

MANUAL DO ALUNO

DISCIPLINA ÁUDIO, VÍDEO E TV

Módulos 5 e 6

República Democrática de Timor-Leste
Ministério da Educação



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE ÁUDIO, VÍDEO E TV
Módulos 5 e 6

AUTOR

JORGE FLÁVIO

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA
XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO

XXXXXXXXXX

DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA
EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

XXXXXX

ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM

XXXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE
2014



Índice

Princípios Básicos TV	7
Apresentação.....	8
Introdução	8
Objetivos de aprendizagem	8
Âmbito de conteúdos	9
Mecanismo da Percepção Visual.....	10
Introdução	10
Olho Humano	10
Anatomia do Olho Humano.....	11
Partes do Olho Humano	12
Campo visual	17
Acuidade visual.....	18
Resolução do Olho Humano	19
Persistência da visão	20
Percepção a cores.....	21
Acuidade visual a cores	23
Noções de colorimetria	23
Cores primárias e complementares.....	23
Combinações aditivas e subtrativas.....	25
Matiz e Saturação	27
Luminância e Crominância	27
Leis de Grassmann.....	29
Diagrama de Cromaticidade CIE	31
Temperatura de cor	33
Televisão Conceitos Básicos	36
Introdução	36
Amostragem de Cenas Móveis	36
Relação de Aspeto do Cinema	38
Formação da Imagem de Televisão.....	39
Quadro e Campo	41
Número de Linhas e Resolução	42
Varredura.....	46
Frequência do Pixel.....	49

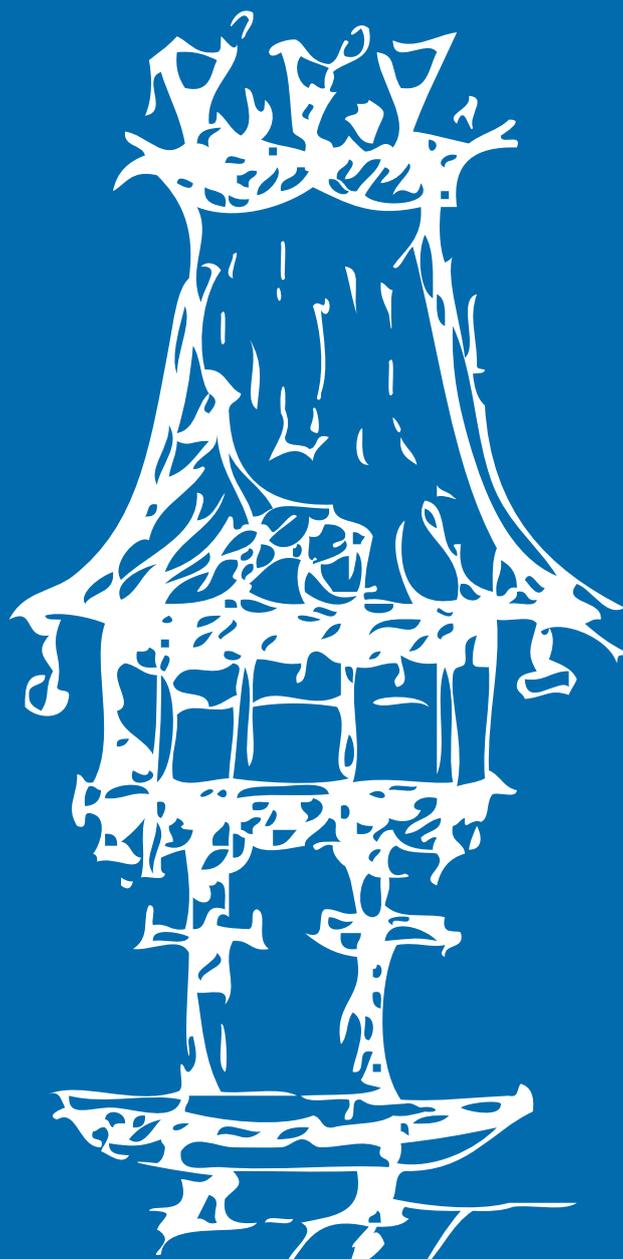


Exploração Entrelaçada	51
Sinal de Vídeo e Sincronismo.....	53
Câmara de Televisão	56
Introdução	56
Varredura Horizontal	57
Varredura Vertical.....	57
Circuito de sincronismo e distribuição de pulsos H e V	57
Amplificador de vídeo e correção gama	58
Formação do vídeo composto	60
Amplificador de vídeo composto.....	60
Dispositivos captadores de imagens.....	60
O Vidicon	62
O Plumbicon.....	65
O Saticon.....	66
O Chalnicon	69
O Newvicon	70
O CCD - Dispositivo de Carga Acoplada	71
Introdução	71
Princípio de Funcionamento	73
Processos de Leitura.....	75
Mecanismo de Transferência do Registro Horizontal para Saída.....	77
Espectro de Frequências do Sinal de Vídeo Composto	78
TV Cores	81
Apresentação.....	82
Introdução	82
Objetivos de aprendizagem	82
Âmbito de conteúdos	82
TV a Cores	83
Introdução	83
Histórico	83
Formação de Imagens de Tv a Cores	84
Sinal de Luminância.....	86
Sinais Diferença de cor	90
Transmissão dos Sinais de Luminância e Crominância	94
Intercalamento Espectral dos Sinais Y e C	95



Frequências da Subportadora de Cor	97
Sistema NTSC/M	98
Sinal de Vídeo Composto NTSC	99
Sinais Diferença de Cor NTSC I e Q	103
Modulação dos Sinais NTSC I e Q	104
Sinal Burst – Sincronismo de Cor NTSC.....	105
Sinal de Vídeo Composto NTSC (Y + C1)	106
Sinal Burst – Sincronismo de Cor NTSC/M.....	108
Sinal de Vídeo Composto NTSC (Y + C1)	109
Espectro de Frequências do Sinal de Vídeo Composto NTSC/M	111
Modulação do Sinal de Vídeo Composto NTSC/M	112
Transmissão do Sinal NTSC/M	116
Demodulação do Sinal NTSC/M.....	118
Recetor NTSC/M	119
SISTEMA PAL/M	127
Espectro do Sinal de Vídeo Composto PAL/M	129
Frequência da Subportadora de Cor PAL/M	130
Sinal Burst Alternado – Sincronismo de Cor PAL/M.....	131
Sinal Composto de Vídeo PAL (Y+C).....	131
Modulação do Sinal PAL/M – Codificador PAL/M.....	132
Transmissão do Sinal PAL/M.....	133
Demodulação do Sinal PAL/M - Decodificador PAL/M	134
Recetor PAL/M.....	137
SISTEMA SECAM/L.....	138
Modulação dos Sinais Diferença de Cor DR e DB	139
Frequência da Sub-Portadora de Cor.....	141
Sinal Composto de Vídeo SECAM (Y+C)	141
Sinais de Identificação	142
Codificador SECAM/L.....	143
Transmissão do Sinal SECAM/L.....	144
Decodificador SECAM/L	147
Recetor SECAM/L.....	147
COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS NTSC, PAL E SECAM	150
Exercícios propostos	152
Bibliografia	154







Princípios Básicos TV

Módulo 5



Apresentação

Este módulo tem carácter essencialmente teórico devendo contudo decorrer em ambiente laboratorial de modo a permitir aos alunos familiarizarem-se com os materiais e equipamentos usados em TV.

Esta disciplina tem como intenção tornar o aluno apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos desta e das outras disciplinas técnicas e também na comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem deste módulo de Princípios Básicos de TV leva-nos a um melhor entendimento dos vários tipos de televisões e suas diferentes tecnologias existentes no mercado assim como a melhor escolha deste equipamento para que se ajuste às crescentes mudanças disponíveis pelas diversas marcas.

Este módulo requer um conhecimento básico de circuitos eletrónicos e respetiva análise e compreensão desses circuitos.

Objetivos de aprendizagem

- Conhecer os modos de exploração das imagens em TV.
- Relacionar os parâmetros dos sistemas de televisão.
- Conhecer o princípio de funcionamento da câmara CCD.
- Compreender as formas de representação do sinal de vídeo.
- Conhecer os processos de modulação dos sinais de imagem e som.
- Identificar as normas que regem a atividade de teledifusão.



Âmbito de conteúdos

- Princípios básicos de TV.
- CCD
- O Sinal de Vídeo.
- Bandas e Canais de TV.



Mecanismo da Percepção Visual

Introdução

O estudo de sistemas de projeção de imagens como cinema e televisão, por exemplo, não deve prescindir dos conhecimentos do funcionamento do olho humano que é parte integrante de qualquer sistema de imagens. O olho humano, por sua vez, faz parte de um sistema complexo que inclui o nervo óptico e o córtex cerebral. O mecanismo de percepção da visão humana envolve além dos aspectos físicos da conversão de imagens luminosas em impulsos elétricos que são interpretados pelo cérebro, em fatores de ordem psicológica, de interpretação e memorização, que ainda não são totalmente conhecidos pela ciência.

Nesta parte serão estudados todo o mecanismo de funcionamento do olho humano e a percepção da imagem pelo cérebro abordando apenas os fenômenos ópticos que interessam a formação de imagens.

Olho Humano

A função do olho humano, no mecanismo da visão, é projetar a imagem na retina localizada no fundo do globo ocular. Na retina, a imagem sob forma de energia luminosa, é convertida em impulsos elétricos que são enviados ao cérebro através do nervo óptico. Do ponto de vista da física, o olho humano é um dispositivo óptico semelhante a uma câmara fotográfica. Uma câmara fotográfica opera de maneira semelhante ao olho humano. A objetiva da câmara fotográfica corresponde ao conjunto córnea-cristalino, o ajuste de abertura corresponde a Iris do olho e o filme fotográfico corresponde à retina. A visão envolve muito mais que os aspectos físicos de conversão foto-elétrica da imagem em impulsos elétricos enviados ao cérebro. A percepção da imagem envolve um sistema integrado, de estrutura complexa, da qual o olho humano é uma das partes do sistema. Envolve aspectos fisiológicos, função sensório-motora, preceptiva e psicológica. A capacidade de ver e interpretar as imagens depende fundamentalmente da ação de processamento do cérebro para receber, codificar, selecionar, armazenar e associar a nova imagem com outras guardadas na memória.



O mecanismo da visão, quando analisado de forma mais completa, indica que a percepção visual é subjetiva, pois toda imagem é filtrada, integrada, comparada e avaliada de acordo com os padrões, experiências e condicionamentos de cada pessoa. Um observador por ser diferente dos demais acrescenta uma interpretação própria à imagem observada. O cérebro tem capacidade limitada de processamento. A quantidade de dados impressa na retina supera a capacidade de processamento do cérebro que seleciona algumas informações relevantes descartando outras sempre de acordo com o foco e a consciência do observador.

O conhecimento completo, da complexidade e do mecanismo da visão, envolve vários campos da ciência que apesar dos recentes progressos ainda não é totalmente conhecido. Os conceitos desenvolvidos, a seguir, estão focados apenas nos aspectos físicos da percepção da imagem pelo cérebro, necessários ao estudo da formação de imagens de cinema e televisão.

Anatomia do Olho Humano

O globo ocular é uma esfera com aproximadamente 2,5 cm de diâmetro e peso da ordem de 7 gramas. Os raios luminosos provenientes da imagem penetram no olho através da pupila, convergem-se e são projetados na retina, ou mais precisamente na fóvea central, que é circundada pela mácula, para proporcionar uma visão nítida ou visão normal. A Figura 1.1 apresenta o desenho simplificado do olho humano. Observar que a imagem é projetada na retina na posição invertida.

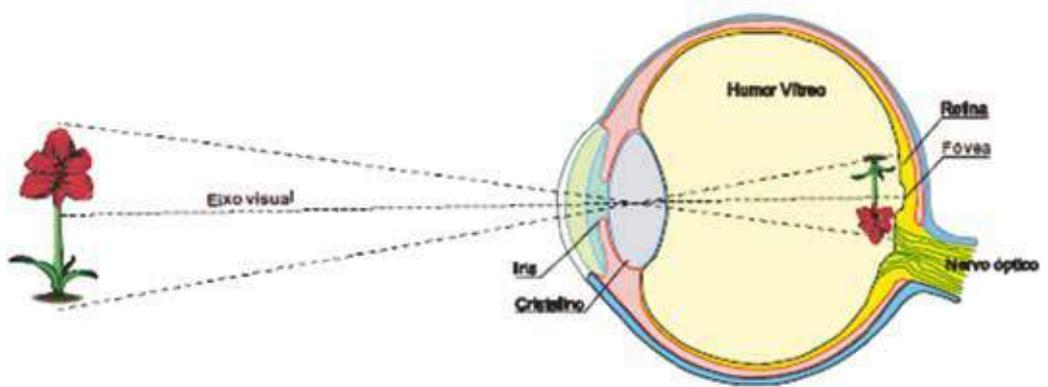


Fig. 1.1



Partes do Olho Humano

Serão descritas apenas as partes do olho humano necessárias ao processamento de imagens amostradas como cinema e televisão. A Figura 1.2 apresenta a localização no globo ocular de cada uma das partes descritas.

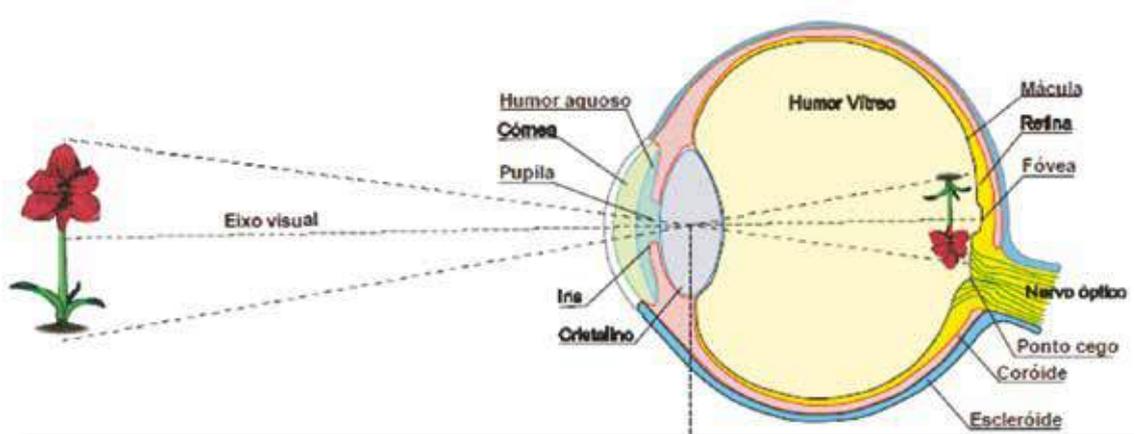


Fig. 1.2

CÓRNEA - Parte externa do globo ocular de forma protuberante, transparente e visível que juntamente com a esclerótica forma o envoltório externo do globo ocular. Possui curvatura acentuada e sua espessura central é da ordem de 0,6 milímetros e espessura periférica da ordem de 1,3 milímetros. O diâmetro médio é de 12 milímetros, podendo variar de 11 a 12,5 milímetros. A córnea não tem curvatura esférica. Na direção vertical apresenta curvatura ligeiramente mais acentuada do que na direção horizontal, entretanto, podem estar situadas em todas as demais direções provocando a deformação da imagem denominada de astigmatismo. A córnea cobre a Iris e a pupila e tem a forma aproximada de uma lente negativa com o raio interno ligeiramente menor que o raio externo.

IRIS – A Iris dá o colorido externo do olho humano. É formada por uma membrana circular com aproximadamente 12 milímetros de diâmetro, com uma abertura circular no centro, denominada de pupila com diâmetro médio de 4,4 milímetros. Embora a pupila tenha uma aparência externa preta é totalmente transparente por onde passam os raios de luz da imagem para atingir a retina. A Iris está localizada entre a córnea e o



crystalino funcionando como o diafragma da câmara fotográfica regulando a quantidade de luz que atinge a retina. Esta função é de primordial importância para melhorar a acuidade visual. Quando exposta a muita luminosidade o diâmetro da abertura central diminui. Quando exposta a pouca luminosidade o seu diâmetro aumenta. A Figura 1.3 apresenta uma foto da Iris humana.

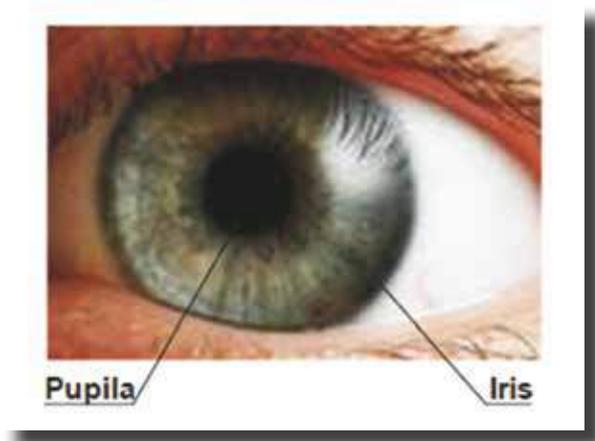


Fig. 1.3

HUMOR AQUOSO – Formado por uma substância semilíquida como uma gelatina transparente, preenche a câmara interior do olho exercendo uma pressão interna na córnea tornando-a preponderantemente curva. O humor aquoso é renovado de forma lenta e constante com o excesso sendo escoado pelo canal de Schlemm. O entupimento deste canal, que é uma das causas do glaucoma, faz aumentar excessivamente a pressão interna do olho podendo danificar a fóvea e provocar cegueira parcial.

CRISTALINO – Tem a forma de uma lente biconvexa transparente localizada atrás da Iris entre a câmara interior e posterior do olho. A função do cristalino é permitir a visão nítida do objeto posicionado a qualquer distância do olho. Quando se olha para um objeto perto, o cristalino deforma-se tornando convergente e quando se olha para um objeto distante o cristalino torna-se menos convergente. Desta forma, para um olho normal, a imagem é sempre nítida qualquer que seja a distância do objeto. Com a idade a capacidade de acomodação do cristalino vai diminuindo fazendo aparecer uma anomalia na visão chamada de presbiopia.



MÚSCULO CILIAR - O cristalino é circundado por músculos ciliares comandados pelo cérebro. São responsáveis pela deformação do cristalino no ajuste do foco da imagem.

HUMOR VÍTREO – Também conhecido como Corpo Vítreo é uma substância totalmente transparente que preenche internamente o globo ocular de forma a torná-lo aproximadamente esférico.

ESCLERÓTICA – Também conhecida como Esclera, forma a parte branca visível e envolve externamente o globo ocular.

COROIDE – Membrana conjuntiva localizada entre a esclerótica e a retina. É constituída por uma rede de vasos sanguíneos que envolvem o globo ocular com a função de suprir a retina de oxigênio e outros nutrientes. A coróide transforma o interior do olho numa câmara escura, que é uma condição indispensável para uma boa visão. A coróide é a responsável pela aparência preta da pupila. Na verdade ela é completamente transparente, como o interior do olho é escuro, a pupila aparentemente é vista na cor preta.

RETINA – É uma camada que ocupa $\frac{3}{4}$ da parte interna do globo ocular com função de transformar energia luminosa em impulsos eletroquímicos. A retina é formada por milhares de células sensíveis a luz denominadas de fotosensores. Os fotosensores são formados por dois tipos de células: os cones e os bastonetes. A retina possui cerca de 125 milhões de bastonetes com sensibilidade suficiente para captar um único fóton de luz, entretanto, cada fóton capturado pela célula bastonete é acumulado até que a energia seja suficiente para disparar um impulso eletroquímico para outras células nervosa da retina e atingir o nervo óptico. Os bastonetes não distinguem cores e são sensíveis a todos os comprimentos de ondas visíveis. Os bastonetes, devido a sua alta sensibilidade, são os responsáveis pela visão noturna de baixa luminosidade onde não se distingue as cores e todo o cenário é visto como uma imagem em branco e preto ou visão isotópica. Devido a isso a “sabedora popular diz que a noite todos os gatos são pardos”.

Os cones são células sensíveis às cores com sensibilidade luminosa da ordem de 100 vezes menor que os bastonetes. Na retina existem cerca de 7 milhões de células em



forma de cones. Os cones recebem uma quantidade muito maior de fótons que os bastonetes fornecendo às células vizinhas informações de todos os fótons recebidos. Existem três diferentes tipos de células cone. Cada tipo de cone é sensível a um comprimento de onda específico, portanto, na retina existem cones sensíveis apenas a luz vermelha, verde e azul. As únicas cores capturadas pelo olho humano são estas três, e dessa forma, todas as demais cores são sintetizadas pela retina em combinações de estímulos de dois ou mais tipos de cones. Células cones e bastonetes estão interligadas, de maneira complexa, na forma de circuitos paralelos e entrelaçados com outras células da retina através de uma camada de neurônios bipolares cuja estimulação depende de vários fatores, como por exemplo, neurotransmissores e impulsos concorrentes, além dos fótons recebidos diretamente pelos cones e bastonetes. A camada intermediária é a junção entre as células foto sensores e os neurônios do nervo óptico onde as informações de movimento, intensidade da luz e as cores, são processadas em conjunto pela retina. Também são excluídos os fótons não significativos e informações não relevantes ou incapazes de disparar o processo de estimulação do nervo óptico por não se enquadrar nos padrões preestabelecidos pela estrutura neural da própria retina ou por serem insuficientes para vencer estímulos concorrentes. Para confirmar o pré-processamento das informações da imagem pela retina, basta observar que da quantidade infinita de fótons que atingem a retina, com informações do cenário externo, a cada intervalo de integração de cones e bastonetes, num efeito conjunto onde 132 milhões de células foto sensores (7 milhões de cones + 125 milhões de bastonetes) estão interligados a apenas cerca de 800 mil fibras nervosas do nervo óptico. As vias de comunicação com o cérebro são apenas 800 mil, o que corresponde apenas 0,6% do número total 132 milhões de foto sensores. Portanto, 99,4% das informações da retina devem ser pré-processadas antes de serem enviadas ao cérebro pelo nervo óptico.

Em resumo, o processo da visão é muito complexo, ocorre a todo instante embora as fases intermediárias desse processamento não seja percebida pela pessoa, mas é de importância fundamental para o estudo de sistemas de reprodução de imagens como o cinema e a televisão, por exemplo. A Figura 1.4 apresenta os detalhes do interior da retina.



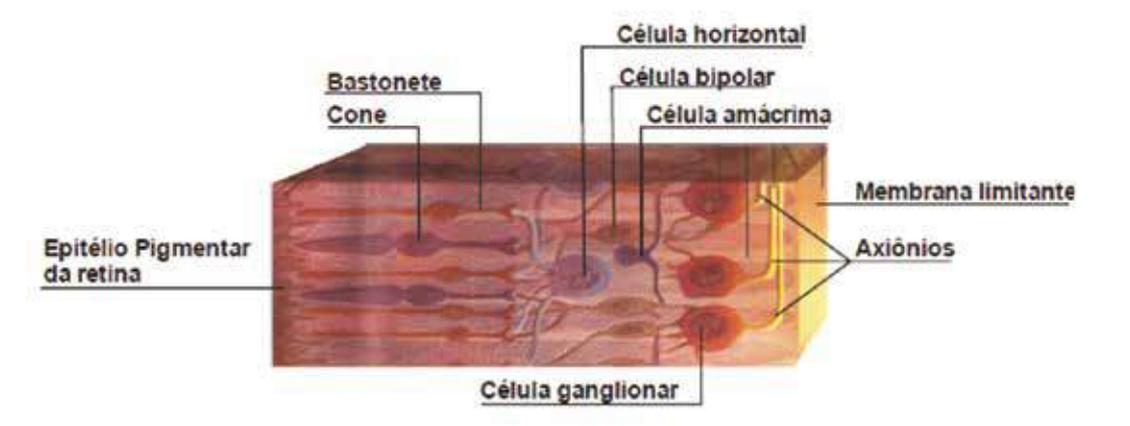


Fig. 1.4

FÓVEA CENTRAL – Localizada no fundo do olho sobre a retina com tamanho que corresponde a 3 milímetros de largura por 2 milímetros de altura e ligeiramente deslocada para o lado temporal. É uma área pequena para onde são focados os raios luminosos que penetram o olho através da pupila. A área da fóvea tem a maior concentração do número de cones propiciando uma excelente acuidade visual. À medida que a imagem projetada se afasta da fóvea a acuidade visual vai perdendo gradativamente a eficiência na mesma proporção da diminuição de concentração do número de cones. Basicamente a fóvea é composta de três tipos de cones um para o vermelho, outro para o verde e outro para o azul. A concentração de bastonetes na fóvea é pequena, esta concentração vai aumentando à medida que se desloca para a periferia da retina.

NERVO ÓPTICO – É constituído por um conjunto de cerca de 800 mil fibras nervosas de forma tubular para conduzir os impulsos eletroquímicos da retina e fóvea para o córtex do cérebro. O ponto de ligação do nervo óptico com a retina cria o chamado “ponto cego” do olho que é uma região sem a presença de células fotossensíveis.

MÚSCULOS EXTERNOS – Os movimentos de cada globo ocular são controlados por seis músculos provenientes do fundo da órbita ocular e se ligam a superfície externa do globo. Com contração e relaxamento destes músculos o olho pode focar e seguir qualquer objeto que se desloca no campo de visão. Cada movimento exige um trabalho coordenado dos seis músculos, embora haja músculos que tem função mais importante que outros nos movimentos do olho. A Figura 1.5 apresenta o posicionamento destes músculos no globo ocular.



