.5 Televisão de alta definição ou HDTV (High Definition TV)

1.5.1 O conceito de HDTV

A TV analógica tradicional se baseou no antigo cinema de 16mm. Entretanto, o cinema evoluiu: a resolução melhorou e as imagens ficaram mais largas, aumentando o campo de visão. Desde 1980 foram feitas várias experiências de transmissão de TV de alta definição, tais como o sistema japonês da NHK (Nihon Hosou Kyoku) e o sistema europeu Eureka. Entretanto, a transmissão de HDTV através dos canais aéreos de TV só foi possível após a implantação da TV Digital como será mostrado nos capítulos 2 e 3 deste trabalho.



Figura 14 HDTV

A relação de aspecto empregada nos padrões de HDTV é 16:9 (Figura 14). Nos Estados Unidos existem dois formatos para HDTV:

- Sistema de 1125 linhas por quadro intercaladas, com 60 campos por segundo, ou seja 30 quadros por segundo. O número de linhas ativas por quadro é 1080. Esse sistema também é chamado de 1080i.
- Sistema de 750 linhas por quadro com varredura progressiva, com 60 quadros por segundo. O número de linhas ativas por quadro é 720. Esse sistema também é conhecido como 720p.

O valor máximo da frequência do sinal de vídeo analógico resultaria em um número superior a 20MHz para ambos os sistemas, ou seja, seria impossível transmitir este sinal através da banda de 6MHz dos canais de TV já existentes.

1.5.2 Sinais Y , P_B e P_R para HDTV

Como já foi visto anteriormente (item 1.3.4), os sinais “diferença de cor” foram criados para compatibilizar a TV em cores analógica com a TV em preto-e-branco. No caso da TV digital, para a transmissão do sinal de HDTV, poderiam ter sido usadas outra soluções. Entretanto chegou-se à conclusão de que a melhor solução seria continuar usando os sinais Y , P_B e P_R . Para HDTV, a norma SMPTE 240M padronizou os três sinais conforme os valores mostrados abaixo:

$$Y = 0,212R + 0,701G + 0,087B \quad (4)$$

$$P_B = 0,548(B - Y) \quad (5)$$

$$P_R = 0,635(R - Y) \quad (6)$$

1.5.3 Digitalização dos sinais de HDTV

- Sistema de 1125 linhas/quadro, com varredura intercalada e 30 quadros/s

Este sistema possui 1080 linhas ativas por quadro, ou seja, possui 1080 *pixels* na vertical.

Logo: (número de *pixels* na horizontal) = $1080 \times (16/9) = 1920$

Então, tem-se: (1080×1920) pixel/quadro = 2,07Mpixel/quadro.

Ou, tem-se: $(2,07\text{Mpixel/quadro}) \times (30\text{quadros/s}) = 62,1\text{Mpixel/s}$.

Finalmente, lembrando que o olho humano possui menor sensibilidade para as cores, pode-se fazer amostragem total para Y e amostrar os sinais diferença de cor a cada dois pixels. Assim, supondo um sistema de 10 bits, conclui-se:

$$(\text{taxa mínima de bits}) = [62,1 \times 10 + (62,1/2) \times 10 + (62,1/2) \times 10] \text{Mbps} = 1,24 \text{Gbps}$$

- Sistema de 750 linhas/quadro, com varredura progressiva e 60 quadros/s

Este sistema possui 720 linhas ativas por quadro, ou seja, possui 720 *pixels* na vertical.

Logo: (número de *pixels* na horizontal) = $720 \times (16/9) = 1280$

Então, tem-se: (720×1280) pixel/quadro = 921600 pixel/quadro.

Ou, tem-se: $(921600 \text{ pixel/quadro}) \times (60\text{quadros/s}) = 55,3\text{Mpixel/s}$.

Finalmente, lembrando que o olho humano possui menor sensibilidade para as cores, pode-se fazer amostragem total para Y e amostrar os sinais diferença de cor a cada dois pixels. Assim, supondo um sistema de 10 bits, conclui-se:

$$(\text{taxa mínima de bits}) = [55,3 \times 10 + (55,3/2) \times 10 + (55,3/2) \times 10] \text{Mbps} = 1,1 \text{Gbps}$$

1.5.4 Outras considerações

- a) A norma SMPTE 260M padronizou, para o tratamento dos sinais de HDTV, o formato 22:11:11.