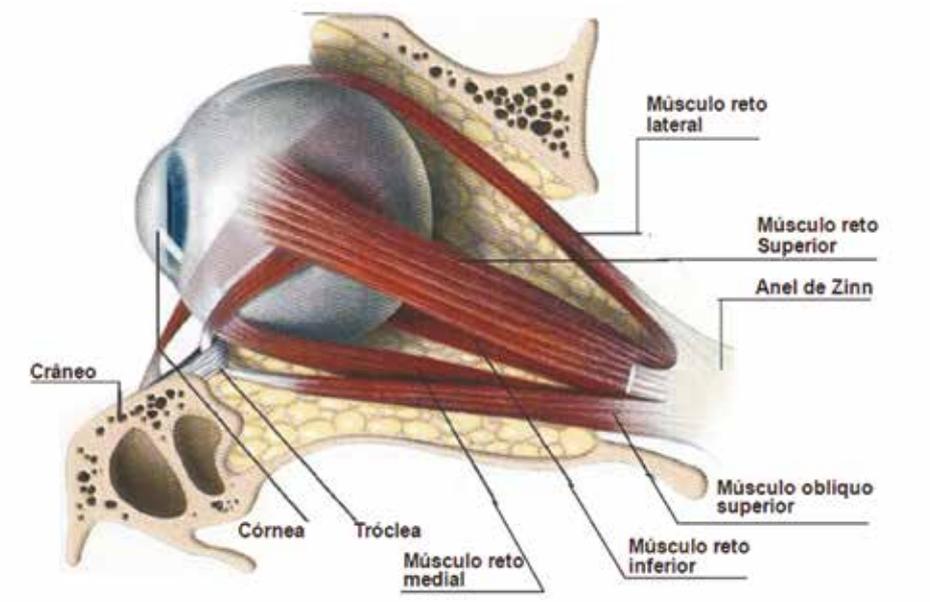


Fig. 1.5

Campo visual

O campo de maior nitidez de imagem e de melhor resolução é definido pelos ângulos horizontal de 40° e vertical de 30° . Na verdade um campo de visão muito maior é projetado na retina, entretanto, esta área estendida é de pouca resolução e baixa qualidade, mas, importante para a percepção de imagens a cores. A visão ótima de uma cena está contida numa área de proporção 4 x 3 da imagem definida pelos ângulos horizontal de 40° e vertical de 30° . A imagem de melhor foco está contida numa pequena área no centro do campo de visão, correspondente a parte da imagem projetada na fóvea. Nesta área a imagem tem resolução extremamente alta, devido à grande concentração de cones na fóvea. A Figura 1.6 ilustra o campo de visão com proporções 4 x 3.

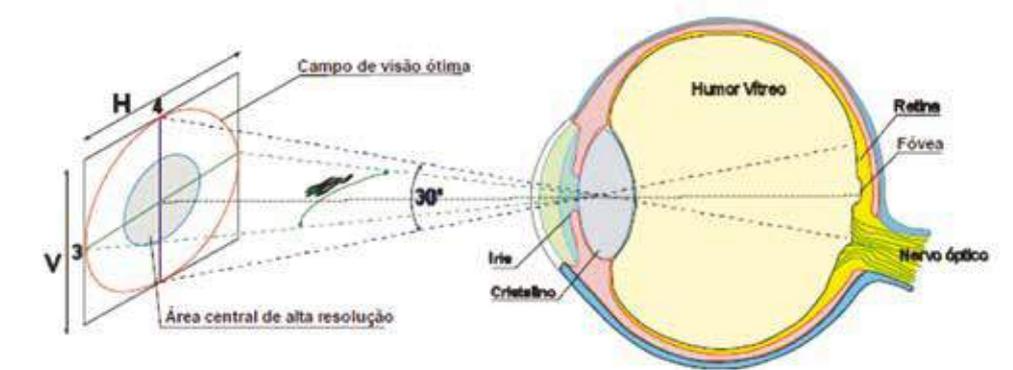


Fig. 1.6



Acuidade visual

Qualquer sistema de processamento de imagens, como fotografia, cinema e televisão têm capacidade limitada na reprodução dos detalhes de imagem. O menor elemento utilizado no processo é denominado de detalhe de imagem ou pixel, que no caso dos filmes fotográficos e cinematográficos corresponde ao tamanho do grão da emulsão fotossensível utilizada no filme. Portanto, os detalhes de imagem que tenham dimensões menores que os grãos da emulsão não poderão ser reproduzidos. Os filmes fotográficos e cinematográficos standard têm cerca de 500.000 pixels ou elementos de imagem na bitola de 35 mm e 125.000 na bitola de 16 mm.

Devido à estrutura dos elementos fotossensíveis da retina, o olho humano apresenta uma capacidade finita de percepção de detalhes de imagem denominada de acuidade visual. A acuidade visual do olho humano não é fácil de ser medida, depende da iluminação, da natureza da imagem, da região da retina onde a imagem é projetada e da distância entre a retina e o objeto observado. O diâmetro médio dos cones é da ordem de 1,5 micros, desta forma, quando dois pontos luminosos da imagem projetada na retina estão separados por distâncias menores que 2 micros são visto como um único ponto. Ou seja, o olho humano só pode distinguir detalhes de imagens cuja distância na retina seja maior do que 2 micros.

A acuidade visual máxima do olho humano jovem e perfeito é um ângulo de 26 segundos. Tomando-se medidas estatísticas com milhares de indivíduos, a acuidade visual média varia entre ângulos de 0,4 a 5 graus. Os valores máximos de acuidade visual são alcançados para a luz branca, decrescendo para a luz verde, vermelha e azul.

A acuidade visual é normalmente representada por um ângulo, para evitar a necessidade de especificação da distância. A Fig. 1.7 ilustra a definição de acuidade visual.

Para o desenvolvimento de sistemas de reprodução de imagens o ângulo de 1 minuto é tomado como referência para a acuidade visual máxima. Portanto, qualquer objeto que projetar na retina um detalhe de imagem com ângulo menor que 1 minuto não será distinguido separadamente, tornando-se invisível para efeitos práticos.



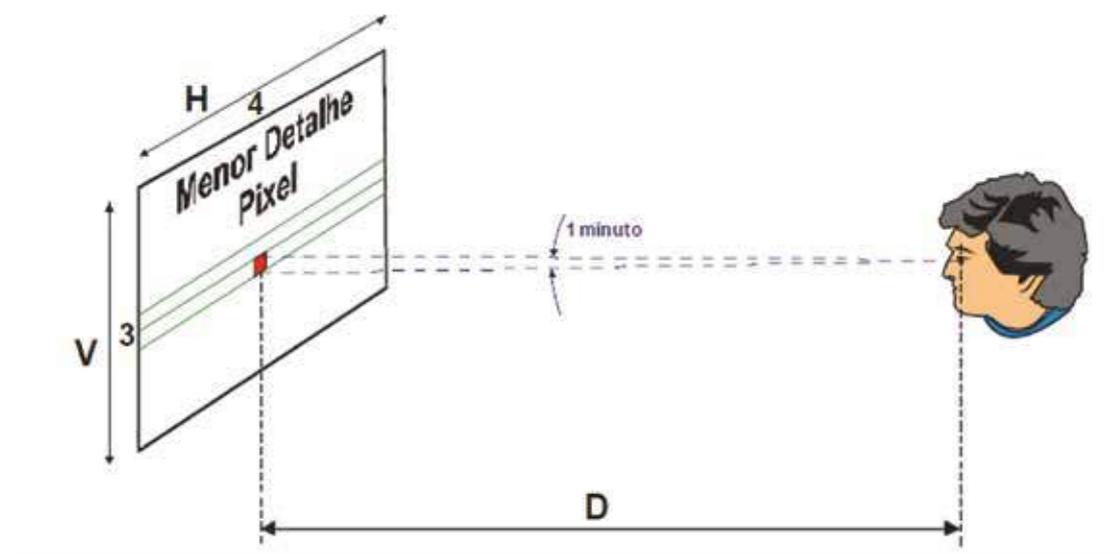


Fig. 1.7

Resolução do Olho Humano

Considerando o retângulo de proporção 4 x 3 definido pelos ângulos de 40º horizontal e 30º vertical pode-se calcular as resoluções máximas na horizontal e vertical e a quantidade total de pixels contidas nesta área correspondente ao campo de visão ótima

Resolução horizontal máxima do olho:

$$R_H = \frac{40^\circ}{1\text{min}} = \frac{40 \times 60}{1} = 2400 \text{ pixels} \quad (1 \text{ min} = \text{ângulo de acuidade visual})$$

Resolução vertical máxima do olho:

$$R_V = \frac{30^\circ}{1\text{min}} = \frac{30 \times 60}{1} = 1800 \text{ pixels}$$

Resolução total máxima do olho:

$$R_T = R_H \times R_V = 2.400 \times 1.800 = 4.320.000 \text{ pixels}$$

Portanto, para o olho normal a imagem de máxima qualidade que pode ser vista em todos os seus detalhes contidos na área de proporção 4 x 3, é de 4,32 mega pixels ou detalhes de imagem. Por exemplo, uma fotografia de 8 megapixéis será vista pelo olho humano com a mesma qualidade de outra fotografia de 4,3 megapixéis.



Persistência da visão

A imagem do objeto é reproduzida em um número elevado de células na retina. No cérebro, por meio de mecanismos que ainda não foi bem desvendado pela ciência, essa imagem é retida por um breve espaço de tempo até ser substituída por outra. Este tempo de retenção da imagem é denominado de persistência da visão, corresponde um tempo da ordem de 50 milissegundos em que a imagem permanece no cérebro após ser retirada da retina. Da mesma forma, uma imagem projetada na retina gasta um tempo, da mesma ordem de grandeza do tempo de persistência, para atingir o cérebro (tempo de sensibilização). Estes tempos são valores médios que variam com a iluminação, distância e com a natureza da imagem. Esta aparente deficiência da visão tomou possível o cinema e a televisão, que foram desenvolvidos levando-se em consideração estes fenômenos.

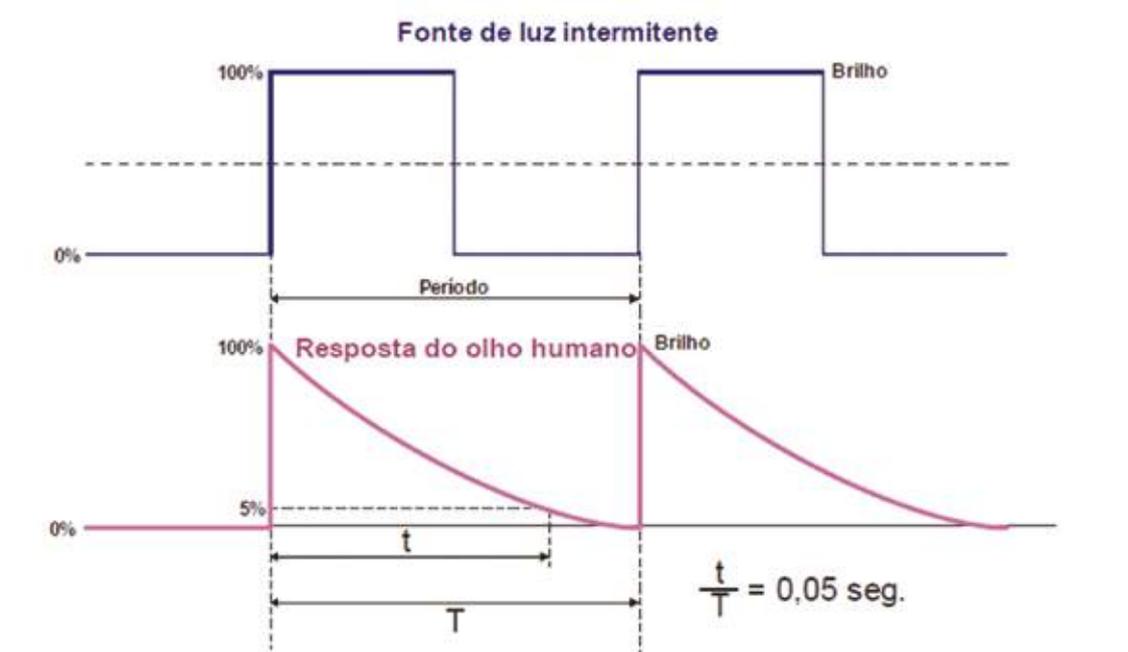


Fig. 1.8

A Figura 1.8 apresenta a curva de resposta do olho humano submetido a uma luz estroboscópica (intermitente). Se a pulsação for superior a 20 Hz o olho tem a sensação de luz contínua. Em caso de frequência menor que 20 Hz o olho percebe a cintilação da luz que se torna cada vez maior quanto menor for a frequência da tensão de alimentação da lâmpada.



Percepção a cores

Apesar dos grandes progressos da ciência no campo da medicina, ainda não há um conhecimento perfeito de todos os fenômenos da visão e dos mecanismos de percepção cromática. Com base em dados experimentais desenvolveu-se uma teoria clássica para explicar os fenômenos da percepção cromática a partir das Hipóteses formuladas por Thomas Young em 1801. As Hipóteses de Young constituem a base para o desenvolvimento de todos os processos tricromáticos de registro e reprodução de cores existentes até hoje. A retina do olho humano é uma superfície fotossensível constituída de dois tipos de células básicas: cones e bastonetes. Os cones são mais predominantes na região central da retina e são os responsáveis pela visão a cores (visão cromática). Os bastonetes são células maiores mais espaçadas e estão distribuídas na região periférica da calota fotossensível do olho e são os responsáveis pela visão em baixos níveis de iluminação, têm grande sensibilidade ao brilho, mas são incapazes de distinguir cores (visão escotópica). Segundo Young, os cones subdividem-se em três tipos com diferentes sensibilidades nas cores vermelho, verde e azul. A percepção das demais cores seria pela composição das excitações simultâneas dos cones responsáveis pela sensação do vermelho, verde e azul. A cor branca é produzida pela excitação simultânea dos três tipos de cones. A cor branca pode ser produzida com três feixes de luz elétrica com lâmpadas nas cores vermelho, verde e azul, como ilustrado na Fig. 1.9.

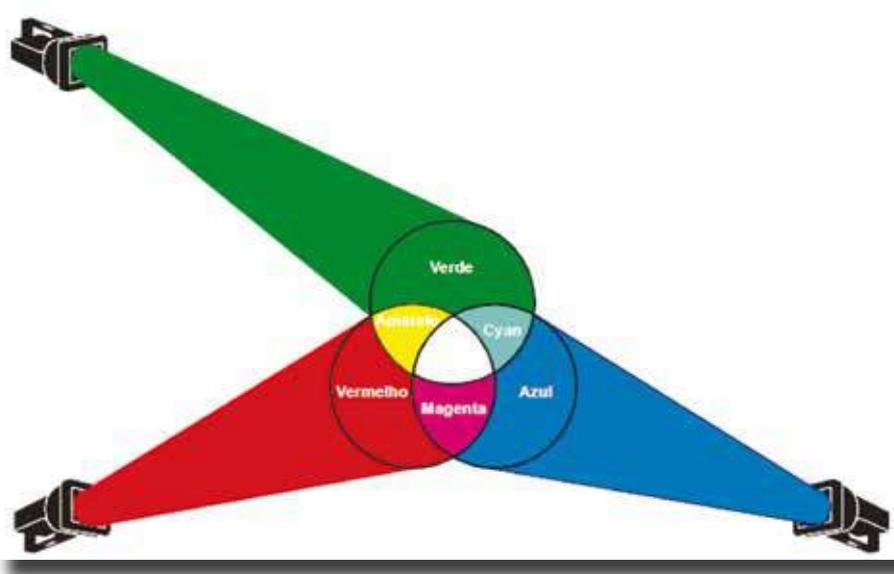


Fig. 1.9



A combinação da luz azul com verde produz o cyan ou turquesa, o vermelho com azul o magenta ou púrpura, o vermelho com verde produz o amarelo. O amarelo será tanto mais avermelhado ou tanto mais esverdeado quanto maior for à intensidade da luz vermelha ou verde, respetivamente. A percepção da cor amarela, por exemplo, é devido à excitação simultânea dos cones sensíveis ao vermelho e verde, ao passo que os cones sensíveis ao azul não são estimulados.

O olho humano tem sensibilidade diferente para luzes de diferentes comprimentos de onda. A curva de sensibilidade relativa da Fig. 1.10 foi levantada para uma potência luminosa ou luminosidade de 683 lúmen/watt constante para todas as cores. A potência luminosa caracteriza-se pela sensação de brilho ou luminosidade.

Da curva de luminosidade relativa verifica-se que o olho humano apresenta uma maior sensibilidade para o verde de comprimento de onda 550 milimicrons (10⁻⁹m). O espectro visível da luz situa-se entre os comprimentos de onda de 400 a 700 milimicrons. Luz com comprimento de onda maior que 700 milimicrons pertence à região do infravermelho, e comprimento de onda menor que 400 milimicrons pertence à região do ultravioleta. Tanto o infravermelho como o ultravioleta são regiões de comprimentos de ondas com luzes totalmente invisíveis para o olho humano.

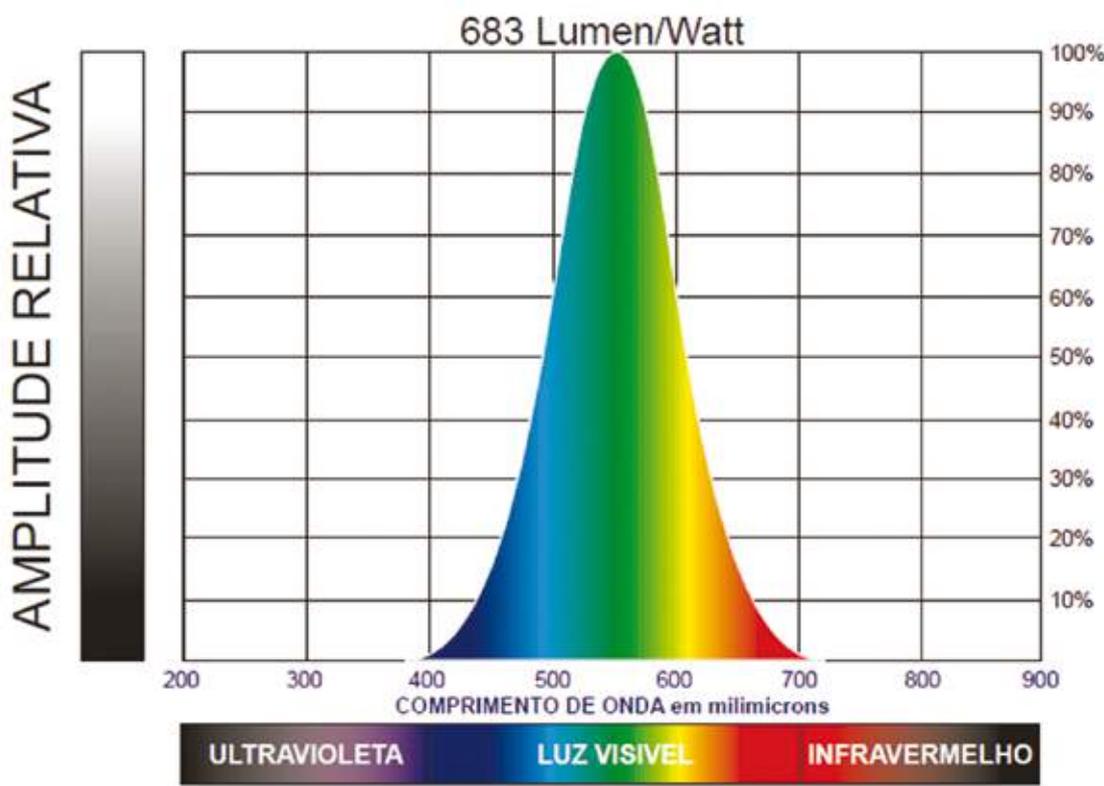


Fig. 1.10



Acuidade visual a cores

A acuidade visual, mede a capacidade do olho humano de perceber o menor detalhe da imagem, sendo máxima (menor ângulo) para a luz branca decrescendo progressivamente para a luz verde, vermelho e azul.

À medida que os objetos diminuem de tamanho o olho vai perdendo continuamente a capacidade de visualização das cores e dos detalhes finos da imagem. Experiências realizadas com um número muito grande de pessoas indicaram que os detalhes de imagens vistas sob ângulos menores que 10 minutos, o olho humano normal somente percebe a luminância ou brilho sob a forma de cinza equivalente, perdendo as informações de cores (visão escotópica). Para ângulos entre 10 e 25 minutos a percepção é tritanópica, ou seja, o olho percebe todas as cores exceto as que estão situadas na região verde-amarelado e azul-magenta. Para ângulos maiores que 25 minutos a percepção é cromática, o que significa que todas as cores são percebidas normalmente pelo olho humano.

Noções de colorimetria

Para a melhor compreensão dos fenômenos e mecanismos de processamento de imagens a cores é necessária a análise de alguns conceitos e definições dos principais parâmetros da colorimetria. As noções de colorimetria apresentadas a seguir referem-se apenas a combinações aditivas de luzes, que é o caso do cinema e da televisão. As combinações subtrativas são válidas para combinações de tintas e pigmentos.

Cores primárias e complementares

Cores Primárias - São cores que quando combinadas entre si não reproduzem nenhuma delas. As cores primárias (aditivas) usadas em televisão a cores são: vermelho, verde e azul. No caso de tintas e pigmentos as cores primárias (subtrativas) são: amarelo, magenta e turquesa (ciano). A figura 1.11 apresenta as cores primárias das combinações aditivas e subtrativas.



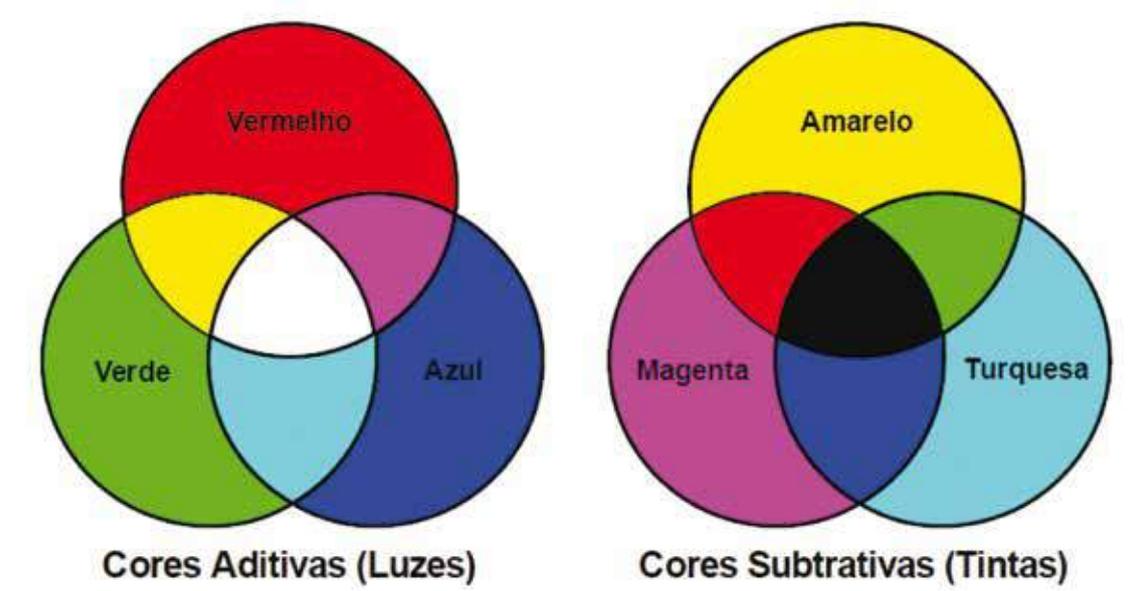


Fig. 1.11

Cores complementares - São cores que combinadas com uma primária produzem o branco. Amarelo adicionado ao azul produz luz branca, portanto, o amarelo é a cor complementar do azul. Da mesma forma, a turquesa é complementar do vermelho e a magenta é complementar do verde. A Fig. 1.12 ilustra esse conceito.

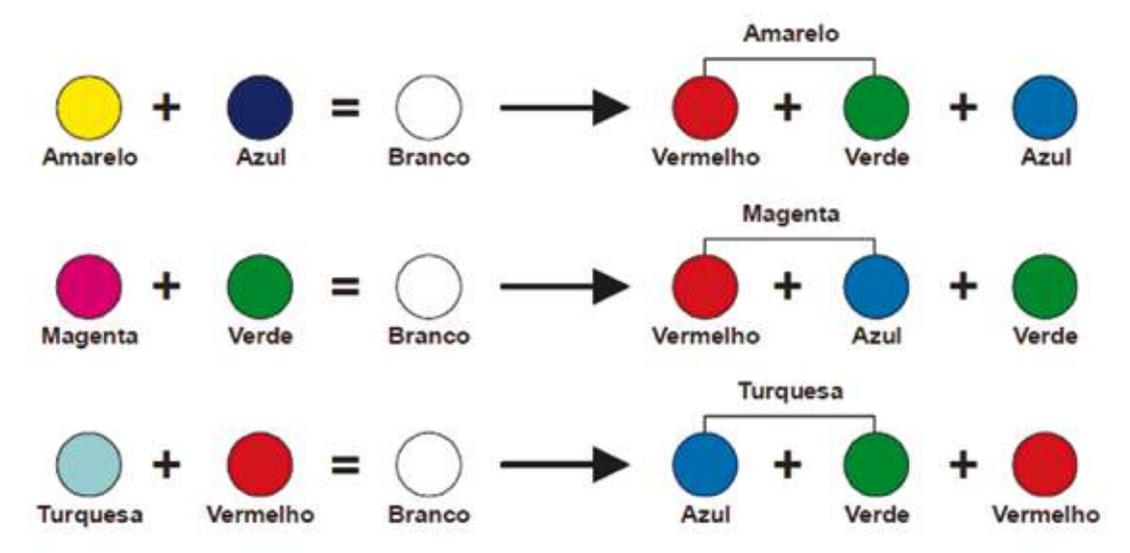


Fig. 1.12



Combinações aditivas e subtrativas

Combinações aditivas - Todas as combinações de cores consideradas neste estudo baseiam-se na combinação de luzes coloridas, constituindo as chamadas combinações aditivas, onde a cor resultante é obtida pela soma de luzes individuais. O cinema colorido e a televisão a cores utilizam apenas combinações aditivas para a reprodução de imagens a cores. A Fig. 1.13 ilustra as operações com cores aditivas, onde o sinal (+) significa a superposição de luzes e o sinal (-) significa o bloqueio da luz através de filtros ou simplesmente o desligamento da fonte de luz correspondente.

Luz branca - A luz branca padrão é a luz solar direta, entretanto, não está disponível em qualquer hora devido as condições do tempo e mesmo impossível de ser obtida em ambientes internos, como estúdios de televisão e sets de filmagens. Para medições e ajustes de equipamentos de cinema e televisão é necessário ter uma fonte de luz branca o mais próximo possível da luz solar. A luz branca artificial ou simplesmente luz branca é obtida pela mistura em proporções iguais das cores vermelho, verde e azul. Na televisão a cores o branco de referência é obtido através de uma lâmpada de filamento de tungstênio operando na temperatura de 2.848º K com filtros especiais. Esta luz branca de referência, assim obtida, é denominada de iluminante C, que é suficientemente próximo das condições da luz do dia, utilizada como referência para o ajuste de cores das câmaras de televisão.

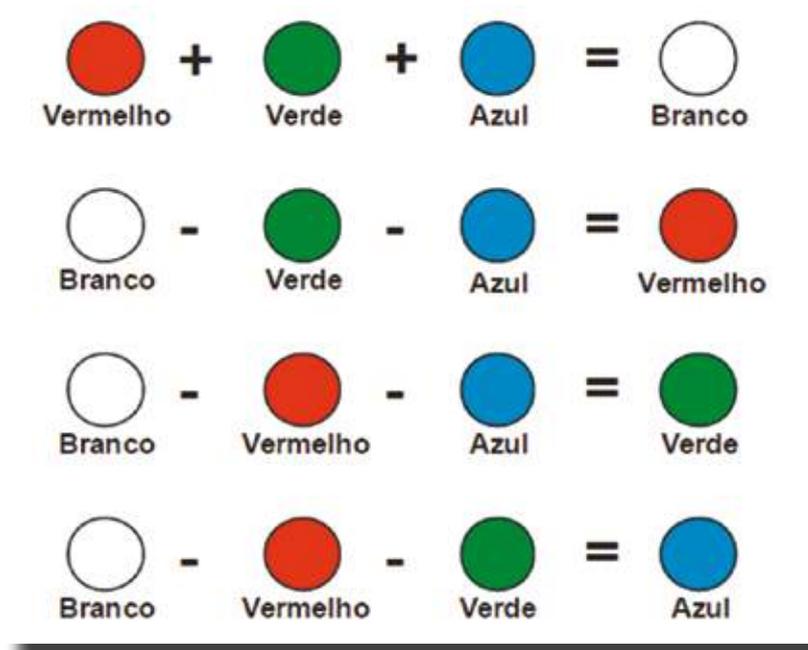


Fig. 1.13



Combinações subtrativas - As combinações de cores subtrativas são feitas através de tintas ou pigmentos coloridos em um suporte branco. O comportamento das combinações subtrativas de cores difere substancialmente das combinações aditivas pelo fato de que tinta ou pigmento, por exemplo, na cor vermelha, absorve todas as demais cores, refletindo apenas a cor vermelha. As combinações subtrativas são importantes para pinturas e impressões gráficas a cores. Por depender de reflexão e absorção da fonte de luz a sensação de cor muda com a fonte luminosa. Isto explica o fenômeno da mudança de cor de um impresso gráfico quando visto à luz do dia e na presença de uma iluminação artificial a vapor de mercúrio, por exemplo. A Figura 1.14 ilustra as combinações subtrativas onde os fenômenos absorção e reflexão são muito importantes no resultado da visão.

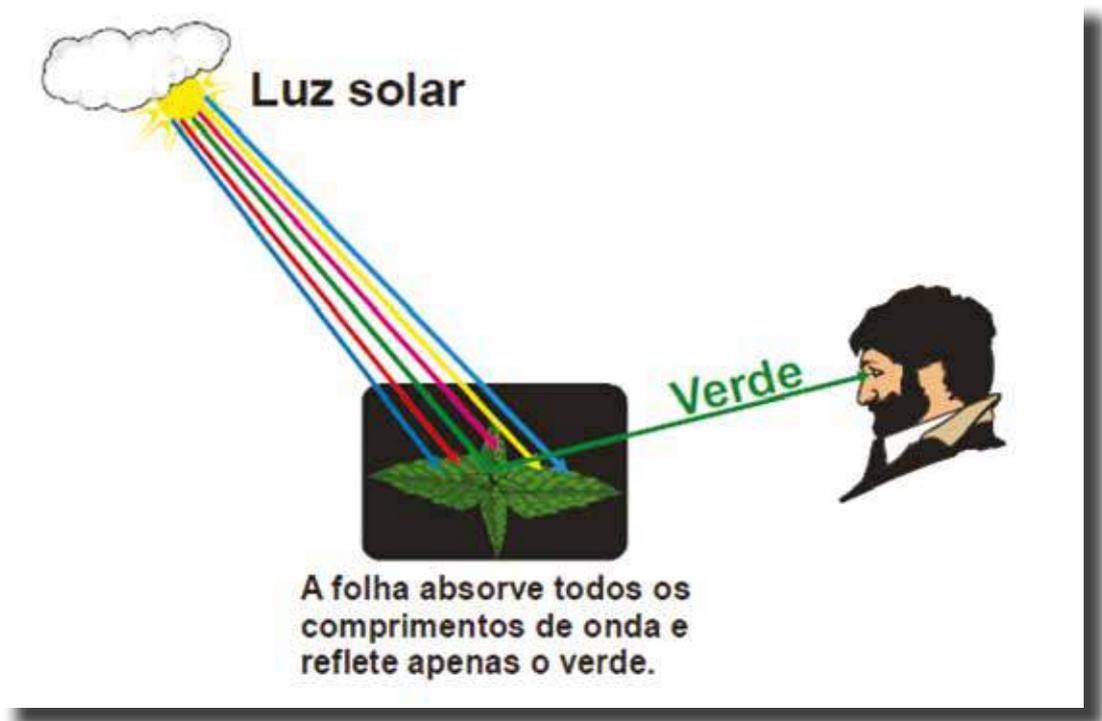


Fig. 1.14



Matiz e Saturação

Matiz - É a cor ou a sua tonalidade cromática e pode ser representado pelo comprimento de onda da cor. A cor de qualquer objeto é definida pelo seu matiz, assim uma vegetação verde tem matiz verde, uma flor vermelha tem matiz vermelho. O matiz de uma cor independe do seu grau de saturação e luminosidade. Por exemplo, o castanho e o laranja são cores de mesmo matiz (mesmo comprimento de onda), porém com luminosidades diferentes. Da mesma forma, o azul-claro, azul-marinho e azul-escuro são cores do matiz azul com graus de saturação e brilho diferentes.

Saturação - Define o grau de diluição de uma cor com a luz branca. Uma cor saturada é uma cor forte, intensa e sem branco. A cor rosa é obtida pela diluição do vermelho com o branco, na verdade é o matiz vermelho pouco saturado.

Luminância e Crominância

Luminância - Representa a intensidade luminosa ou o brilho de uma cor percebido pelo olho humano. As diversas cores apresentam graus de luminâncias diferentes, o que torna certas cores mais brilhantes que outras. A luminância corresponde exatamente ao grau na tonalidade cinza em que a cor aparece numa reprodução a preto e branco.

Por exemplo, três retângulos: um branco, outro verde e outro vermelho ao serem reproduzidos em sistemas de televisão monocromático ou filme branco e preto, o retângulo branco será o mais claro, o mais brilhante. O verde aparecerá na tonalidade cinza-claro, menos brilhante que o branco. O vermelho será reproduzido como cinza mais escuro e menos brilhante que o retângulo verde. Ver Figura 1.15.

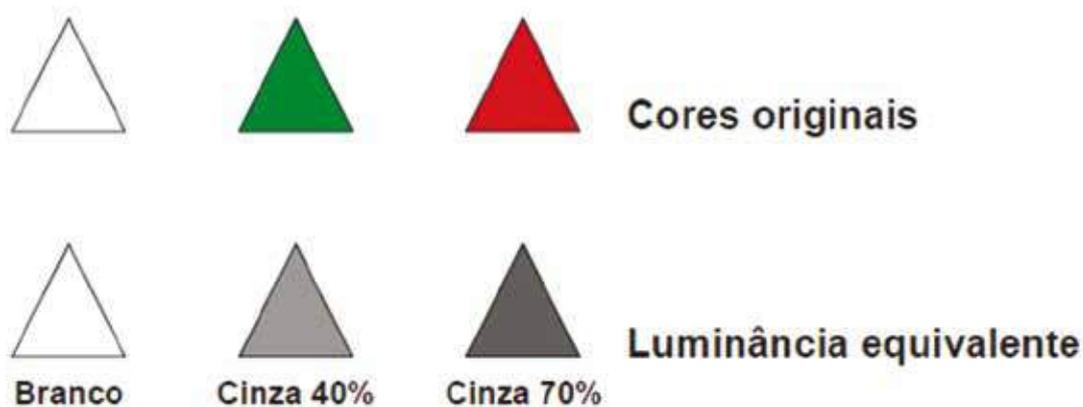


Fig. 1.15



Crominância - O sinal de crominância contém as informações de matiz e saturação de uma cor. Observa-se que os detalhes finos da imagem estão representados pela Luminância. A Crominância tem pouca definição de detalhes, mas somado a Luminância completa a imagem a cores, como apresentado na Figura 1.16.



Fig.1.16

A Figura 1.17 ilustra os conceitos de Matiz, Saturação e Luminância através de um objeto na forma de um peão. Pelo centro do peão passa o eixo vertical de luminância graduado em percentual com 100% para o branco e 0% para o preto. Deslocando-se do eixo de luminância até a borda da Figura tem-se a escala de Saturação das cores. Observa-se que no corte central da Figura em forma de peão todas as cores estão saturadas. À medida que se desloca para cima as cores vão-se diluindo no branco, tornando-se cada vez mais claras. Deslocando-se para baixo na direção do preto, as cores vão ficando cada vez mais escuras até tornarem-se completamente pretas.



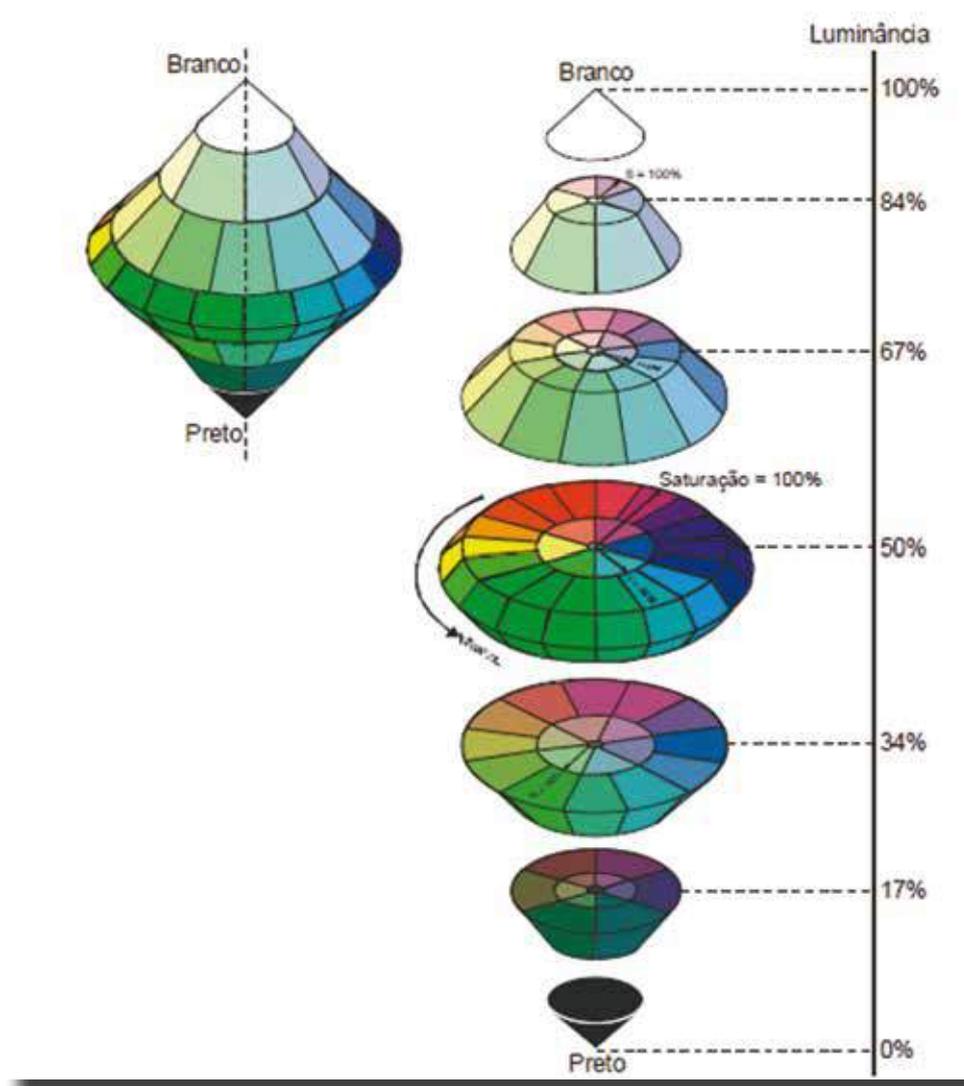


Fig. 1.17

Leis de Grassmann

Primeira Lei de Grassmann – “Com três cores primárias convenientes de matizes quaisquer pode-se reproduzir qualquer cor pela mistura aditiva em uma única proporção das quantidades das cores primárias consideradas.”

Representando a Primeira Lei de Grassmann algebricamente, onde R(vermelho), G(verde) e B(azul) são as cores primárias e C_n uma determinada cor obtida pela combinação das primárias, tem-se:

$$C_n = aR + bG + cB$$



Onde a , b e c representam as proporções de cada cor primária na formação da cor C_n .

Exemplos de representação algébrica de cores:

$$\text{Cor branca} = 1R + 1G + 1B$$

$$\text{Cor amarela} = 1R + 1G + 0B$$

$$\text{Cor magenta} = 1R + 0G + 1B$$

$$\text{Cor turquesa} = 0R + 1G + 1B$$

$$\text{Cor amarelo claro} = 1R + 1G + 0,5B \text{ (50\% de amarelo + 50\% de branco)}$$

Segunda Lei de Grassmann – “A cromaticidade de uma cor (matiz e saturação) permanece inalterada se as quantidades das três cores primárias forem multiplicadas por um mesmo número.”

O único parâmetro da cor que sofre alteração no caso desta Segunda Lei é a Luminância.

Na representação algébrica tem-se:

$$C_n = aR + bG + cB$$

Seja m um número qualquer, então:

$$mC_n = maR + mbG + mcB$$

Exemplo: branco multiplicado por $m = 0,5$

$$\text{Branco} = 1R + 1G + 1B$$

$$0,5\text{Branco} = (0,5 \times 1)R + (0,5 \times 1)G + (0,5 \times 1)B$$

$$0,5C_n = 0,5R + 0,5G + 0,5B \text{ (cinza)}$$

Terceira Lei de Grassmann – “Uma cor resultante da adição de duas outras poderá ser reproduzida pela soma das proporções das quantidades primárias correspondentes a cada uma das cores consideradas.”

Na representação algébrica tem-se:

$$C_x = C_1 + C_2$$

$$C_1 = a_1R + b_1G + c_1B$$

$$C_2 = a_2R + b_2G + c_2B$$

$$C_x = (a_1+a_2)R + (b_1+b_2)G + (c_1+c_2)B$$

Exemplo: somar 40% de turquesa com 60% de branco

$$40\% \text{ de turquesa} = 0,0R + 0,4G + 0,4B \text{ (segunda Lei de Grassmann)}$$

$$60\% \text{ de branco} = 0,6R + 0,6G + 0,6B \text{ (segunda Lei de Grassmann)}$$



40% de turquesa + 60% de branco = $(0,0+0,6)R + (0,4+0,6)G + (0,4+0,6)B$

40% de turquesa + 60% de branco = $0,6R + 1G + 1B$ (turquesa claro)

Quantitativamente as três Leis de Grassmann são válidas tanto para potência luminosa como para unidades fotométricas. Estas Leis consideram as cores primárias definidas em cromaticidade e luminância. As Leis de Grassmann são válidas em condições normais de iluminação, onde se procura evitar os baixos níveis de iluminação (visão escotópica) e os níveis excessivamente altos de iluminação para evitar ofuscamento do olho humano.

Diagrama de Cromaticidade CIE

A CIE (Commission Internationale de l'Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminação) estabeleceu em 1931 um sistema de representação plana da cromaticidade que é universalmente adotado em colorimetria. A Fig. 1.18 apresenta o diagrama CIE de cromaticidade onde apenas o matiz e a saturação estão representados, portanto, as informações de luminância devem ser fornecidas à parte.

Para o branco de referência tem-se no diagrama CIE o correspondente ao ponto W, onde $X = 0,3101$ e $Y = 0,3163$. Portanto, partindo-se de qualquer ponto da linha de saturação máxima (linha de contorno do diagrama) em direção ao centro (ponto W) as cores vão se diluindo no branco até tornarem-se completamente brancas no ponto W. A linha de contorno do diagrama CIE está calibrada em milimicros. Representa as cromaticidades saturadas das cores espectrais, dispostas na mesma sequência das cores do arco-íris, ou seja, do vermelho para o azul, quando percorrida no sentido anti-horário. A base da figura triangular, representada por uma linha reta, corresponde às tonalidades não espectrais das cores magenta ou púrpura. Com este sistema de coordenadas é possível especificar uma cor de forma precisa considerando os parâmetros de matiz (comprimento de onda) e saturação (diluição da cor no branco).

Para uma cor qualquer A de coordenadas $X = 0,5$ e $Y = 0,4$, representada no diagrama CIE da Fig. 1.18, traça-se uma reta ligando os pontos A e W. O prolongamento desta reta corta a linha de contorno do diagrama nos pontos a1 e a2. O segmento de reta Wa1 define o matiz da cor A no comprimento de onda 590 milimicros, que é o mesmo para qualquer cor pertencente a este segmento. O ponto a1 representa a saturação máxima da cor A.



À medida que se desloca de a_1 (sob o segmento a_1W) para o ponto W a cor A vai se diluindo no branco até tornar-se completamente branca no ponto W . As cores pertencentes ao segmento Wa_2 são complementares das cores do segmento Wa_1 , com matiz no comprimento de onda de 485 milimicros, onde o ponto a_2 representa o ponto de saturação máxima da cor complementar de A .

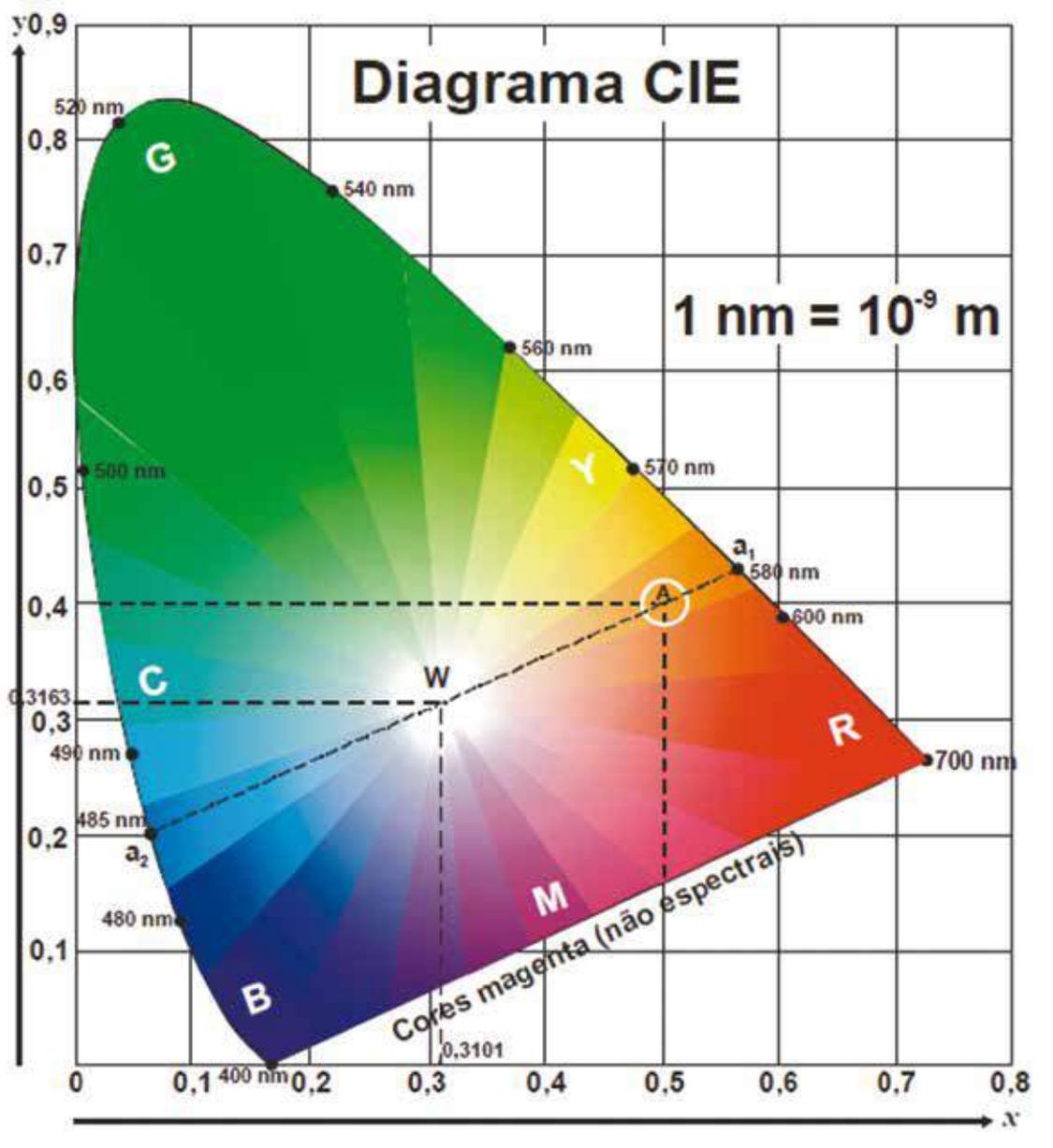


Fig. 1.18



Temperatura de cor

Corpo preto na definição da Física é um corpo teórico sem nenhuma cor e toda luz que toca a sua superfície é totalmente absorvida sem nenhuma reflexão. Este corpo preto teórico ao ser aquecido continuamente começa a emitir luz. Primeiro se torna rubro, depois vermelho, laranja, branco e posteriormente branco azulado. Além deste ponto o corpo não mudará mais de cor, não importa se continuar a ser aquecido. O físico alemão Max Planck foi o primeiro a descrever este fenômeno. Efeito semelhante pode ser conseguido pelo ferreiro com um pedaço de ferro, que ao ser aquecido numa forja, primeiramente é opaco depois se torna rubro, vermelho, e laranja.

Se um objeto for aquecido a temperatura de 2.000º Kelvin emitirá luz laranja, então pode-se dizer que esta luz é um laranja de temperatura 2.000º Kelvin. A Figura 1.19 apresenta a posição da curva de temperatura de cor no diagrama CIE de cromaticidades. Temperatura de cor é uma escala científica utilizada para designar emissão espectral de elemento radiante como o filamento de uma lâmpada, por exemplo. É utilizada para especificar, principalmente, as fontes de luz padrão utilizadas nas aplicações técnicas, científicas e de iluminação. Abaixo, a relação das principais fontes padrão utilizadas:

Illuminante A – 2.855,6º Kelvin

Illuminante B – 4.874º Kelvin (luz solar direta perto do equador)

Illuminante C – 6.774º Kelvin (luz do dia azulada no hemisfério norte)



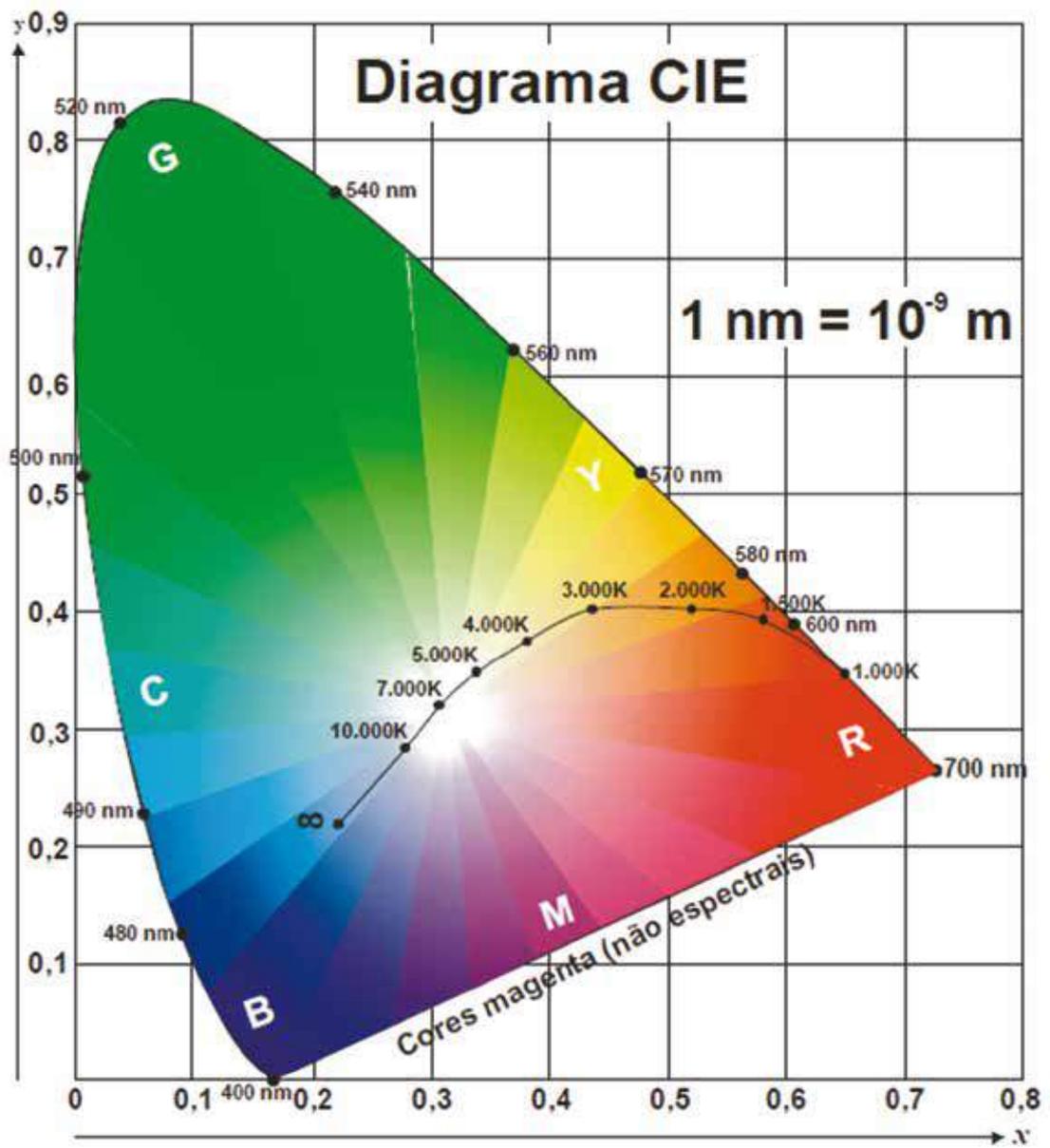


Fig. 1.19

Para produzir os iluminantes A, B e C o CIE recomenda utilizar uma lâmpada de 100 W de filamento de tungstênio em atmosfera gasosa (alógena) que funciona com o filamento na temperatura de 2.855,6º Kelvin. Esta lâmpada produz diretamente o iluminante A. Os iluminantes B e C são obtidos dessa mesma lâmpada com a utilização de filtros especiais descritos com precisão pela CIE.