Assim sendo, para o sistema de 10 bits, conclui-se que:

$$\begin{aligned} (\text{Taxa de bits}) &= [(22 \times 3,375 + 11 \times 3,375 + 11 \times 3,375) \text{ (Megaamostras)/s}] \times 1 \text{ Bit/amostra} \\ \text{ou } (\text{Taxa de bits}) &= 1,485 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

- b) Com o advento da TV Digital e da HDTV, nos Estados Unidos foi padronizado também um sistema de SDTV (TV de definição normal ou “standard definition TV”). Esse sistema é semelhante ao sistema tradicional de TV analógica, com 525 linhas e varredura intercalada de 30 quadros por segundo, porém com relação de aspecto 16:9. A digitalização dos sinais desse sistema resulta em uma taxa de bits igual a 360Mbps.
- c) Os sistemas de TV digital (ATSC, DVB-T e ISDB-T) empregam processos de modulação capazes de transmitir um sinal com taxa de bits de ≈ 20 Mbps através da banda de 6MHz dos tradicionais canais já existentes para a TV analógica. O Capítulo 3 deste trabalho mostra como é possível comprimir a taxa de bits do sinal de HDTV de 1,485Mbps para 20Mbps.
- d) Note-se que o valor da taxa de bits da HDTV é 4 vezes superior ao valor da taxa de bits da SDTV.

Assim sendo, no lugar de uma programação de HDTV é possível transmitir quatro programações de SDTV.

1.6 Monitores de HDTV

Enquanto existia apenas a TV analógica de 525 linhas/quadro e relação de aspecto 4:3, o tradicional cinescópio à válvula, conhecido como “tubo de raios catódicos” (CRT ou “catode ray tube”), foi sempre considerado como a melhor solução para a reprodução da imagem na tela. Os estudos mostram que, para evitar que sejam notadas deficiências na imagem da TV de 525 linhas intercaladas, o telespectador deve se localizar a uma distância equivalente a 7 vezes a altura da tela (veja a Figura 15). Isso significa que, para uma tela de 29 polegadas (medida da diagonal), o usuário deve se localizar a 4 metros de distância do receptor.

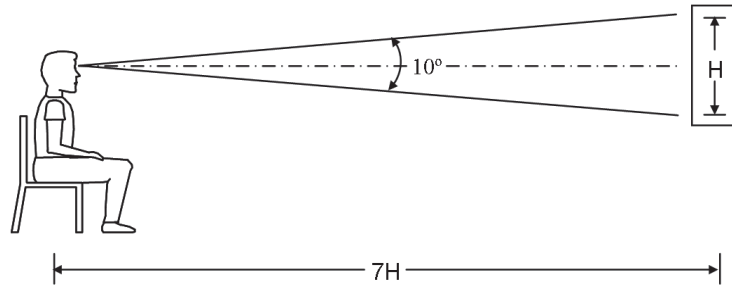


Figura 15 Posição ideal do telespectador para uma TV de definição normal

Para aproveitar toda a qualidade da HDTV, os estudos mostram que o telespectador deve se localizar a uma distância equivalente a apenas 3 vezes a altura da tela da imagem (veja a Figura 16). Em outras palavras, um receptor de HDTV, com tela de 40 polegadas (valor da diagonal) e relação de aspecto de 16:9, deve ser assistido a uma distância de apenas 1,5 metro. Como se pode observar, o advento da HDTV está revolucionando o mercado de monitores de TV, pois receptores com telas de tamanho grande poderão ser utilizados em salas de pequenas dimensões. Outra observação importante é que a profundidade do CRT é relativamente grande: por exemplo, um aparelho receptor de HDTV com CRT de 40 polegadas possui cerca de 80 centímetros de profundidade, número esse que se torna significativo quando comparado com a distância em que se posiciona o telespectador (1,5 metro). Por esse motivo, após o advento da HDTV, as indústrias começaram a investir cada vez mais no desenvolvimento de telas de baixa profundidade, e entre elas destacam-se as telas de plasma e de cristal líquido (LCD ou “liquid crystal display”).

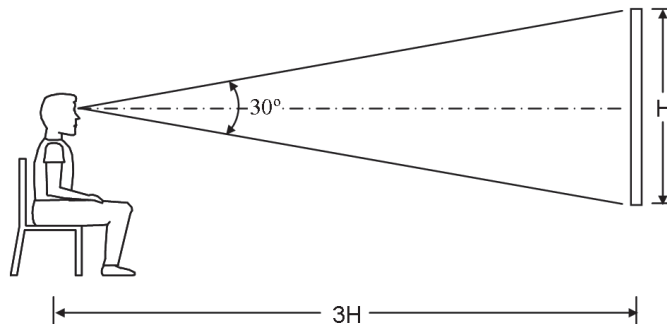


Figura 16 Posição ideal para assistir HDTV