Esta unidade de medida tem muita importância para o cinema e televisão principalmente nas tomadas de cenas externas. A luz do dia varia com a hora e principalmente com as condições do tempo o que obriga ajustes de câmaras e uso de filtros especiais de



correção espectral. Para exemplificar as variações de luz, algumas temperaturas de cor de situações do cotidiano:

Vela de cera – 1.800° Kelvin

Lâmpada incandescente – 3.000 a 4.500° K

Lâmpada de arco – 5.400° K

Dia ensolarado – 1.200 – 5.000° K

Dia parcialmente nublado – 6.000° K

Dia nublado – 7.000° K

Dia chuvoso – 8.000° K



Televisão Conceitos Básicos

Introdução

Nesta parte, serão estudados todos os conceitos básicos da formação de imagem eletrônica utilizada nos sistemas de televisão e computadores. Embora, hajam diferenças entre os vários sistemas de televisão analógica e digital espalhados pelo mundo, conceitualmente são todos semelhantes e compartilham do mesmo princípio de funcionamento.

Serão estudados todos os mecanismos de exploração e reprodução de imagens como também os sensores de imagem na forma de tubos eletrônicos e dispositivos de estado sólido. O processo de conversão da imagem óptica, na forma de variação de intensidade luminosa, até a formação do sinal elétrico de vídeo na saída da câmara será amplamente analisado nos mínimos detalhes, abordando todas as fases do processo de conversão.

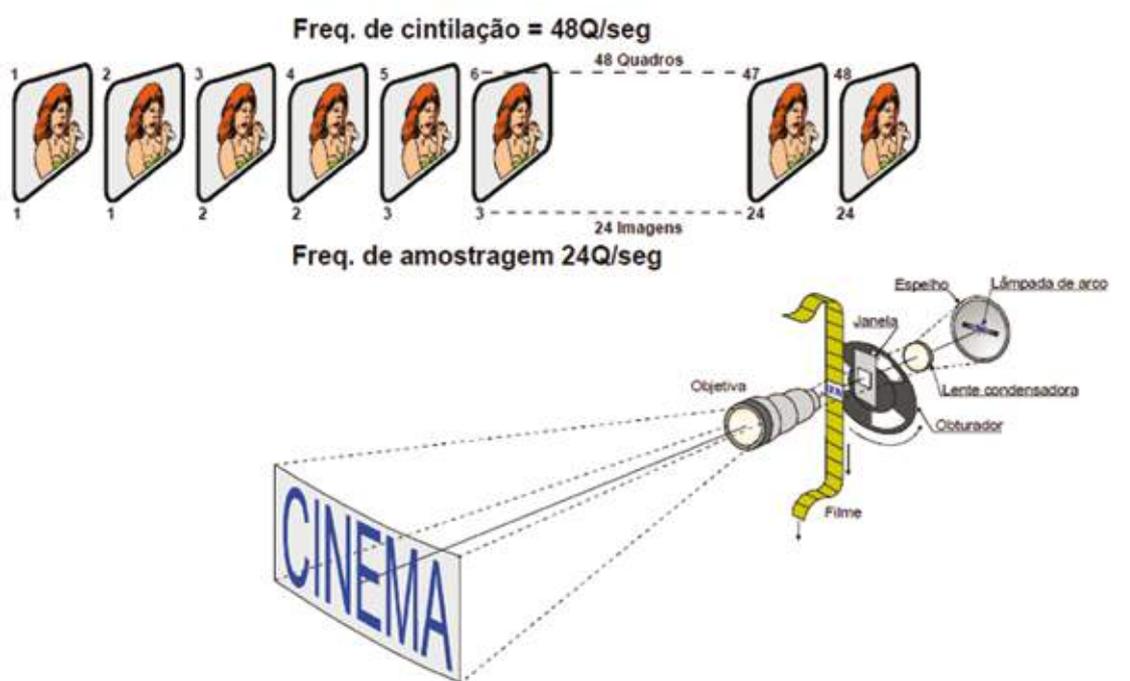
Amostragem de Cenas Móveis

Uma cena móvel ou imagens em movimento podem ser consideradas como uma sucessão contínua de infinitas imagens estáticas. A representação de cenas móveis por um número infinito de imagens estáticas, embora teoricamente seja o ideal, não tem aplicação prática. Não é difícil de concluir que levando-se em consideração a persistência da visão, uma cena móvel pode perfeitamente ser representada por um número finito de imagens estáticas, desde que a troca de imagens se faça em um tempo menor que o tempo de persistência da visão para que se tenha a sensação de continuidade dos movimentos. O olho, neste caso, funciona como elemento integrador, proporcionando uma percepção contínua de movimentos a partir de uma apresentação descontínua de imagens estáticas.

O número de amostras de imagem na unidade de tempo denomina-se frequência de amostragem. Como foi visto anteriormente, projetando-se na retina do olho humano imagens numa sequência superior a 20 quadros por segundo, provoca a sensação de movimentos contínuos da imagem. A frequência de amostragem para o cinema foi padronizada em 24 quadros por segundo. Este valor corresponde a um compromisso



estatístico entre o olho normal médio e os movimentos mais prováveis do cotidiano. A frequência de amostragem de 24 quadros por segundo resolve completamente o efeito da continuidade dos movimentos da imagem, entretanto, não resolve o problema da variação da intensidade luminosa, que é percebida pelo olho como uma cintilação da iluminação da tela (flicker). As experiências demonstraram que uma frequência de cintilação maior que 40 quadros por segundo não é perceptível pelo olho humano. Para resolver este problema sem aumentar o número de quadros, as máquinas de cinema reproduzem o mesmo quadro duas vezes para obter a frequência de cintilação de 48 quadros por segundo com frequência de amostragem de 24 quadros por segundo. As Figuras 2.1a e 2.1b esquematizam o funcionamento dos projetores de cinema.



A velocidade de 24 quadros por segundo do filme cinematográfico corresponde a um tempo de exposição de $1/24$ segundos ou 41,67 milissegundos por cada fotograma. Em 75% deste tempo (31,25 msec) o fotograma fica parado na janela da objetiva. Durante este tempo, a abertura do obturador passa duas vezes pela janela da objetiva projetando o mesmo quadro duas vezes na tela. Na sequência, o obturador é fechado, bloqueando a luz na tela, e nos 25% restantes do tempo (10,42 msec) o fotograma é trocado, posicionando o segundo fotograma. Esta sequência é repetida continuamente até o final do filme.



Observar que o tempo de troca do fotograma é bem menor que o tempo de persistência da visão, condição necessária para enganar o olho e o cérebro humano e provocar a sensação de movimento contínuo pela amostragem de imagens estáticas. O gráfico da Figura 2.2 ilustra os conceitos de frequência de amostragem e cintilação no funcionamento de um projetor de cinema.

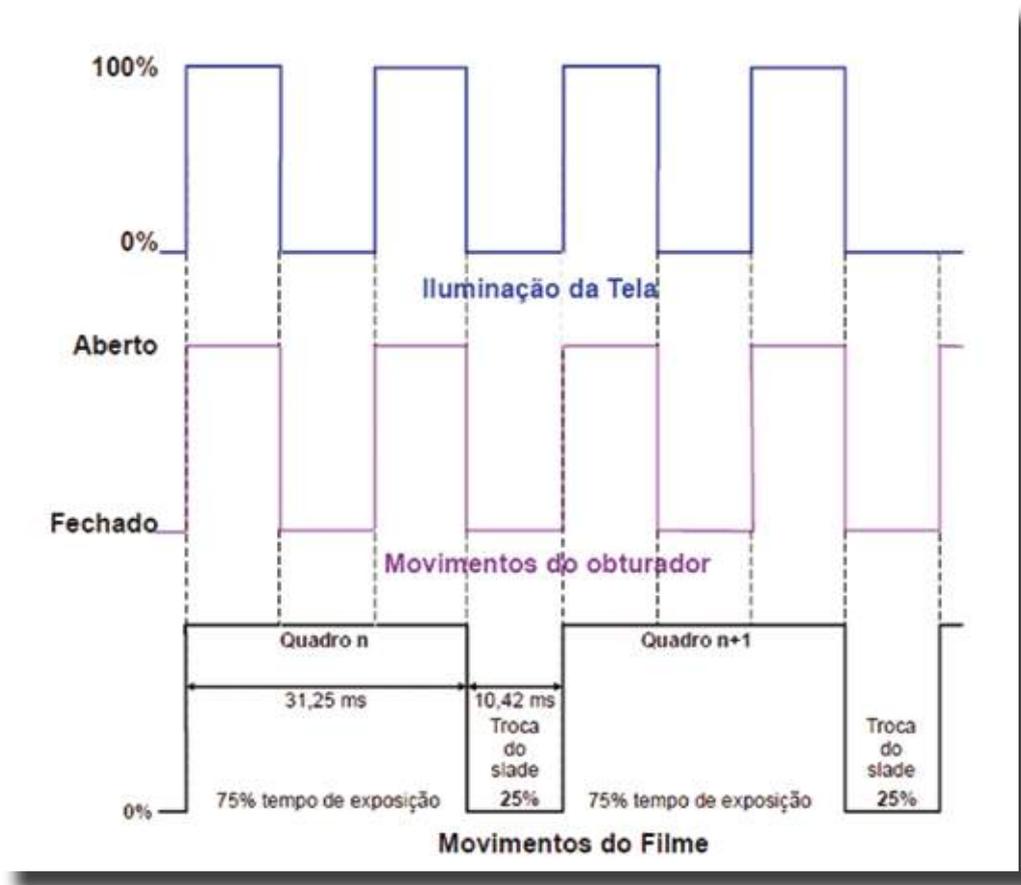


Fig. 2.2

Relação de Aspeto do Cinema

O cinema desde os seus primórdios usa a tela no formato 4 x 3. A partir dos anos cinquenta, começaram a aparecer outros formatos de tela, sendo a maior delas o Cinemascope com relação de aspeto de 7,05 x 3. A Figura 2.3 apresenta as telas mais usadas no cinema cujas relações de aspeto têm muita importância quando se desejam reproduzir filmes cinematográficos em sistemas eletrônicos de reprodução de imagens como televisão, gravador-reprodutor de DVD e computador.



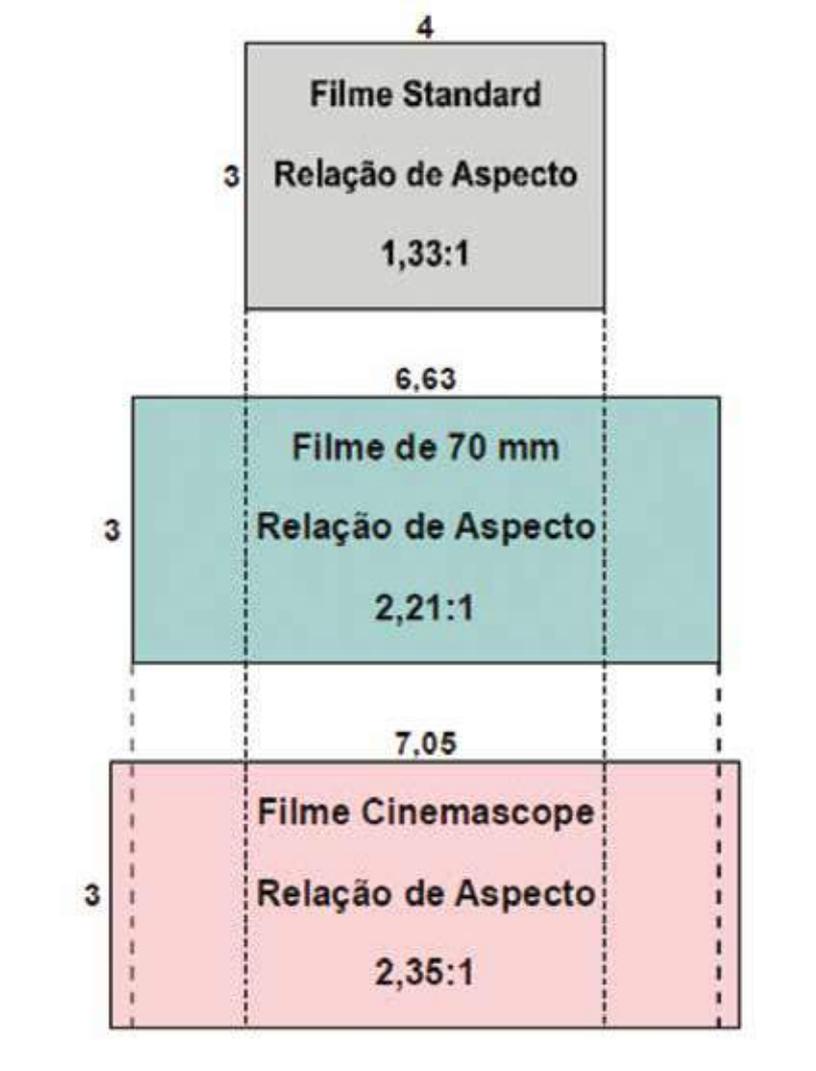


Fig. 2.3

Formação da Imagem de Televisão

No cinema um quadro é projetado de forma completa na tela. A televisão não pode trabalhar desta forma, pois a largura de banda necessária seria impraticavelmente grande. Para reproduzir a mesma imagem com largura de banda reduzida e compatível com os meios de transmissão disponíveis, a televisão divide a imagem óptica de uma cena em linhas, cada linha é explorada ponto a ponto onde as variações luminosas de cada ponto são convertidas em variações de corrente elétrica pelo transdutor eletro-ótico da câmara. O sinal elétrico, correspondente a cada ponto da imagem, é enviado sequencialmente, linha a linha, ao transmissor onde modula uma portadora de alta frequência.



O sinal recebido pelo recetor é demodulado e amplificado para alimentar o transdutor eletro-ótico que converte as variações do sinal elétrico em variações de luminosidade na tela na mesma sequência de exploração da cena original. Em outras palavras, a televisão funciona como se a imagem fosse um quebra-cabeças onde cada peça seria transmitida individualmente e montada uma a uma numa sequência de linhas horizontais até formar o quadro completo. A Figura 2.4 representa esquematicamente o princípio de funcionamento da televisão.



Fig. 2.4.

A imagem é dividida em linhas horizontais que são exploradas em movimentos da esquerda para a direita e de cima para baixo. Este processo de exploração da imagem é denominado de varredura. Para que os pontos explorados de uma imagem sejam reproduzidos na mesma posição geométrica na tela do recetor é necessário a transmissão de pulsos de sincronismo para “amarrar” os movimentos horizontal e vertical da varredura na transmissão com a da receção.

A conversão de detalhes de imagem em corrente elétrica, pelo transdutor óptico/elétrico da câmara, está ilustrado na Figura 2.5, de maneira simplificada por um sistema de apenas 11 linhas.



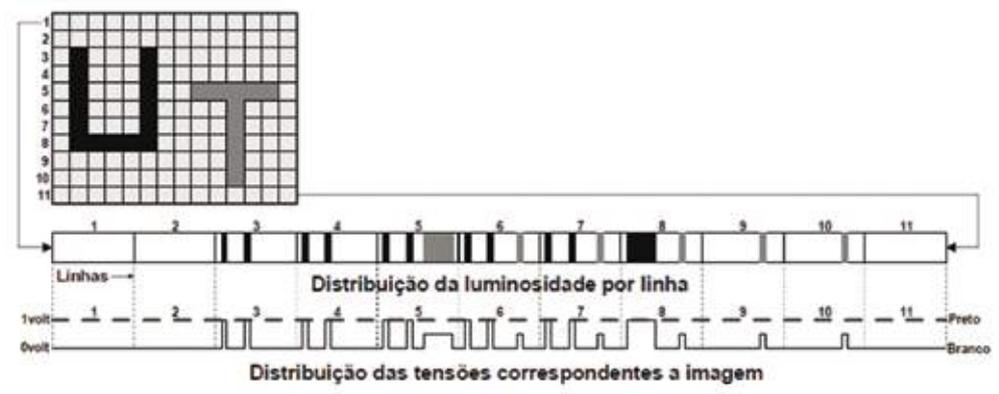


Fig. 2.5

Os pontos em branco da imagem geram na saída do transdutor da câmara tensões de 0 volt e os pontos em negro tensões de 1 volt. Conseqüentemente, as demais tonalidades de cinza, variando do branco ao preto, geram tensões correspondentes, variando de 0 a 1 volt. No caso da Fig. 2.5 a letra “U” é considerada como preta e a letra “T” como cinza, formada por 50% de branco e 50% de preto. Portanto, os pontos explorados da letra “U” geram tensões de 1 volt e os pontos da letra “T” tensões de 0,5 volt. A transmissão dos detalhes de imagem é feito de forma sequencial ponto-a-ponto e linha-a-linha até a formação do quadro completo.

Quadro e Campo

No desenvolvimento da televisão foram utilizados todos os conhecimentos e recursos técnicos disponíveis do cinema. As dimensões do quadro, denominadas relações de aspecto, utilizadas pela televisão, são as mesmas adotadas no cinema, ou seja, um retângulo em que a largura e a altura estão na proporção de 4 para 3. A Figura 2.6 ilustra a relação de aspecto.

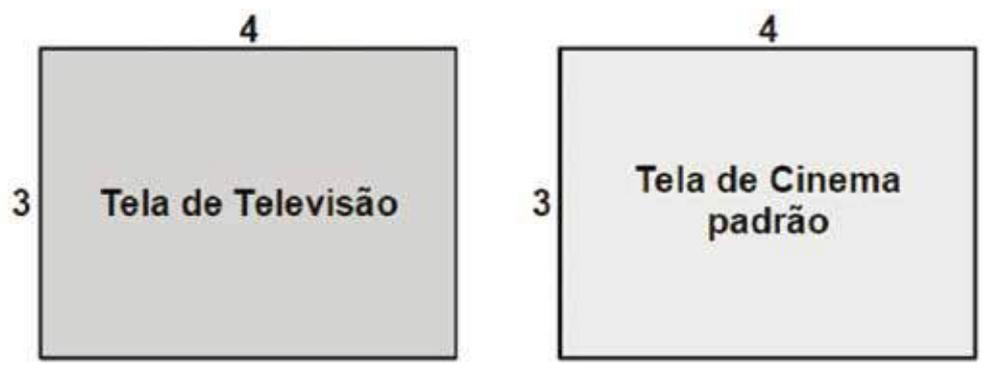


Fig. 2.6



A televisão no padrão M adotou como frequência de amostragem 30 quadros segundo. Como cada quadro é explorado duas vezes, a frequência de cintilação é de 60 quadros por segundo, que em televisão é denominada de frequência de campo, portanto, um campo corresponde a uma amostragem da imagem.

Diferentemente do cinema, a televisão primeiro, no campo ímpar, explora as linhas ímpares da imagem e no campo par, as linhas pares, formando um quadro completo.

A frequência de campo é escolhida sempre com o mesmo valor da frequência da rede elétrica, para evitar possíveis interações entre ambas. Esta interação com a rede elétrica provoca o aparecimento de barras horizontais em tonalidades de cinza-claro, deslocando-se verticalmente com velocidade diretamente proporcional à diferença entre as frequências da rede elétrica e a frequência da varredura vertical da televisão.

O padrão M é adotado nos países onde a frequência da rede elétrica é 60 Hz. Nos países com frequência de 50 Hz na rede elétrica, a televisão tem frequência de amostragem de 25 quadros por segundo e frequência de campo 50 quadros por segundo. A Figura 2.7 apresenta o conceito de quadro e campo.

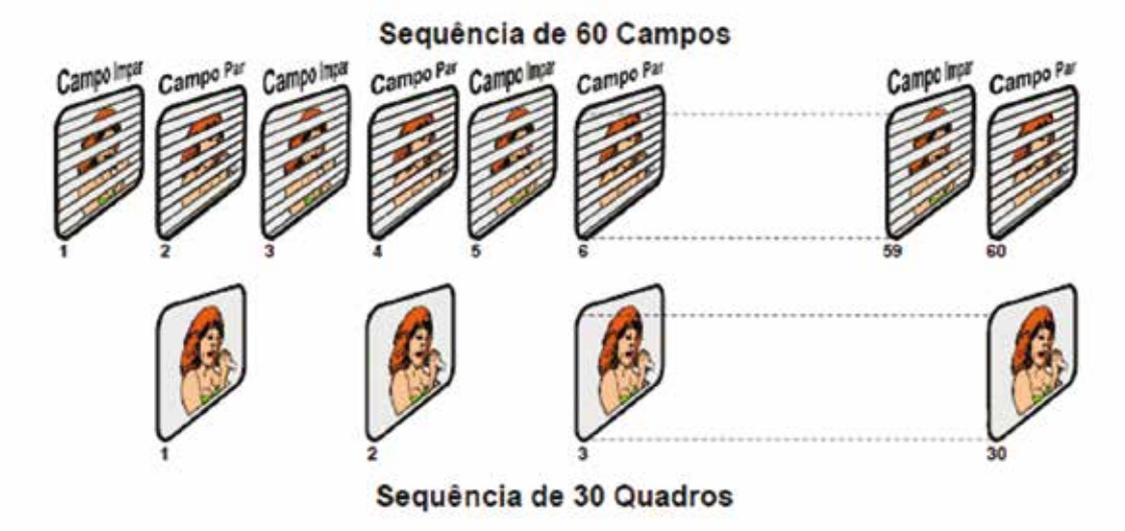


Fig. 2.7

Número de Linhas e Resolução

O menor elemento de imagem ou pixel é explorado e reproduzido em linhas na televisão, portanto, a altura do pixel de imagem corresponde exatamente à espessura de uma linha horizontal. Desta forma, pode-se definir a dimensão vertical da imagem pelo número



de linhas. A Figura 2.8 apresenta o conceito de definição de imagem denominado de resolução, considerando que as dimensões, vertical e horizontais, são representadas pelo número de linhas. Consequentemente o menor detalhe de imagem reproduzido pela televisão é um quadrado cujos lados têm a dimensão da espessura de uma linha horizontal.

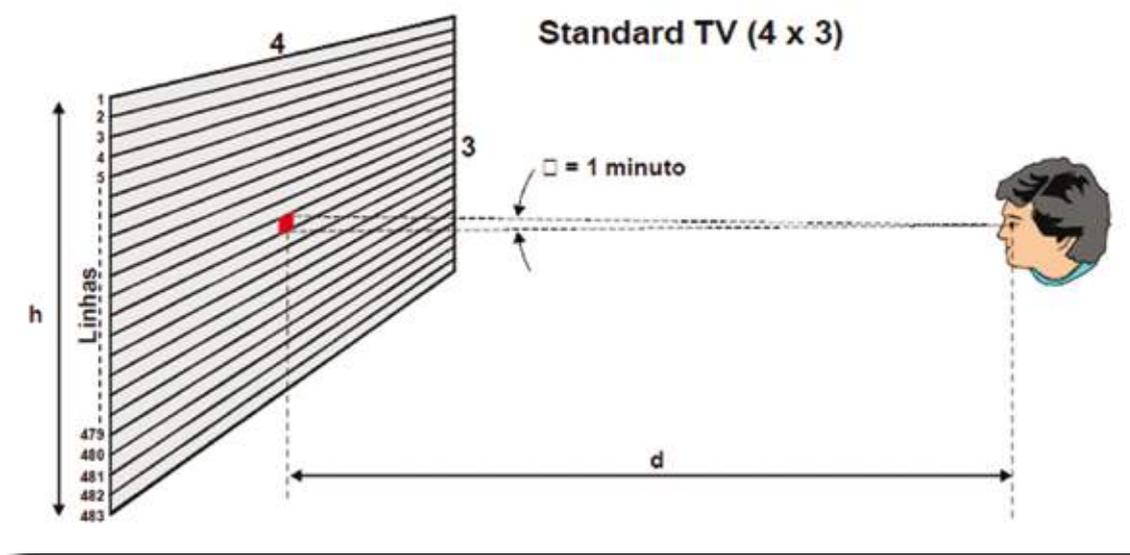


Fig. 2.8

No padrão M, o número total de linhas horizontais é 525. Destas, 21 linhas por cada campo, são apagadas para permitir o retorno da varredura vertical, sobrando um total de 483 linhas horizontais visíveis na tela. A resolução vertical pode ser calculada pela Equação 2.1.

$$RV = (N - N_0)K \quad [2.1]$$

Onde: N = Numero de linhas do padrão adotado

N₀ = Numero de linhas apagadas durante o retorno da varredura vertical

K = Fator Kell (K = 0,7)

A razão de utilização ou fator Kell representa a relação entre o número de linhas úteis na reprodução do detalhe vertical para o número total de linhas visíveis. Cálculos teóricos e medidas estatísticas realizadas por Kell indicaram que o fator Kell varia entre 0,6 e 0,8, sendo mais usado o valor médio igual a 0,7. Devido a este fator, as resoluções, horizontal e vertical, práticas são:

$$RV = (N - N_0) K \quad [2.1]$$

$$RH = 4/3RV \quad [2.2]$$



O fator Kell considera que devido ao diâmetro finito do feixe eletrônico, a transição do branco para o preto não se faz abruptamente, mas numa variação senoidal como mostra a Figura 2.9.

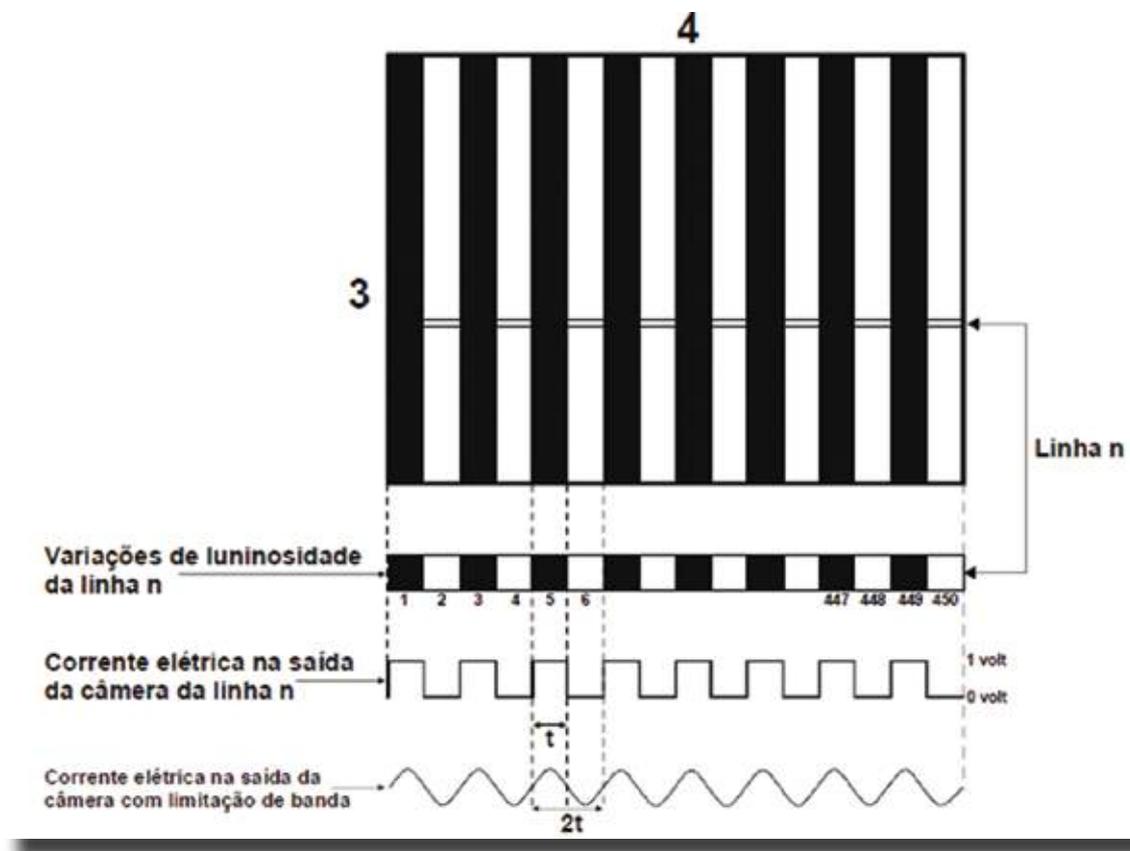


Fig. 2.9

Este efeito reduz a definição da imagem e conseqüentemente a largura de faixa ocupada para reproduzir os detalhes finos da imagem. O número total de detalhes reproduzidos num quadro de televisão é dado pelo produto das resoluções horizontal e vertical.

$$RT = RH \times RV \text{ [2.3]}$$

Para o Padrão M, e países de rede elétrica de 60 Hz

$$RV = (N - N_0)K = (525 - 42) \times 0,7 = 338,1 \text{ linhas}$$

$$RH = 4/3RV = 4/3 \times 338,1 = 450,8 \text{ linhas}$$

$$RT = RH \times RV = 450,8 \times 338,1 = 152.415,48 \text{ pixels ou elementos de imagem}$$

Observe que a resolução total da televisão no padrão M é muito inferior a resolução do filme de 35 mm (500.000 pixels) e um pouco superior à do filme de 16 mm (125.000 pixels).

A resolução total define a qualidade da imagem em pixels ou elementos de imagem e depende apenas do número de linhas totais definidas pelo padrão. A partir das



resoluções, horizontal e vertical, pode-se deduzir a equação da resolução total em função do número de linhas. Logo:

$0,08 =$ Proporção do número de linhas apagadas em relação ao total de linhas do padrão

$$RV = N(1 - 0,08)K = N \times 0,92 \times 0,7 = 0,644N$$

$$RH = 4/3 \times RV = 4/3 \times 0,644N = 0,8587N$$

$$RT = RH \times RV = 0,644N \times 0,8587N = 0,553N^2$$

$$RT = 0,553N^2 \text{ [2.4]}$$

O gráfico da Figura 2.10 apresenta a Resolução Total em função do número de linhas. Verifica-se, portanto, que para melhorar a qualidade da imagem o número de linhas cresce exponencialmente. Por exemplo, para se ter uma tela de televisão com a qualidade da tela de cinema, de 500.000 pixels, o número de linhas deve ser 951 e para equiparar com o filme 70 mm, Vistavision de 1.000.000 de pixels, o número de linhas deve ser 1.345.

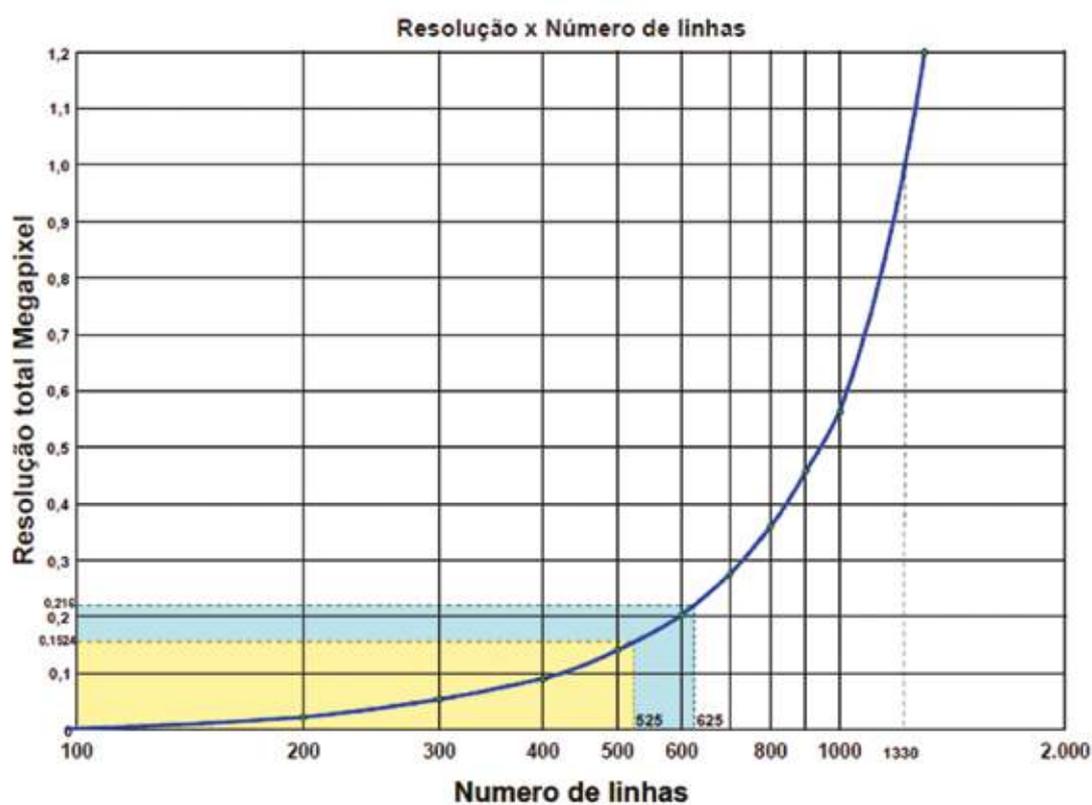


Fig. 2.10

Os fabricantes de computadores há muito tempo abandonaram o monitor de televisão, por não apresentar a qualidade de imagem requerida para gráficos e jogos eletrônicos. Criaram os seus próprios padrões.



A Tabela 2.1 apresenta os principais padrões de telas usadas nos monitores de computadores. O monitor de computador funciona da mesma forma que o monitor de televisão, na verdade foi uma evolução deste.

Padrão	VGA	SVGA	SVGA	SVGA	SVGA
Resolução H x V	640 x 480	640 x 480	800 x 600	1024 x 768	1280 x 1024
Resolução Total (pixels)	307.200	307.200	480.000	786.432	1.310.720
Número de linhas	525	525	628	806	1068
Número de linhas visíveis na tela	480	480	600	768	1024
Frequência do pixel (MHz)	25,2	31,5	40	75	126,5

Tabela 2.1

Tabela 2.1

Varredura

Nos antigos tubos eletrônicos com canhão de elétrons que equipavam tanto as câmaras quanto a tela dos recetores, as varreduras, horizontal e vertical, são produzidas por um conjunto de bobinas magnéticas, alimentadas por correntes alternadas na forma de dente-de-serra. Os campos magnéticos criados movimentam o ponto de exploração (na câmara) ou reprodução da imagem (no recetor). A Figura 2.11 apresenta as correntes dente-de-serra horizontal e vertical.

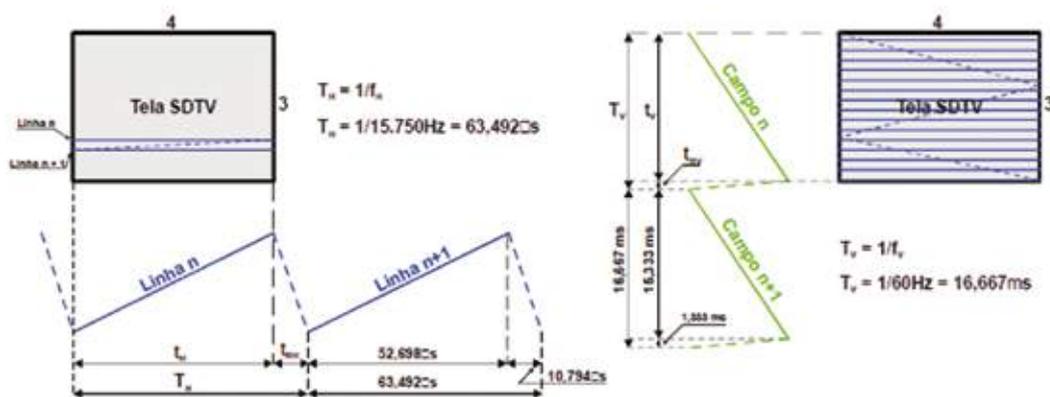


Fig. 2.11

Para que apenas linhas horizontais sejam traçadas, o retorno dos movimentos, horizontal e vertical, deve ser apagado. Se tal não ocorrer, quando a varredura horizontal deslocar o ponto de exploração do final de uma linha, no lado direito tela, para o início da



linha seguinte, no lado esquerdo, uma linha inclinada será impressa entre duas linhas horizontais. Da mesma forma, quando a varredura vertical deslocar o ponto do lado direito inferior da última linha de um campo para o lado esquerdo superior da primeira linha do campo seguinte, linhas inclinadas aparecerão na tela. (ver Fig. 2.11).

A exploração da imagem na câmara de televisão como a reprodução na tela do recetor é feita através de um feixe de eletrões produzido por um canhão eletrônico. O apagamento dos retornos horizontal e vertical é obtido com impulsos elétricos que desligam o canhão eletrônico por um período igual aos tempos de t_{RH} e t_{RV} . A Figura 2.12 apresenta as características das correntes dentes de serra horizontal e vertical como também os pulsos de apagamento horizontal e vertical.

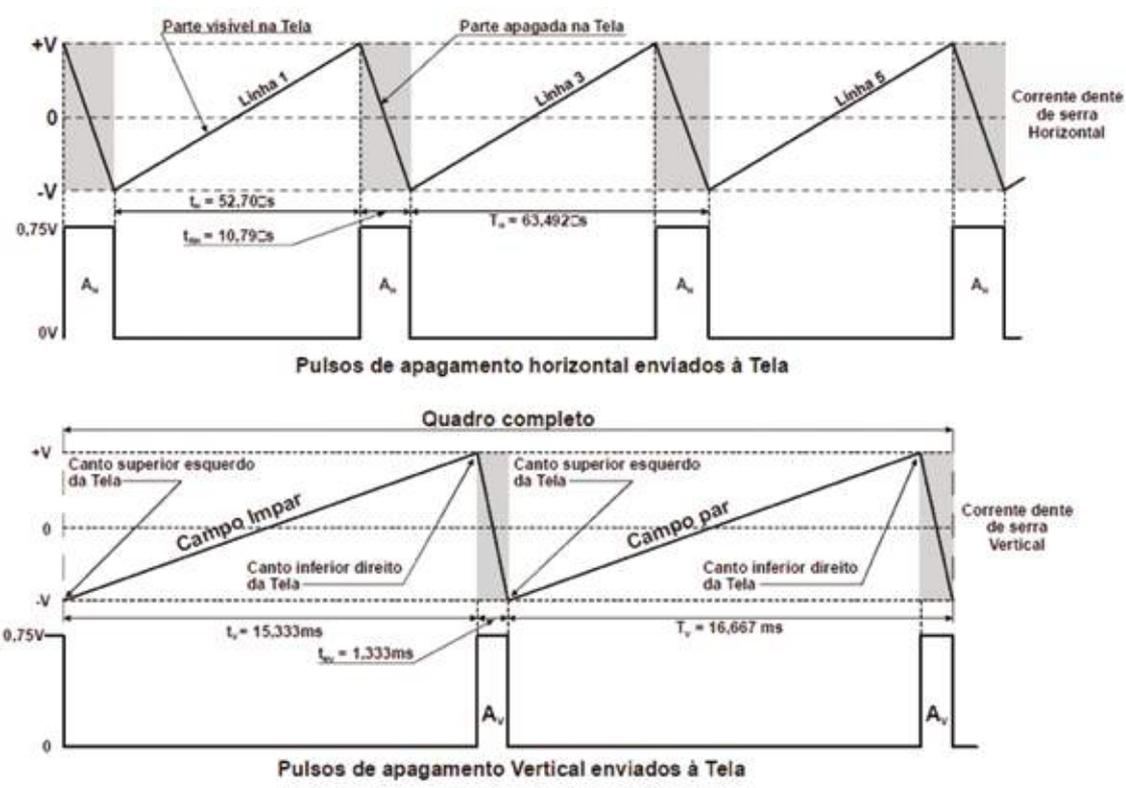


Fig. 2.12

A frequência de varredura horizontal é obtida pelo produto da frequência de amostragem pelo número de linhas. No padrão M foi estabelecido para 525 linhas com tempos de retorno horizontal e vertical prospectivamente de 17% e 8% dos períodos de f_H e f_v . A Figura 2.13 esquematiza o sistema de varredura eletrônica utilizado na reprodução. Os dispositivos modernos de captação e reprodução de imagens eletrônicas não mais



utilizam de canhões eletrônicos. Câmaras e monitores utilizam componentes de estado sólido onde o acesso a cada pixel é feito por um sistema de coordenadas x, y. O sistema de canhão eletrônico é mais simples e de fácil compreensão para entender o processo de varredura.

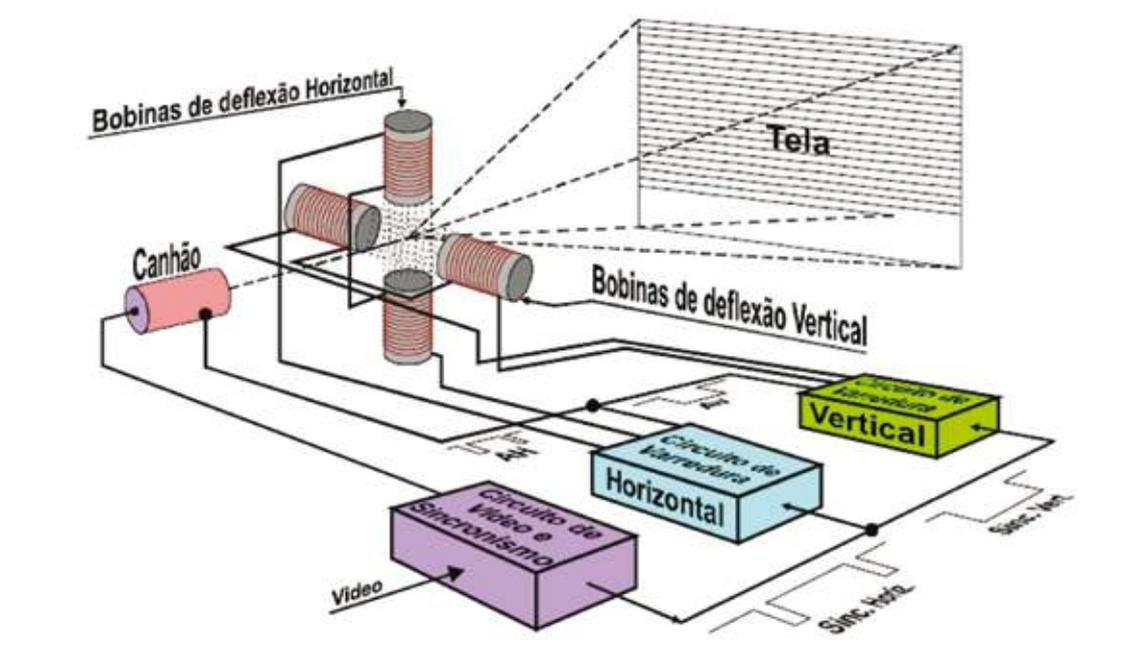


Fig. 2.13

Especificação do Padrão M para o sistema de varredura eletrônico:

$$f_H = QN \text{ [2.5]}$$

Onde: N = Número de linhas do padrão

Q = Frequência de amostragem em quadros/seg.

$$N = 525 \text{ linhas}$$

$$Q = 30 \text{ quadros/seg.}$$

$$f_H = QN = 30 \times 525 = 15.750 \text{ Hz - Frequência do dente de serra horizontal}$$

$$T_H = 1/f_H = 1/15.750 = 63,492 \text{ } \mu\text{seg - Período do dente de serra horizontal}$$

$$t_{RH} = 17\% \text{ de } T_H = 10,794 \text{ } \mu\text{seg - Tempo do retorno horizontal}$$

$$t_H = (1 - 0,17)T_H = 52,698 \text{ } \mu\text{seg - Tempo de varredura da linha visível na tela}$$

$$N_0 = 0,08N = 0,08 \times 525 = 42,0 \text{ - No de linhas apagadas durante o retorno da varredura vertical}$$

$$N_V = (1 - 0,08)N = 483,0 \text{ - Número de linhas visíveis na tela}$$

$$f_V = 60 \text{ Hz (freq. da rede elet.) - Frequência da varredura vertical}$$



$TV = 1/fV = 1/60 = 16,6667$ mseg - Período do dente de serra vertical

$tRV = 0,08TV = 1,3333$ mseg. - Tempo do retorno vertical para cada campo

NV representa o número de linhas visíveis, o número máximo de elementos de imagem na vertical é a resolução vertical da imagem. Devido à relação de aspecto do quadro na proporção de 4 x 3, a resolução horizontal ou o número pixels de imagem contidos numa linha pode ser calculado por:

$$RV = (1 - 0,08)NK [2.6]$$

$$RH = 4/3 \times (1 - 0,08)NK [2.7]$$

Frequência do Pixel

A frequência do pixel, ou frequência do menor detalhe de imagem, define a maior frequência, e por consequência a largura de faixa necessária para a transmissão da imagem. Considerando-se que uma imagem padrão seja constituída de elementos iguais de preto e de branco, como na Figura 2.14, uma resolução horizontal de 450,8 linhas (pixel) provoca o aparecimento de 225,4 ciclos retangulares com elementos pretos e brancos.

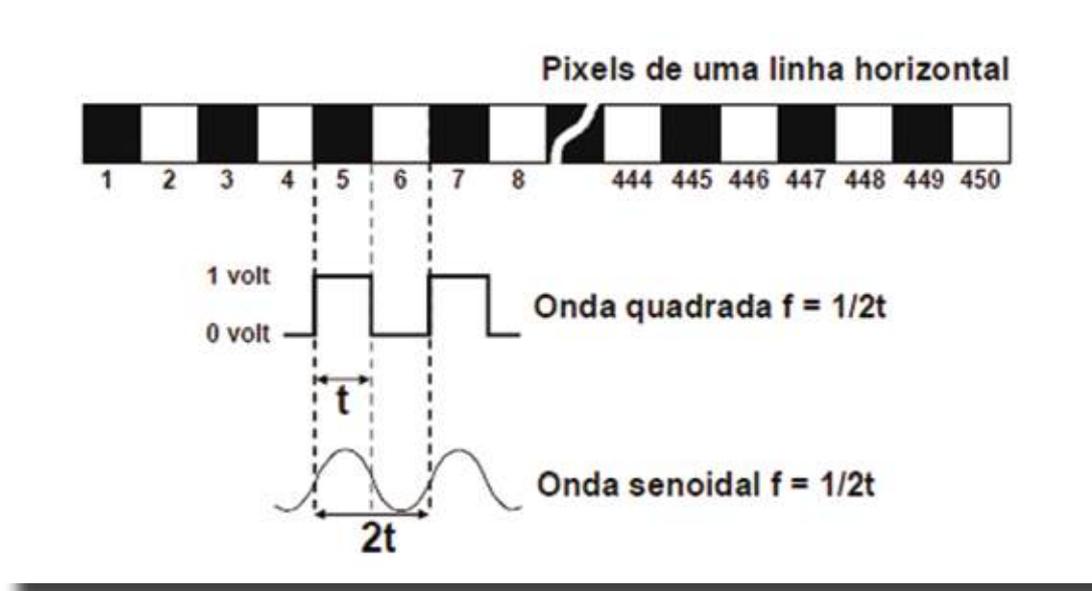


Fig. 2.14

O tempo de reprodução de apenas um ciclo formado por um elemento branco e outro preto é dado por:



$$2t = t_H/225,4 = 52,698/225,4 = 0,2338 \text{ microssegundos}$$

$$f_{\text{Pixel}} = 1/2t = 1/0,2338 = 4,277 \text{ MHz}$$

O FCC (Federal Communications Commission) americano adotou para o padrão M de televisão uma largura de faixa de 4,2 MHz, o que é suficiente para uma resolução total da ordem de 150.000 pixels ou elementos de imagem.

Para estabelecer a relação entre qualidade de imagem, frequência do pixel e largura de faixa, a frequência do pixel também pode ser calculada através de gráfico:

$$t_{RH} = 17\% \text{ do período horizontal}$$

$$t_{RV} = 8\% \text{ do período vertical}$$

N = número de linhas totais do padrão

Q = número de quadros por segundo

t = tempo de exploração do pixel $t = t_H/RH$

$$f_{\text{Pixel}} = 1/2t = RH/2t_H$$

$$f_{r\text{Pixel}} = 0,859N/2t_H$$

$$f_H = Q \times N$$

$$t_H = 1/QN$$

$$t_H = (1 - 0,17)t_H$$

$$t_H = 0,83/QN$$

$$f_{\text{pixel}} = 0,859N/2t_H$$

$$f_{\text{Pixel}} = 0,859N \times QN/2 \times 0,83$$

$$f_{\text{Pixel}} = 0,5175QN^2$$

Pela observação do gráfico da Figura 2.15 conclui-se que a frequência do menor detalhe depende de Q e de N. A condição ideal é ter a maior resolução possível com a menor faixa de vídeo ou frequência do pixel. A faixa de vídeo é estabelecida pela frequência do pixel, portanto, quanto menor o valor de Q menor será a faixa de vídeo requerida para uma mesma resolução total e um mesmo número de linhas. O valor de Q (Freq. de Amostragem) não pode ser inferior a 25, para não se perder a sensação de imagem com movimentos contínuos (ver item 2.1).



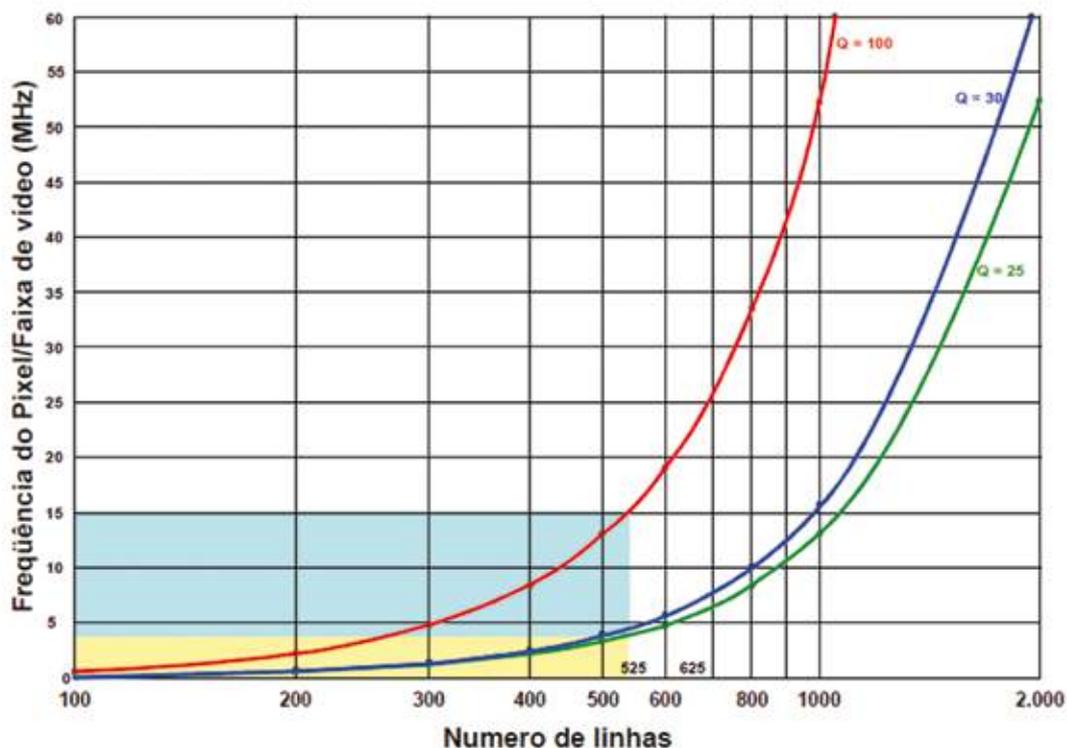


Fig. 2.15

Exploração Entrelaçada

A solução encontrada no cinema para reduzir o efeito da cintilação da imagem, projetando o mesmo quadro duas vezes, não pode ser utilizada na televisão por razões de ordem técnica. O mesmo efeito é conseguido na televisão com a exploração entrelaçada, em que as 525 linhas são divididas em dois campos iguais intercalados. Cada campo possui 262,5 linhas, significando que as linhas 1, 3, 5, 7, 525 pertencem ao primeiro campo e as linhas 2, 4, 6, 8, 524 ao segundo campo.

A Fig. 2.16 apresenta o mecanismo de exploração entrelaçada num sistema simplificado de 25 linhas. Neste exemplo, metade das linhas, ou seja, 12,5 linhas estão em cada campo. Admite-se que duas linhas completas são apagadas durante o tempo de retorno vertical. Portanto, 10,5 linhas visíveis são exploradas em cada campo num total de 21 linhas visíveis por quadro. Observe que se não houvesse os pulsos de apagamento horizontal e vertical a tela teria o aspeto da Fig. 2.16, onde todas as linhas de retorno são visíveis.



Observar as correspondências dos intervalos de tempo entre as correntes dente de serra horizontal e vertical com os pulsos de apagamento horizontal e vertical. As correntes dente de serra horizontal e vertical são enviadas as bobinas de deflexão horizontal e vertical respectivamente. Os pulsos de apagamento horizontal e vertical são enviados ao canhão eletrônico do tubo para o bloqueio do feixe de elétrons evitando o acendimento da tela durante os retornos horizontal e vertical.

As conclusões deste exemplo podem ser perfeitamente extrapoladas para o sistema de 525 linhas com 42,0 linhas apagadas. Com a exploração entrelaçada, além de resolver o problema da cintilação da tela, reduz para metade a frequência do pixel e consequentemente a largura de banda necessária para a transmissão da imagem eletrônica.

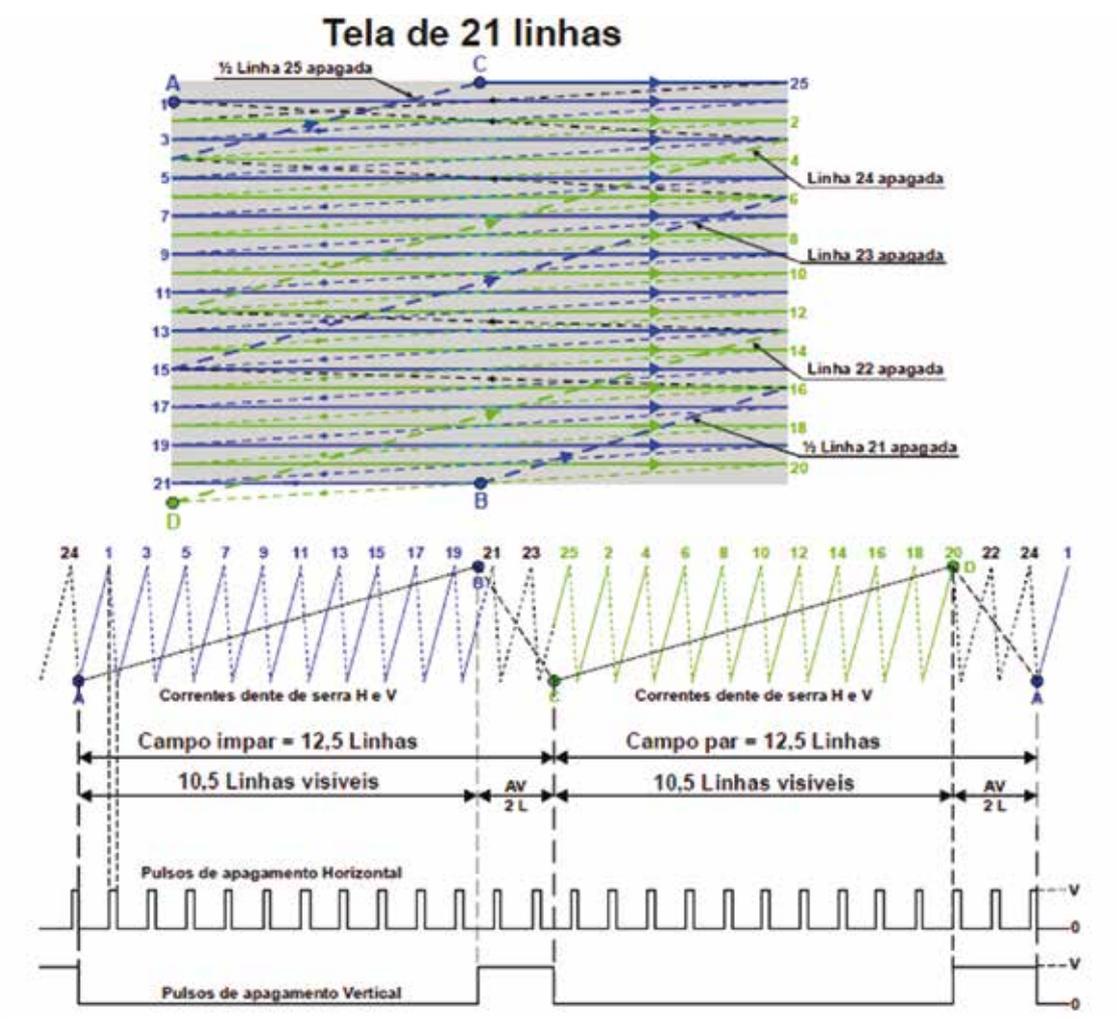


Fig. 2.16



Sinal de Vídeo e Sincronismo

O sinal de vídeo na saída da câmara tem amplitude máxima de pico padronizada em 1 volt. Os elementos de imagem de maior luminosidade, branco de referência, geram tensões de 0,1 volt. A tensão de 0,75 volt corresponde aos pontos negros ou pontos sem iluminação, negro de referência. Observar o caráter negativo do sinal de vídeo, onde os pontos escuros geram as maiores tensões.

Durante o intervalo de tempo do retorno horizontal é inserido o pulso de apagamento para eliminar o retraço horizontal. Como pode ser visto na Figura 2.17, a amplitude deste pulso é de 0,75 volt, correspondente ao nível de preto ou apagamento da tela. A duração do pulso de apagamento no padrão M é de 10,16 microssegundos, que é exatamente igual ao tempo de retorno horizontal.

Superposto ao pulso de apagamento vem o pulso de sincronismo horizontal, que é transmitido para sincronizar o oscilador dente-de-serra da varredura horizontal do recetor e estabilizar a imagem na tela. O pulso de sincronismo horizontal tem amplitude de 0,25 volt, que somado ao 0,75 volt do apagamento dá uma amplitude total de pico de 1 volt. Este pulso não causa nenhum problema, visto que qualquer amplitude superior a 0,75 volt a tela já está apagada. A região de amplitude superior a 0,75 volt é denominada de mais do que preto.

O pulso de sincronismo horizontal não está simetricamente disposto em relação ao pulso de apagamento, como pode ser observado na Figura 2.17.



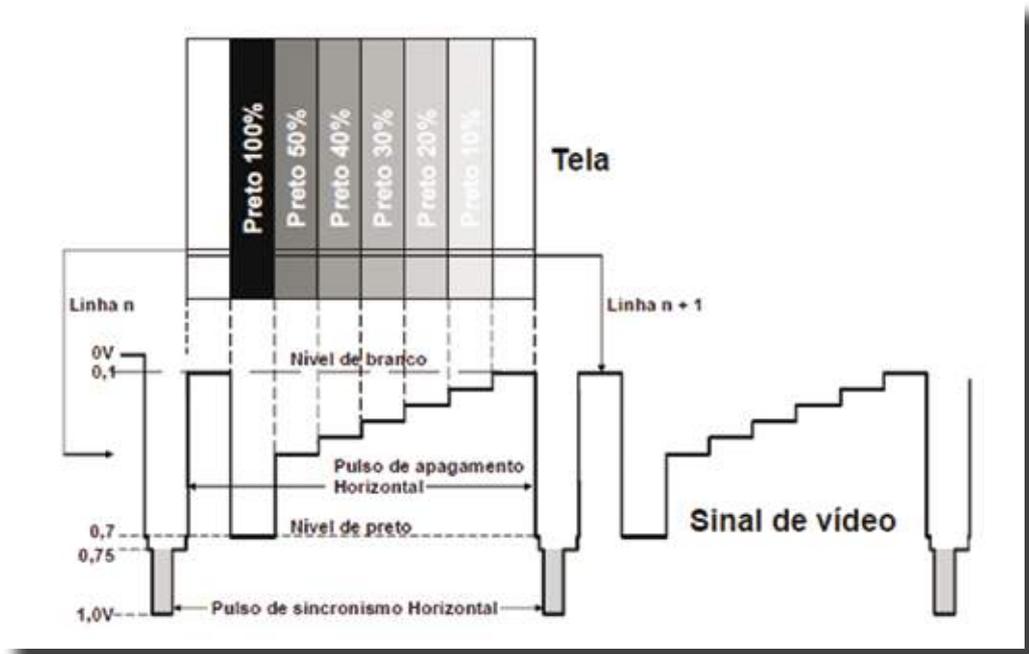


Fig. 2.17

O apagamento vertical, devido à sua longa duração, apaga no mínimo 19 e no máximo 21 linhas do retorno vertical no final de cada campo. Esta tolerância de 7 a 8% de TV faz arte das especificações do padrão M, o que dá aos fabricantes de equipamentos de vídeo uma certa flexibilidade na escolha da duração do retorno vertical. A Figura 2.18 mostra as características do intervalo de apagamento vertical.

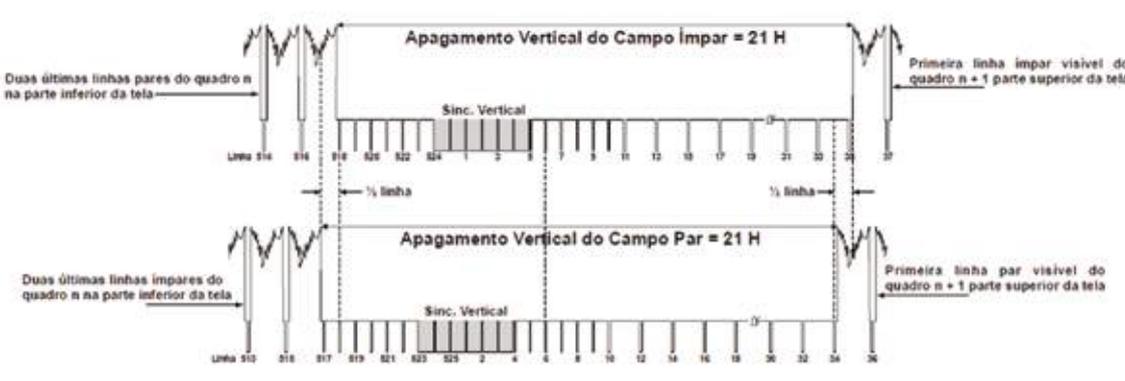


Fig. 2.18

O intervalo de apagamento vertical tem pulsos equalizadores, pulsos de sincronismo vertical e pulsos de sincronismo horizontal, que têm a finalidade de não deixar o sistema sem sincronismo horizontal durante muito tempo. Os dois intervalos de apagamento



vertical representados na Figura 2.18 são os mesmos, exceto pelo fato do primeiro pertencer ao campo ímpar e o segundo ao campo par, o que provoca um deslocamento de meia linha, entre os dois intervalos, necessário ao perfeito entrelaçamento das linhas. O pulso de sincronismo vertical é precedido por 6 pulsos equalizadores correspondentes a 3 linhas horizontais. O intervalo de tempo do pulso de sincronismo vertical também é equivalente a 3 linhas, sendo sucedido por 6 pulsos equalizadores equivalentes a mais 3 linhas. O restante do intervalo de apagamento vertical é preenchido por pulsos de sincronismo horizontal.

A duração total do pulso de apagamento vertical é:

	Mínimo	Máximo
Pulsos equalizadores	3H	3H
Pulso de sincronismo vertical	3H	3H
Pulsos equalizadores	3H	3H
Pulsos DC sincronismo horizontal	10H	12H
Total	19H	21H

$$t_{AV \text{ mín}} = 19 \times 63,5 = 1.206,35 \text{ } \mu\text{seg}$$

$$f_{AV \text{ máx}} = 21 \times 63,5 = 1.333,33 \text{ } \mu\text{seg}$$

O primeiro pulso de apagamento vertical ocorre entre as linhas 518 e 35 no primeiro campo e entre as linhas 517 e 34 no segundo campo, no caso do apagamento de 21 linhas.



Câmara de Televisão

Introdução

O sinal de vídeo é produzido pela câmara de televisão através de um transdutor fotoelétrico que converte as variações de luminosidade da imagem em variações correspondentes de corrente elétrica. A imagem é explorada ponto a ponto, linha a linha pelo processo de varredura eletrônica com exploração entrelaçada de 262,5 + 262,5 linhas, 60 campos e 30 quadros por segundo, no padrão M de televisão monocromática. A câmara de televisão é constituída de três partes distintas:

1. OBJETIVA - A objetiva é formada pelo conjunto de lentes que focaliza a imagem na superfície externa do sensor fotoelétrico da câmara. A objetiva possui incorporado um ZOOM que serve para aproximar ou afastar a imagem sem que seja necessário movimentar a câmara.

2. CIRCUITOS DE VÍDEO – São os circuitos de amplificação e correção gama que produzem o sinal de vídeo composto padrão de 1 volt de pico.

3. CIRCUITOS DE VARREDURA E SINCRONISMO - É o conjunto de circuitos eletrônicos que produzem os pulsos de sincronismo e pulsos de apagamento, horizontal e vertical, como também os pulsos necessários ao funcionamento do sensor captador para que este produza a corrente elétrica correspondente aos detalhes de imagem explorados, formando o sinal de vídeo composto.

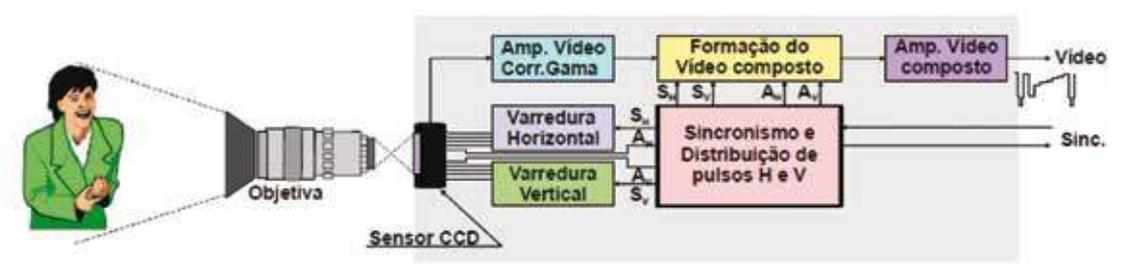


Fig. 2.19.



Varredura Horizontal

É um circuito que produz uma corrente dente-de-serra, que alimenta o sensor de imagem. Esta corrente tem as características apresentadas na Fig. 2.12. No padrão M, o oscilador dente-de-serra oscila na frequência de 15.750 Hz sincronizada pelo pulso de sincronismo horizontal fornecido pelo circuito de sincronismo da câmara.

Varredura Vertical

Este circuito produz uma corrente dente-de-serra na frequência de 60 Hz, no Padrão M, sincronizada pelo pulso de sincronismo vertical fornecido pelo circuito de sincronismo da câmara. Esta corrente alimenta o circuito de varredura vertical do sensor de imagem para produzir os movimentos verticais.

Circuito de sincronismo e distribuição de pulsos H e V

Tem um gerador mestre de alta estabilidade em frequência controlado a cristal oscilando na frequência da varredura horizontal de 15.750 Hz. O gerador de sincronismo possui entrada/saída de sincronismo externo.

Quando da operação da câmara no estúdio de TV, o sinal de sincronismo é fornecido pelo gerador mestre central da estação. Neste caso, o gerador da câmara fica sincronizado pelo sincronismo da estação. (Entrada de sincronismo externo.) Quando a câmara operar fora do estúdio em tomadas de cenas externas, o seu gerador de sincronismo deve ser adquirido como referência para fornecer sincronismo aos demais equipamentos de vídeo a ela interligados. (Saída de sincronismo).

O circuito de distribuição de pulsos gera os pulsos de sincronismo horizontal e vertical, apagamento horizontal e vertical e os pulsos equalizadores do intervalo de apagamento vertical. Todos estes pulsos estão sincronizados pelo gerador mestre de alta estabilidade em frequência.



Amplificador de vídeo e correção gama

Amplifica o sinal elétrico proveniente do sensor da câmara. É um amplificador de banda larga que opera com frequências próximas de zero até 15 MHz (Padrão M). A imagem elétrica deve conter todas as tonalidades bem definidas em relação ao nível de preto e ao nível de branco. Como o amplificador de vídeo só amplifica sinais alternados, a componente de corrente contínua deve ser restaurada para preservar a tonalidade correta, principalmente do fundo de imagem.

Ao sinal de vídeo é sobreposto uma tensão contínua obtida com referência ao nível do pulso de apagamento horizontal. Este circuito regula e mantém o nível de preto do sinal de vídeo constante. (Black clipping.) O nível de branco deve ser ajustado e mantido dentro dos limites estabelecidos para manter a perfeita relação de contraste da imagem. (White clipping .)

Do início da televisão até começo dos anos 90, tanto o sensor de imagens da câmara quanto a tela do recetor (CRT – Cathode Ray Tube) utilizavam tecnologia analógica pelo uso de tubos com canhão eletrônico. A variação linear da luminosidade, no tubo captador de imagens da câmara, não corresponde a uma variação linear da corrente elétrica. Esta correspondência segue uma expressão exponencial do tipo $I = kL^g$, onde $g = 0,65$ para o Vidicon. A Figura 2.20a apresenta a curva característica obtida da equação do Vidicon.

A curva característica da tela de imagem do recetor com CRT, tem a forma apresentada na Fig. 2.20b com expoente 2,2. Desta forma, o Vidicon da câmara tende a ressaltar os níveis das partes mais claras da imagem, enquanto as telas de CRT tendem a ressaltar os níveis das partes mais escuras da imagem, o que de certa forma compensa parcialmente a curva do Vidicom. A curva resultante está apresentada na Fig. 1.20c. O expoente da curva resultante é obtido pela multiplicação dos expoentes do Vidicon e do CRT do recetor:

$$g(\text{Vidicon}) \times g(\text{CRT}) = 0,65 \times 2,2 = 1,43$$



Para a perfeita reprodução de todas as tonalidades da imagem, o expoente “g” deve ser igual a 1. Para isto deve ser introduzida uma correção denominada correção gama. A correção gama é introduzida na câmara com o circuito corretor obedecendo a equação $1 = kLg$, onde g é calculado da seguinte forma:

$$g(\text{Vidicon}) \times g(\text{CRT}) \times g(\text{Câmara}) = 1$$

$$0,65 \times 2,2 \times g(\text{câmara}) = 1$$

$$g(\text{Câmara}) = 0,6993$$

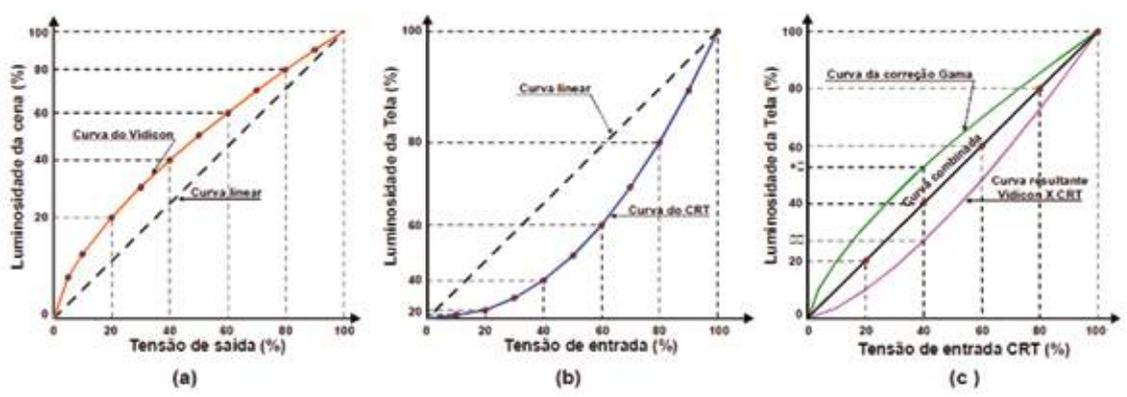


Fig. 2.20

A nova curva da câmara com correção gama está apresentada na Fig. 1.20c. Esta curva tem o expoente que é exatamente o inverso do expoente da curva resultante do Vidicon x CRT. Desta forma, a curva combinada é perfeitamente linear, o que garante uma reprodução perfeita de todas as tonalidades da imagem entre o branco e o preto.

Com a tecnologia digital, o tubo da câmara foi substituído pelo dispositivo CCD (Charged Coupled Device) e o tubo do recetor pelas telas de LCD (Liquid Crystal Display) ou Plasma. O CCD tem curva praticamente linear, ou seja $g = 1$. As telas, LCD e Plasma, têm g diferente de 2,2 do CRT, entretanto, são emuladas, por software, para ter a mesma curva do CRT com expoente 2,2 e assim manter a correção gama correta independente da tecnologia da tela do recetor. Desta forma, uma moderna câmara com dispositivo de captação de imagens digital CCD tem o g calculado por:

$$g(\text{CCD}) \times g(\text{CRT ou LCD ou Plasma}) \times g(\text{Câmara}) = 1$$

$$1 \times 2,2 \times g(\text{Câmara}) = 1$$

$$g(\text{Câmara}) = 0,4545$$



A Figura 2.21 mostra a correção gama para uma câmara equipada com CCD. Observar que a curva de correção gama é o inverso da curva do CRT devido a linearidade de conversão do CCD. Desta forma, obtêm-se a perfeita reprodução de todas as tonalidades de cinza, entre o branco e o preto, de uma cena para qualquer tipo de tela, quer seja CRT, LCD ou Plasma.

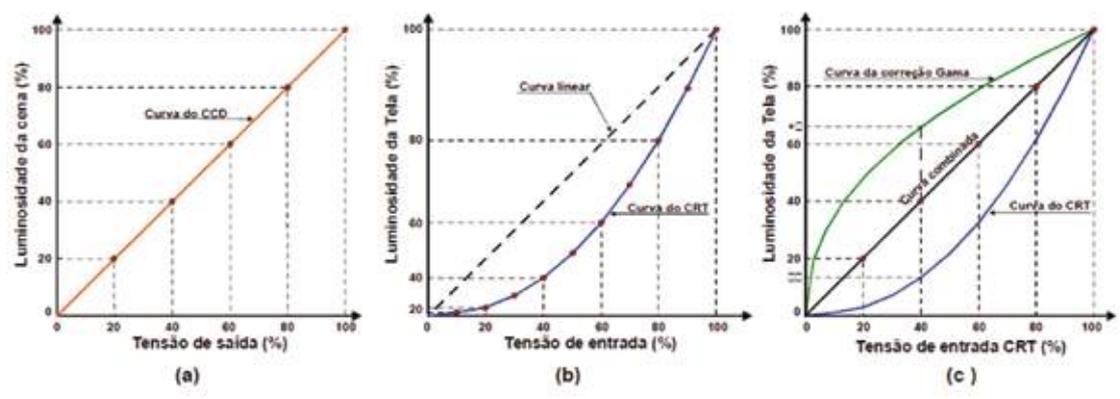


Fig. 2.21

Formação do vídeo composto

Este circuito recebe do circuito de Sincronismo e Distribuição de Pulsos H e V os pulsos de apagamento e sincronismo, horizontal e vertical, e adiciona-os ao sinal de vídeo, formando o sinal de vídeo composto.

Amplificador de vídeo composto

Amplifica o sinal de vídeo composto mantendo constante a amplitude do topo do pulso de sincronismo horizontal em - 1 volt de pico.

Dispositivos captadores de imagens

HISTÓRICO - Os transdutores utilizados nas câmaras de televisão para converter as variações de luminosidade da imagem em variações de corrente elétrica são denominados de tubos captadores. Ao longo dos anos muitos foram os tipos utilizados na construção de câmaras de televisão. Atualmente, só os tubos de desenvolvimento mais recente



são usados porque estes tornaram os anteriores obsoletos. O Vidicon estabeleceu esta marca por ser mais simples e de menor tamanho que os demais. Os tubos captadores anteriores ao Vidicon foram em ordem cronológica:

ICONOSCÓPIO - Desenvolvido em 1923 por Zworykin tornou visível a construção da primeira câmara de televisão totalmente eletrônica em 1931. Foi utilizado para as primeiras demonstrações públicas de televisão na Feira Mundial de New York em 1939.

SUPER EMITRON - Desenvolvido na Inglaterra em 1936 a partir do Iconoscópio. Foi utilizado na construção de câmaras experimentais no final dos anos 30 na Inglaterra.

ORTHICON - Apareceu em 1939 nos Estados Unidos. Foi utilizado para equipar as câmeras do sistema de televisão experimental que transmitia do Empire State Building durante a II Guerra Mundial.

IMAGEM ORTHICON - A Imagem Orthicon foi introduzida no mercado em 1946 tornando o estúdio de televisão mais prático. Possui grande sensibilidade e requer menos iluminação que os seus antecessores.

VIDICON - Foi o primeiro tubo captador de imagens de baixo custo. Apareceu em 1950, tornando-se comercial a partir de 1954. Foi o tipo de tubo mais utilizado na maioria das câmaras de televisão até praticamente no início dos anos 90.

Todos os demais tubos que apareceram após o Vidicon têm a sua estrutura básica igual a este diferindo apenas pelos elementos que constituem a foto camada. Por ordem cronológica são: PLUMBICON (1964), SILICON VIDICON (1966), SILICON INTENSIFER TARGET (1971), CHALNICON (1972), SATICON e NEWVICON. Em 1974 apareceu o primeiro dispositivo captador de imagens de estado sólido com 163.840 elementos de imagem montado num IC de silício, denominado de Dispositivo de Carga Acoplada - (CCD Charge Coupled Device).



Com a grande evolução da tecnologia dos CCD's os antigos tubos da família dos Vidicons foram totalmente substituídos pelos novos CCD's a partir do início dos anos 90, o que trouxe novas e excelentes características de desempenho para as câmaras.

O Vidicon

As dimensões do Vidicon dependem do tipo de aplicação. Nas câmaras profissionais o tipo mais usado tem comprimento de 16 cm e diâmetro de 2,54 cm (Vidicon de 1 polegada). As câmaras portáteis utilizam Vidicons de 10 cm de comprimento e 1,9 cm de diâmetro (Vidicon de 3/4 polegada). Para aplicações especiais existe o Vidicon de 1,27 cm de diâmetro (Vidicon de 1/2 polegada) que foi utilizado na câmara do satélite meteorológico TIROS.

O Vidicon é constituído basicamente por uma placa-alvo e um canhão eletrônico. O funcionamento do Vidicon baseia-se no efeito da “fotocondutividade” da placa-alvo. Este efeito provoca a queda da resistência elétrica com o aumento da luz no ponto explorado pelo feixe eletrônico. A Figura 2.22 apresenta o princípio de funcionamento do Vidicon.

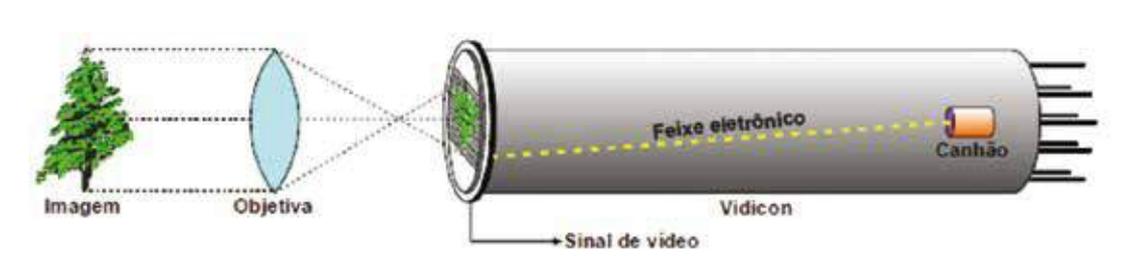


Fig. 2.22

O sistema de lentes da câmara projeta a imagem focada na superfície externa da placa-alvo do Vidicon. A superfície interna da placa-alvo está revestida com um filme electro condutivo transparente chamado NESA FILM.

O nesa film é um filme fino de óxido de estanho (SnO_2) formado por pulverização a altas temperaturas. O anel externo do Vidicon está eletricamente ligado ao nesa film formando o eletrodo por onde se extrai o sinal elétrico correspondente à imagem do ponto explorado pelo feixe eletrônico do canhão. Pelo processo de evaporação, o nesa film é revestido por uma fina camada, de 4 a 5 micros, de material fotocondutivo



como o trissulfeto de antimônio (Sb₂S₃).

Pontos de imagem com luminosidade intensa reduzem a resistência da foto camada para 2 MΩ, enquanto que nos pontos escuros a resistência da foto camada é da ordem de 20 MΩ. A placa-alvo está ligada a um potencial de + 40 volts em relação ao cátodo do canhão através de um resistor de 50 KΩ. A corrente circula do cátodo para a placa-alvo do canhão através do feixe de elétrons que tem uma resistência da ordem de 90 MΩ.

A Fig. 2.23 apresenta o circuito elétrico equivalente do Vidicon.

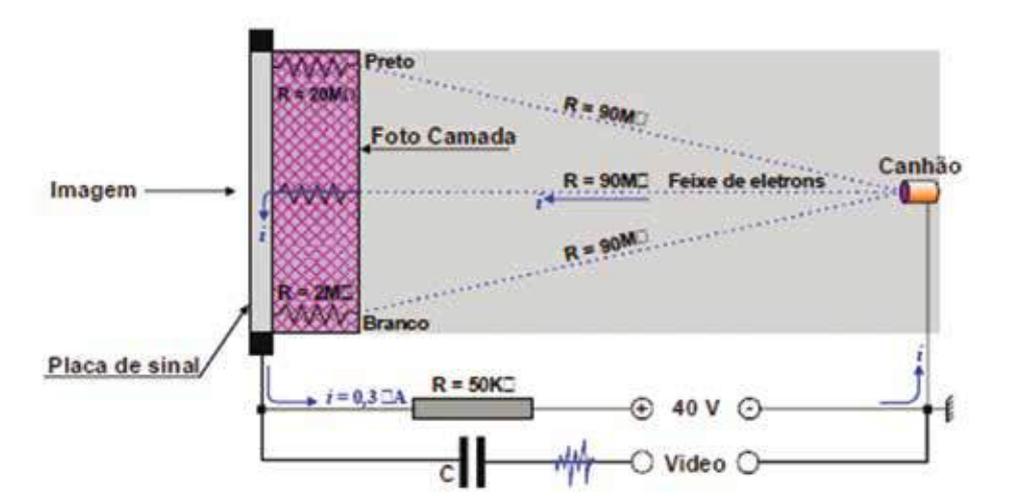


Fig. 2.23

O feixe eletrônico explorando a imagem elétrica, projetada na parte externa da foto camada, em 525 linhas, fornece uma corrente elétrica correspondente às variações de iluminação contidas em cada linha. Com exceção da placa-alvo, todo o restante do Vidicon constitui o canhão eletrônico formado por um cátodo emissor de elétrons aquecido por um filamento técnico, grade de controle do feixe de elétrons (G1), grade aceleradora (G2), com um furo central de aproximadamente 30 micros para limitar a espessura do feixe eletrônico e melhorar a resolução, grade de focalização (G3) que focaliza o feixe de elétrons sobre a placa-alvo. A grade desaceleradora (G4) é um eletrodo em forma de malha polarizada com tensão ligeiramente inferior à da grade aceleradora. A tensão da placa-alvo é muito mais baixa, da ordem de 20 a 60 volts. Dessa forma, o feixe eletrônico é desacelerado com um ligeiro desvio no percurso, de maneira a sempre incidir perpendicularmente a placa-alvo, o que assegura uma perfeita uniformidade dos sinais de saída melhorando a resolução nas áreas periféricas da imagem.



O movimento do feixe de elétrons que varre a imagem em 525 linhas é feito pelos campos magnéticos, horizontal e vertical, produzidos pelas bobinas de deflexão.

A bobina de focalização é alimentada por uma corrente contínua ajustada externamente para corrigir o foco do feixe eletrônico sobre a placa-alvo. A bobina de alinhamento é necessária para corrigir pequenas distorções na fabricação do canhão eletrônico. A corrente contínua de alimentação da bobina de alinhamento é ajustada externamente até que o feixe eletrônico fique o mais próximo possível do centro do canhão. Em câmaras portáteis, a bobina de alinhamento é frequentemente substituída por pequenos ímãs montados em anéis posicionados entre G1 e G2. A Fig. 2.24 apresenta um corte do Vidicon com as bobinas de deflexão, alinhamento e foco.

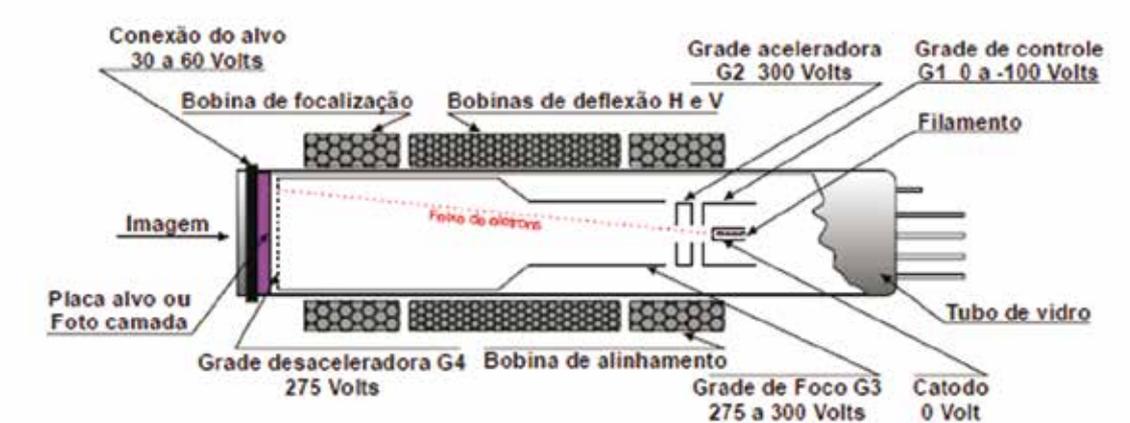


Fig. 2.24



O Plumbicon

O Plumbicon, desenvolvido pela PHILIPS holandesa, é um tubo captador praticamente igual ao Vidicon, exceto pela constituição da placa-alvo. A parte interior da placa-alvo é revestida pelo nesa film, que é transparente e está eletricamente ligado ao anel metálico externo por onde se extrai o sinal elétrico de vídeo. O nesa film é revestido por uma camada fotocondutiva constituída de três camadas de monóxido de chumbo PbO. A camada que efetivamente está em contato com o nesa film é dopada para formar um semicondutor do tipo N. A segunda camada é formada por monóxido de chumbo puro e sem dopagem formando um semicondutor intrínseco do tipo I.

A última camada, a que é varrida pelo feixe de elétrões, é dopada para formar um semicondutor do tipo P. Este sanduíche tem as mesmas características de um díodo PIN. A espessura total da camada fotocondutiva é de 15 microns, onde o monóxido de chumbo PbO é de estrutura granulada com partículas de diâmetro da ordem de 1 micron.

Na parte externa da placa-alvo, o Plumbicon tem um disco anteaurea para eliminar o contorno negro (áurea ou halo) que aparece quando a câmara focaliza uma fonte de luz intensa.

Devido à cor alaranjada da camada fotocondutiva do Plumbicon, ocorre reflexão de luz em comprimentos de onda próximos do laranja para determinado ângulo de incidência (Fig. 2.25b). A luz refletida de volta à camada fotocondutiva provoca a formação de áurea (halo) na imagem.

Um disco de vidro com um anel negro absorvente de luz impede a formação de áurea. A espessura deste disco deve ser tal que a luz refletida seja sempre projetada na camada absorvente, evitando-se assim o seu retorno à camada fotocondutiva (Fig. 2.25c).

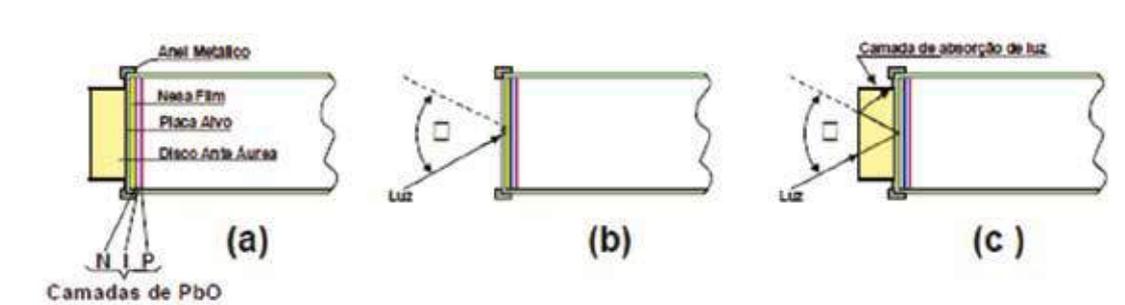


Fig. 2.25



O funcionamento do Plumbicon baseia-se no efeito da fotocondutividade como no Vidicon, diferindo apenas na maneira de produzir a variação da resistência elétrica da foto camada. No Plumbicon, cada elemento é equivalente a um condensador em série com um díodo controlado pela luz. Na ausência de luz, o díodo fica polarizado inversamente, sendo equivalente a uma resistência de valor muito alto.

Na presença de luz o díodo fica polarizado diretamente onde a resistência da camada diminui substancialmente. A placa-alvo do Plumbicon é alimentada com uma tensão positiva de 40 volts, produzindo uma corrente de escuro típica da ordem de 0,004 uA e uma corrente da ordem de 0,3 μ A na presença de luz intensa.

A camada fotossensível do Plumbicon pode ser alterada para proporcionar maior sensibilidade nas regiões do vermelho, verde e azul para tubos utilizados especificamente em câmaras a cores com três tubos. O Plumbicon é o mais sensacional tubo captador de imagens com características técnicas que o tornam bastante similar ao olho humano. As características adicionais que destacam o Plumbicon dos demais tubos são:

- O mais baixo índice de lag (imagem remanente) de todos os tubos captadores.
- Corrente de escuro extremamente baixa e nível de preto estável 3. Sensibilidade espectral similar à do olho humano.
- Característica de conversão fotoelétrica uniforme.
- Em casos de movimento rápido de um objeto altamente iluminado, o fenômeno da cauda de cometa (burnin) é pouco perceptível.
- O sinal elétrico e a corrente de escuro não são influenciados pela variação de temperatura ambiente, portanto, consegue-se excelente estabilidade a cores.

A Fig. 2.26 apresenta as curvas de sensibilidade de vários tipos de tubos captadores de imagens atualmente em uso.

O Saticon

O Saticon é um tipo de Vidicon, desenvolvido pela HITACHI do Japão, para equipar câmaras compactas de alta performance a cores, onde a foto camada é formada por uma camada de Selênio-Arsênico-Telúrio colocada entre o nesa film e a camada fotocondutiva transparente de Sb₂S₃ (trissulfeto de antimônio).



A camada fotocondutora consiste de um filme especial de vidro chalcogenido Se-As-Te. Para obter alta sensibilidade do vermelho, o telúrio é colocado bastante próximo do nesa film (SnO_2) mas com afastamento suficiente para evitar a rutura da barreira e alguma tendência de recristalização.

A grande vantagem do Saticon é ter a resolução independente do comprimento de onda da luz incidente. Devido à natureza não cristalina da foto camada, muito pouca luz é dispersada através da camada fotocondutiva, aumentando assim a resolução da imagem.

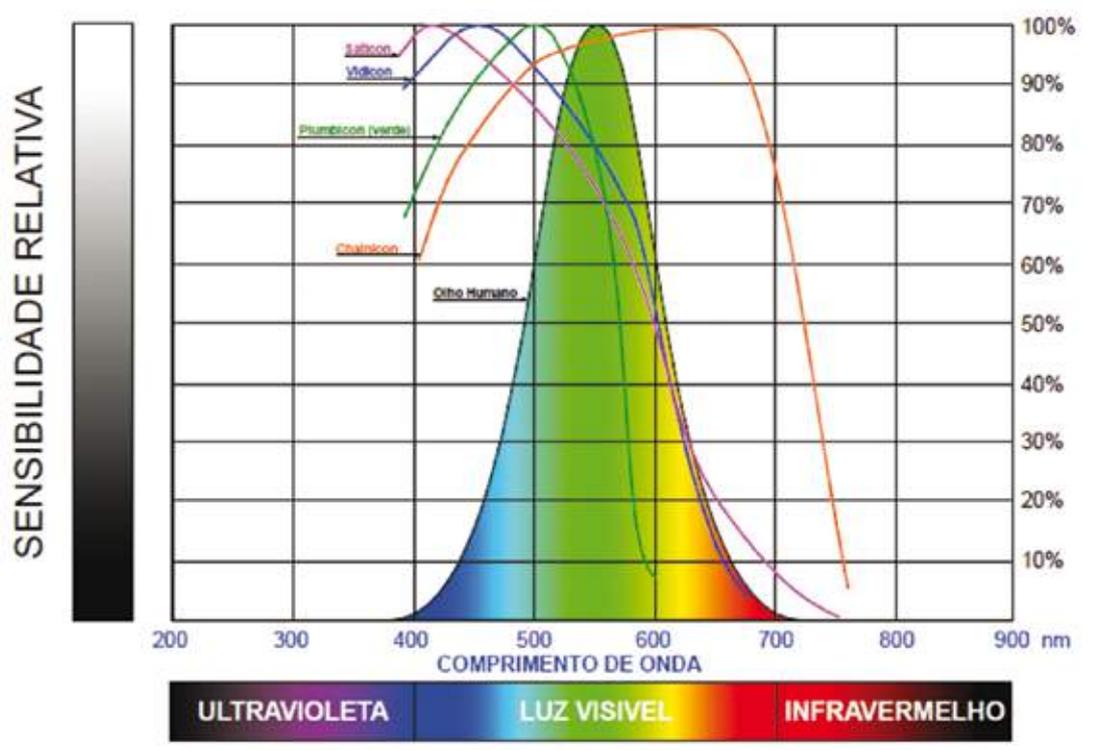


Fig. 2.26

Isto não ocorre, por exemplo, no Plumbicon, onde a camada foto condutora de estrutura cristalina dispersa luz vermelha e verde no interior da camada, causando perda de resolução na imagem. A Fig. 2 .27 ilustra a estrutura da placa-alvo do Saticon.



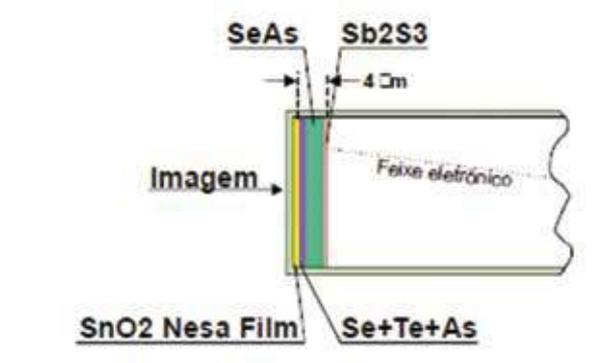


Fig. 2.27

O Saticon apresenta boa sensibilidade espectral na região do azul e nenhuma para o infravermelho, como mostra a Fig. 2.26, que também apresenta as curvas do Plumbicon para efeito de comparação.

O lag (imagem remanente) do Saticon é mais alto que nos demais tubos. Esta deficiência colocaria o Saticon fora de competição se não houvesse uma maneira de reduzi-lo. O lag do Saticon é causado principalmente pela capacitância armazenada na foto camada em série com a resistência efetiva do feixe eletrônico. O método mais eficiente para reduzir o lag é o uso de luz de polarização (BIAS LIGHT). Esta técnica coloca luz uniforme na camada foto condutora para reduzir a corrente de escuro.

A luz de polarização, empregada no Saticon, resolve com eficiência os problemas de lag, devido a boa sensibilidade fotocondutiva do tubo, além disso, não introduz nenhuma não uniformidade do nível de preto da imagem. A fig. 2.28 mostra a aplicação das luzes de polarização que é usada na maioria das modernas câmaras de TV equipadas com Saticons ou mesmo com Plumbicons.

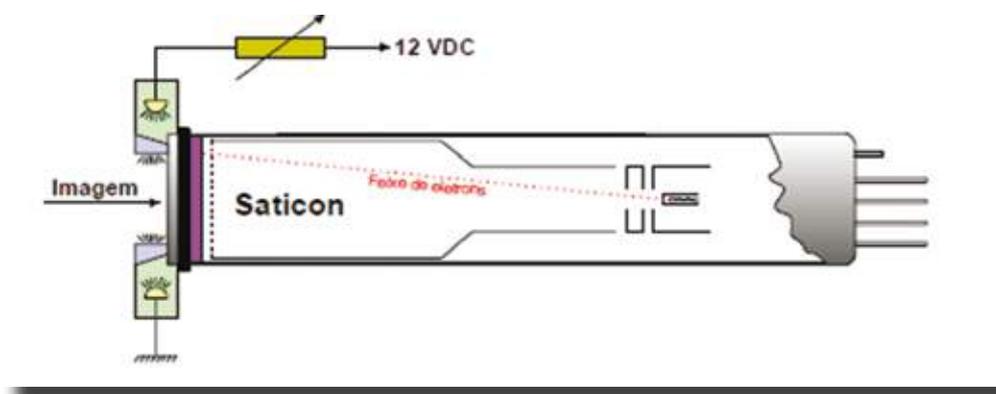


Fig. 2.28



O Chalnicon

O Chalnicon, desenvolvido pela TOSHIBA do Japão, é um tubo captador de imagens da família dos Vidicons, com placa-alvo formada por multicamadas. A superfície fotocondutiva colocada na parte interna da placa-alvo é formada pelo nesa film (SnO_2) que está eletricamente ligado ao anel externo, por onde se extrai o sinal de vídeo, e por um filme fotocondutivo transparente composto de três camadas. A maior camada é composta de seleneto de cádmio (CdSe). O CdSe é depositado sobre o nesa film por processo de evaporação a altas temperaturas. A superfície externa do CdSe é então oxidada para formar o trióxido de selênio e cádmio (CdSeO_3). Além disso, também pelo processo de evaporação a quente, é depositada uma camada de trissulfeto de arsênico (As_2S_3) para formar a superfície de varredura do feixe eletrônico.

O Chalnicon é fabricado com diâmetro de 18 mm, possui alta sensibilidade, baixa corrente de escuro, alta resolução e nenhum problema de cauda de cometa (burn-in). Quando operado com luz de polarização fornece um sinal de vídeo satisfatório, mesmo para baixos níveis de iluminação, sem a ocorrência de lag ou burnin. A Fig.2.29 apresenta a característica multicamada da placa-alvo do Chalnicon.

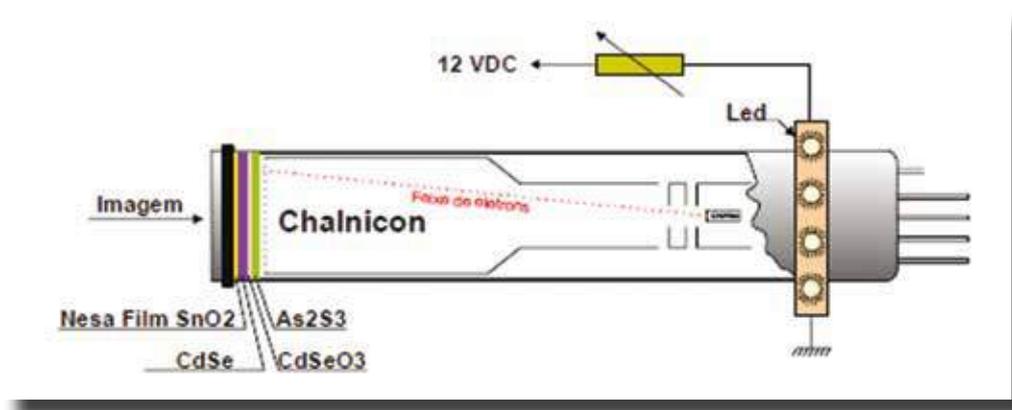


Fig. 2.29.



O Newvicon

O Newvicon da MATSUSHITA japonesa é outro tubo captador de imagens idêntico ao Vidicon, exceto pela constituição da placa-alvo. Esta placa tem estrutura em multicamadas, consistindo de um filme transparente e condutivo, nesa film (SnO_2), camada ZnSe, camada de solução sólida ($\text{ZnxCd}_{1-x}\text{Te}$ (In)) e camada de trissulfeto de antimônio (Sb_2S_3), montadas na superfície interna da placa-alvo. A Fig. 2.30 mostra a formação da multicamada.

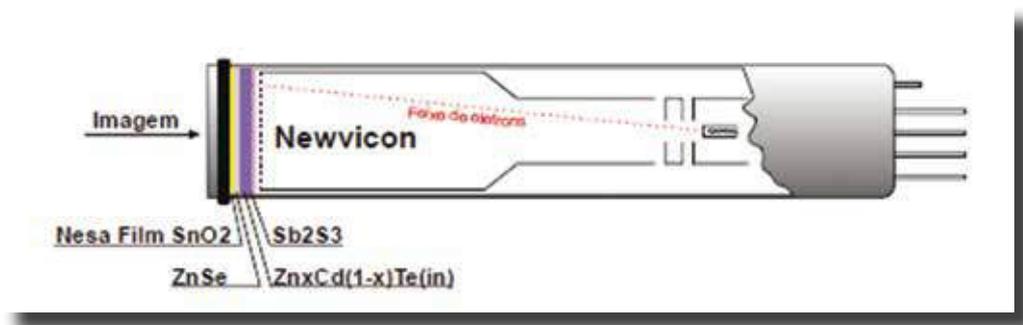


Fig. 2.30

O filme transparente condutor nesa film está eletricamente em contato com o anel externo para a extração do sinal elétrico de vídeo. A camada ZnSe é um semicondutor do tipo N funcionando como um substrato que ajuda a transmissão da luz e melhora a cristalização da camada de solução sólida, formando ao mesmo tempo uma heterojunção. A camada de solução sólida $\text{ZnxCd}_{1-x}\text{Te}$ (In) é um semicondutor do tipo P, esta combinação de elementos produz uma placa-alvo de alta sensibilidade sobre uma ampla faixa do espectro luminoso visível. A fina camada de trissulfeto de antimônio Sb_2S_3 é utilizada para reter o feixe de elétrons impedindo-o de penetrar nas outras camadas, minimizando desta forma as imagens residuais.

O Newvicon possui a mais alta sensibilidade espectral dentre todos os demais tubos captadores de imagens da família dos Vidicons. A sensibilidade espectral do Newvicon atinge cerca de vinte vezes mais que a média dos Vidicons. Possui boa resolução e é quase isento dos efeitos de burn-in e blooming (mancha com excesso de iluminação). É o mais apropriado tubo para aplicações em câmaras que requerem alta sensibilidade, como por exemplo, as câmaras portáteis para tomadas de cenas externas onde muitas vezes a iluminação é deficiente.



O CCD - Dispositivo de Carga Acoplada

Introdução

O CCD (Charge Coupled Device) é um dispositivo de estado sólido usado para a captação de imagens.

É constituído basicamente por minúsculos condensadores, construídos na tecnologia MOS (Metal-Óxido-Silício), que funcionam como elementos fotossensíveis montados em linhas e colunas, formando um mosaico na proporção 4 X 3. O mosaico ou superfície fotossensível tem 4,48 mm de altura (V) por 6,0 mm de largura (H). Esta superfície equivale à mesma área de varredura de um tubo convencional da família dos Vidicons de 18 mm (3/4 polegada).

A Fig. 2.31 ilustra a constituição básica do CCD.

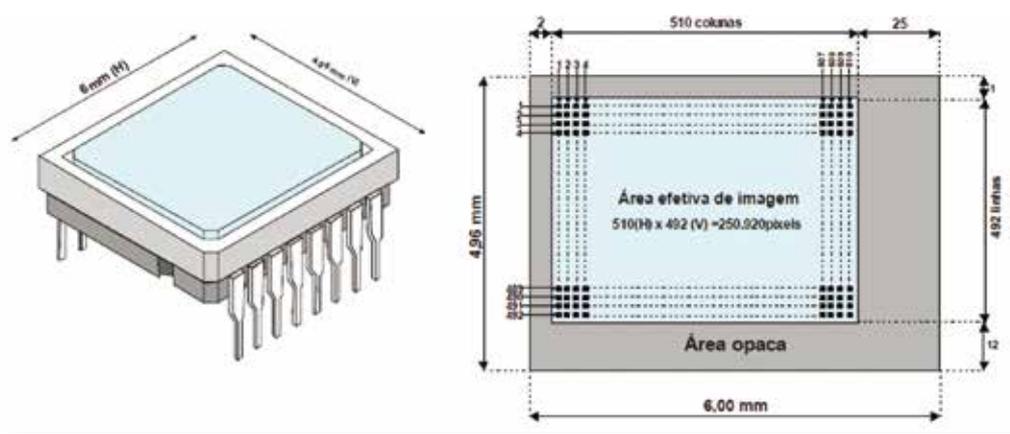


Fig. 2.31

Cada condensador funciona como um minúsculo elemento que gera carga elétrica proporcional à energia luminosa incidente. Este foto condensador faz parte de uma célula unitária denominada de pixel, tem dimensões muito reduzidas da ordem de 7,5 micros de altura (V) e 9,6 micros de largura (H). São distribuídos no mosaico em forma de linhas e colunas.

O CCD Sony ICX254AL, por exemplo, possui 492 linhas e 510 colunas, o que dá um total de 250.920 pixels ou elementos fotossensíveis. Apresenta características excepcionais como: alta sensibilidade, baixa corrente de escuro, boa relação S/N na região de luz visível e região de infravermelho. Utiliza da tecnologia denominada Exview HAD CCDTM.



Como nos tubos Vidicons, a área fotossensível do CCD deve ser varrida, de forma que cada foto condensador/pixel seja amostrado uma vez em cada quadro. Também, neste caso, o quadro é formado por dois campos, par e ímpar. A frequência de amostragem dos pixels é de 60 Hz por causa da exploração intercalada, significando que os pixels das linhas ímpares são amostrados no campo ímpar, e os pixels das linhas pares, no campo par.

O CCD possui sensibilidade muito melhor quando comparados com os melhores tubos da família dos Vidicons. Quando montado numa câmara monocromática, pode fornecer $0,13 \mu\text{A/lux}$, com iluminação de cena de apenas 1,0 lux, e uma abertura de lente de $f\ 1,4$ sem filtro infravermelho. A resposta espectral é significativamente mais estendida para a região do infravermelho, como mostrado na Fig. 2.32.

Devido á transferência quase instantânea da carga elétrica, o efeito lag é praticamente inexistente, mesmo que um objeto de luz intensa seja focalizado por um longo tempo. Os CCDs são isentos de deformações geométricas da imagem, que nos tubos convencionais são causadas por distorções no sistema de varredura que move o feixe eletrônico na exploração da foto camada.

O CCD, por ser um dispositivo no estado sólido, traz muitas vantagens em relação aos tubos convencionais, tais como: tamanho reduzido, baixo consumo, imagem quase instantânea, não necessita de tempo de aquecimento, alta confiabilidade, vida útil longa, alta resistência a vibrações e não sofre influência de campos elétricos e magnéticos externos.

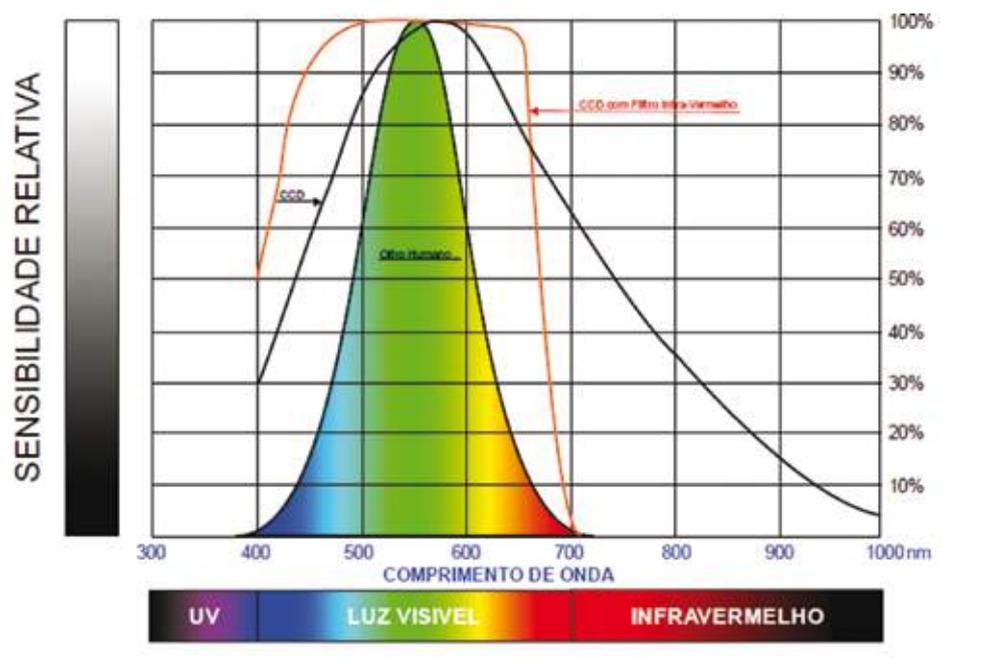


Fig. 2.32



Princípio de Funcionamento

O CCD é um dispositivo semiconductor que armazena e transfere as cargas elétricas, geradas pela incidência de energia luminosa nos foto condensadores, em três fases:

1 - **CONVERSÃO FOTOELÉTRICA** - A luz atingindo o foto condensador, através do eletrodo transparente de polissilício, gera carga elétrica proporcional à potência luminosa na camada de depleção. (Fig. 2.33a.)

2 - **ARMAZENAMENTO DE CARGA** - Aplicando uma tensão positiva no eletrodo do foto condensador é criado um poço de potencial na camada de silício tipo P, localizada abaixo do eletrodo. (Fig. 2.33b.)

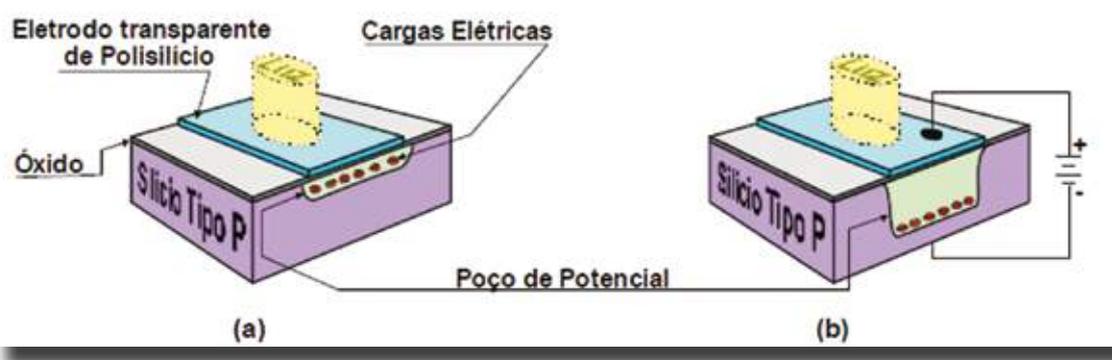


Fig. 2.33.

3 - **TRANSFERÊNCIA DE CARGA** - A profundidade do poço de potencial depende da tensão aplicada nos eletrodos, portanto, quanto maior a tensão aplicada mais profundo será o poço de potencial.

Quando os foto condensadores adjacentes são submetidos a tensões diferentes nos seus eletrodos, poços de potencial de diferentes profundidades aparecem. Caso existam cargas armazenadas nos condensadores, as cargas do poço de potencial menos profundo deslocam-se para o mais profundo. Esta é a técnica utilizada para a transferência das informações de imagem armazenadas nos foto condensadores do CCD.

A separação física entre pixéis adjacentes deve ser extremamente pequena, da ordem de alguns micros, para que a transferência de carga seja feita com eficiência.

Para melhor ilustrar o fenômeno da transferência de carga, vamos supor um pixel



composto de três eletrodos: T1, T2 e T3, como mostrado na Fig. 2.34.

No tempo t_0 , o eletrodo T1 está submetido à tensão V , e os demais, T2 e T3, com tensão de 0 volt.

Neste instante, é formado um poço de potencial sob o eletrodo T1, que tem armazenado uma certa quantidade de carga elétrica.

No tempo t_1 , o eletrodo T2 é submetido também à tensão V , abrindo-se assim um novo poço de potencial sob o terminal T2, com a mesma profundidade do poço de potencial de T1.

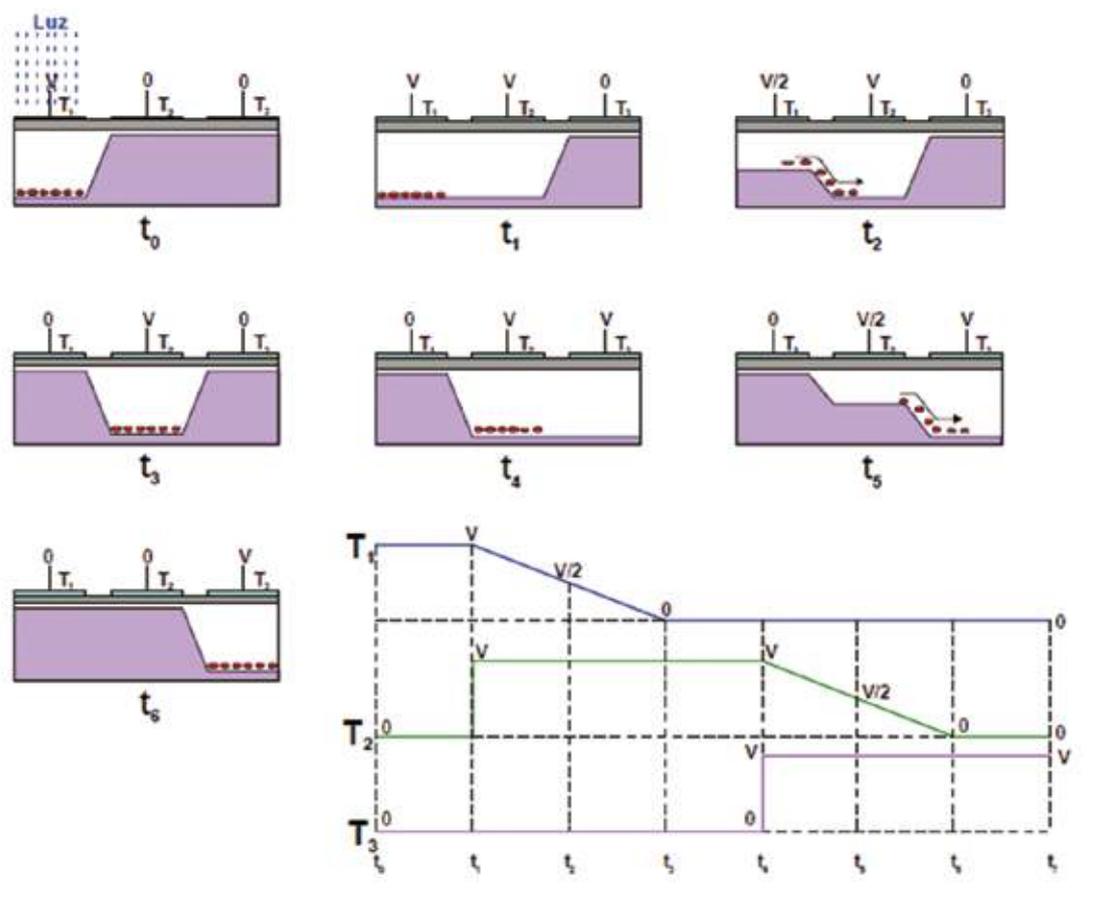


Fig. 2.34

No tempo t_2 , a tensão no eletrodo T1 cai para $V/2$, o que reduz a profundidade do poço de potencial à metade. Desta forma, as cargas elétricas armazenadas no poço de potencial sob T1 escoam para o poço de potencial sob T2.

No tempo t_3 , o eletrodo T1 vai para a tensão 0, e toda a carga anteriormente contida em T1 fica armazenada no poço de potencial sob T2.

No tempo t_4 , o eletrodo T3 é submetido á tensão V , criando um novo poço de potencial sob T3.

No tempo t_5 , a tensão no eletrodo T2 cai para $V/2$, permitindo o escoamento das cargas



de T2 para o poço de potencial aberto sob T3.

No tempo t_6 , os eletrodos T1 e T2 estão na tensão 0, e as cargas elétricas estão armazenadas no poço de potencial sob T3, completando-se assim a transferência das cargas do poço de potencial de T2 para T3.

No gráfico da Fig. 2.34, estão apresentadas as formas de onda das tensões aplicadas nos eletrodos T1, T2 e T3.

Processos de Leitura

O processo de leitura das informações de imagem, acumuladas na forma de cargas elétricas nos pixéis, combina técnicas analógicas e digitais. A carga acumulada em cada pixel é uma função analógica da luz incidente durante o período de amostragem de 1/60 segundos. A transferência das cargas elétricas, armazenadas em cada pixel para o terminal de saída do CCD, formando o sinal de vídeo, é feita sequencialmente, no tempo, por técnicas de transferência digital.

Existem três métodos para se efetuar a leitura das informações acumuladas nos pixéis. No primeiro, os pixéis são endereçados individualmente por códigos digitais, utilizando-se um sistema de coordenadas X e Y. No segundo, as cargas elétricas de cada pixel são transferidas para uma seção de memória de estrutura digital durante o intervalo de apagamento vertical. Técnicas de leitura de memória são usadas para formar o sinal de vídeo. No terceiro método, denominado de transferência interlinhas, as cargas de cada pixel, formando uma linha horizontal, são transferidas para uma coluna condutora vertical. A escolha de qual linha deve ser transferida para a coluna vertical é determinada pelo registrador de deslocamento vertical, mostrado no lado direito da Fig. 2.35.



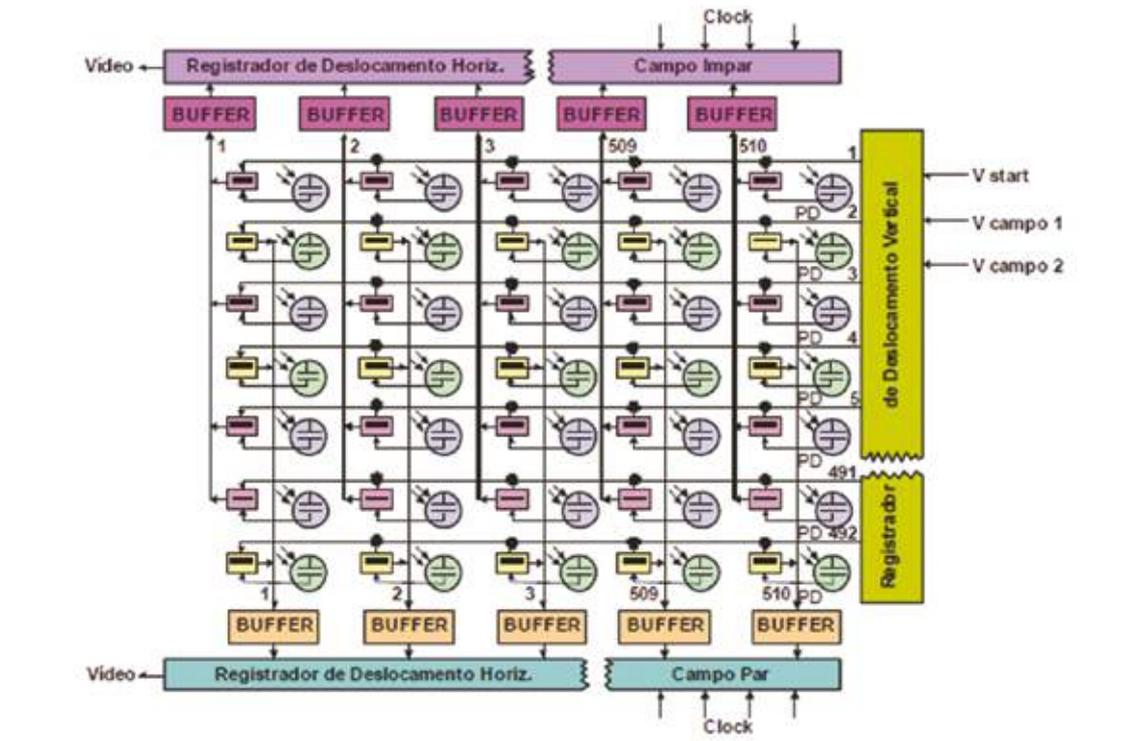


Fig. 2.35

As chaves digitais SW são agrupadas para formar uma linha horizontal. Cada linha de chaves SW é acionada durante o intervalo de apagamento horizontal, transferindo simultaneamente dos PDs todas as informações de imagem, na forma de cargas elétricas aos buffers do registrador de deslocamento horizontal, para uma armazenagem temporária. Desta forma, as cargas correspondentes à linha horizontal explorada são enviadas ao registrador de deslocamento horizontal na forma paralela. Durante o tempo de varredura horizontal da linha visível, um sinal de clock de alta frequência transfere individualmente, na forma sequencial, as cargas correspondentes às informações de imagem de cada pixel para fora do registrador de deslocamento horizontal, formando o sinal de vídeo. Este procedimento é repetido linha a linha para a formação de cada campo. O sinal de vídeo, assim formado, apresenta uma forma de onda em degraus, onde a duração do degrau depende da frequência do clock utilizado. Um filtro passa-baixa deve ser adicionado para reconstituir o sinal de vídeo na forma analógica. A Fig. 2.36 apresenta as formas de onda do sinal de vídeo na saída do registrador de deslocamento, antes e depois do filtro passa-baixa.



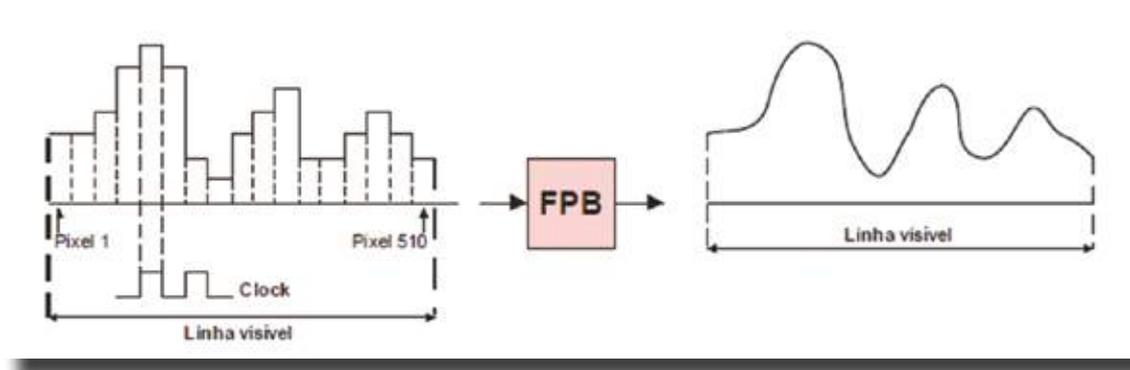


Fig. 2.36.

Mecanismo de Transferência do Registro Horizontal para Saída

A Fig. 2.37 apresenta o circuito equivalente do estágio de saída do CCD. A chave SW é acionada por um pulso externo para se obter o nível de pré-carga no condensador C, que opera como difusor de flutuação de alta impedância. Com a chave SW ligada, o condensador C é carregado com a tensão V_1 para atingir o nível de pré-carga. Quando SW é desligada, ocorre a difusão flutuante em alta impedância no condensador C. Na sequência, a carga elétrica correspondente à informação de imagem é transferida para C pelo registrador de deslocamento horizontal.

A carga elétrica do condensador C é convertida em tensão numa razão de $V = Q/C$, de acordo com a capacidade equivalente da difusão flutuante. Os pontos de baixa iluminação geram níveis correspondentemente baixos de carga elétrica, provocando baixa tensão de vídeo na saída. Da mesma forma, pontos de alta iluminação geram níveis elevados de carga elétrica armazenada, correspondendo na saída uma tensão de vídeo proporcionalmente maior.

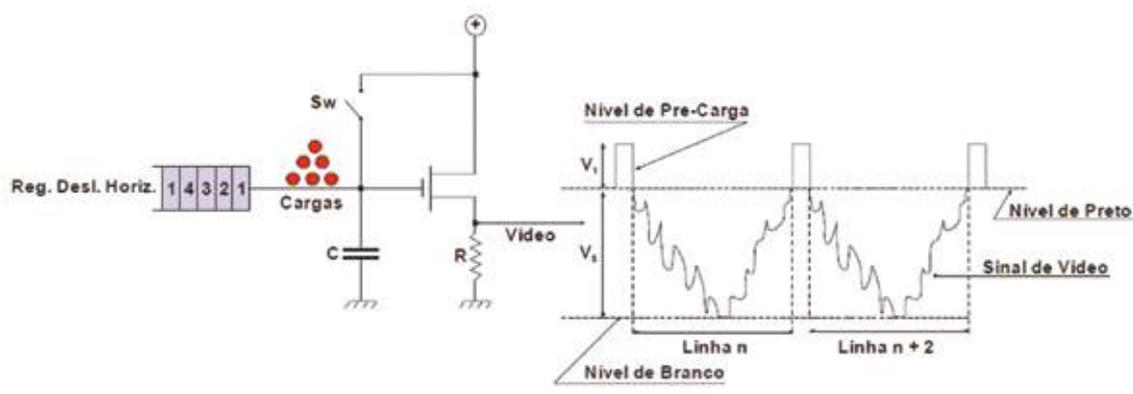


Fig. 2.37



Espectro de Frequências do Sinal de Vídeo Composto

Pelo que foi visto nos itens anteriores constata-se que as transições de luminosidade provocadas pela varredura horizontal geram componentes de frequências elevadas que ocupam a faixa de 0 a 4,32 MHz. A Fig. 2.40 representa o espectro de frequências do sinal de vídeo composto, de uma imagem estática, na saída da câmara.

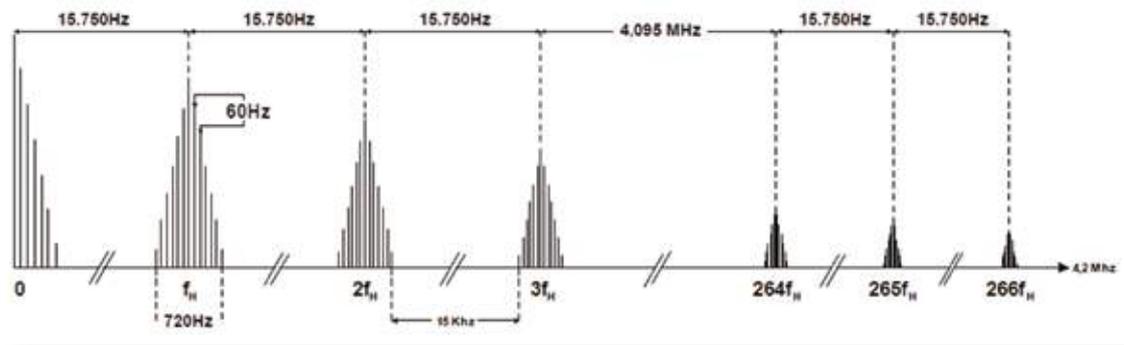


Fig. 2.40

As componentes cujas frequências f_H , $2f_H$, $3f_H$, $4f_H$ $266f_H$ (múltiplos inteiros da frequência de varredura horizontal) são denominadas de principais, as componentes que se agrupam em torno das principais denominam-se satélites. O número de satélites significativos agrupados em torno de cada principal não ultrapassa a 12. O espectro é descontínuo e discreto, com as componentes agrupando-se em forma de pacotes e com as amplitudes decrescendo com o aumento da frequência. Os pacotes de frequência mais baixa reproduzem os maiores detalhes da imagem, enquanto os de frequência mais alta reproduzem os detalhes finos da imagem.

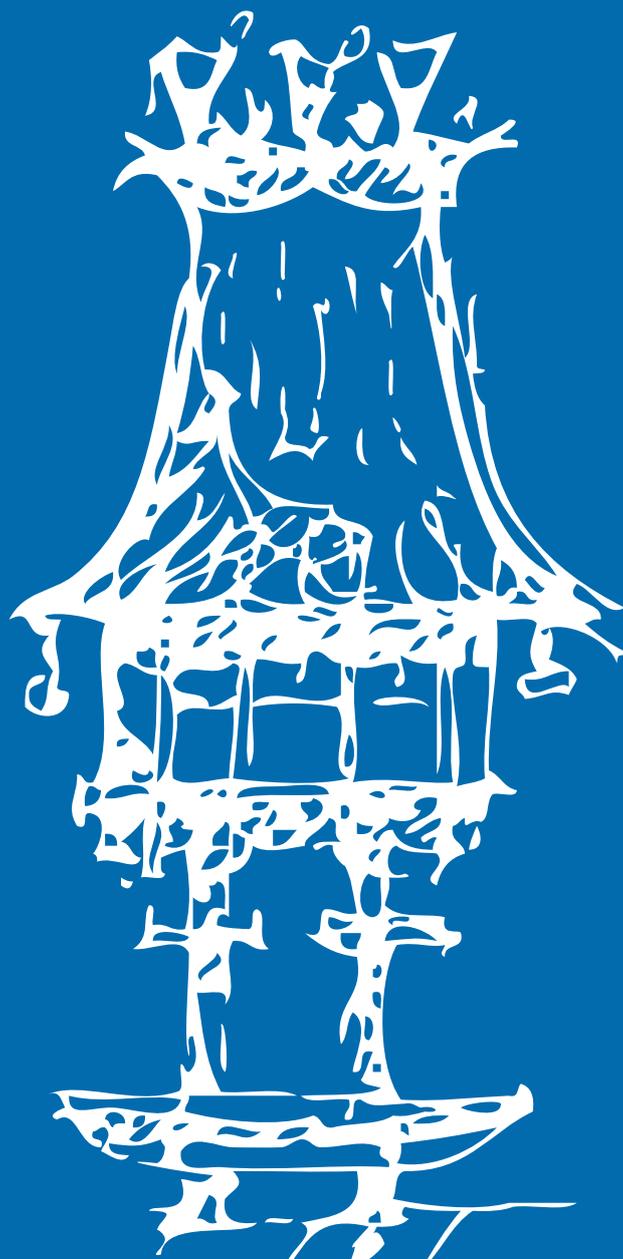
O espectro do sinal de vídeo composto possui grandes vazios sem nenhuma informação, o que caracteriza uma baixa ocupação.

Uma imagem em movimento provoca a modulação em amplitude de todas as componentes das principais e satélites, o que faz aparecer faixas laterais superiores e inferiores em torno de cada componente.



Portanto, o máximo espaço destinado às outras componentes dentro de um pacote é de $1/2 f_v$. Movimentos da imagem que dão origem a deslocamentos das componentes maiores que $1/2 f_v$ provocam a interpenetração das faixas laterais causando uma confusão espectral, o que provoca o aparecimento de sinais espúrios e vibrações na imagem. Entretanto, em tomadas de cenas normais, este tipo de ocorrência é estatisticamente pouco provável.







TV Cores

Módulo 6



Apresentação

Este módulo tem carácter teórico-prático por isso deverá decorrer em ambiente laboratorial / Oficinal de modo a que os alunos possam analisar, ensaiar e ajustar os equipamentos de TV cores estudados.

Esta disciplina tem como intenção tornar o aluno apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos desta e das outras disciplinas técnicas e também na comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem deste módulo de TV a Cores leva-nos a um melhor entendimento dos vários tipos de televisões e suas diferentes tecnologias existentes no mercado assim como a melhor escolha deste equipamento para que se ajuste às crescentes mudanças disponíveis pelas diversas marcas.

Este módulo requer um conhecimento básico de circuitos eletrónicos e respetiva análise e compreensão desses circuitos.

Objetivos de aprendizagem

- Compreender os processos físicos relacionados com a luz e a cor;
- Conhecer as características do sistema PAL e diferenças relativamente aos sistemas NTSC e SECAM.
- Identificar e descrever o funcionamento dos circuitos básicos de um recetor de TV.

Âmbito de conteúdos

- Princípios Básicos de TV a Cores.
- Recetor de TV Cores.



TV a Cores

Introdução

O Sistema NTSC foi o primeiro sistema de televisão a cores a entrar em funcionamento. Apesar dos problemas iniciais de instabilidade de cor ter incentivado o desenvolvimento dos sistemas SECAM (francês) e PAL (alemão), com a eletrônica do estado sólido este problema praticamente desapareceu.

Devido a abrangência do mercado NTSC (EUA, Canadá, México e Coreia) o custo dos equipamentos é significativamente menor que dos outros sistemas de mercados numericamente menores. Portanto, o Sistema NTSC é estudado em detalhe como base para os sistemas de televisão a cores analógicos. Os sistemas SECAM e PAL, na verdade são modificações do Sistema NTSC mantendo-se o mesmo princípio de funcionamento, são estudados principalmente pelas diferenças com o Sistema NTSC.

Histórico

Logo após a introdução da televisão a preto-e-branco começaram os estudos para o desenvolvimento da televisão a cores. Historicamente a televisão a cores começou experimentalmente nos Estados Unidos em 1949 com dois sistemas diferentes propostos pela RCA (Radio Corporation of America) e CBS (Columbia Broadcasting System). O sistema da RCA era totalmente eletrônico e compatível com a televisão monocromática existente. O sistema CBS usava um disco com filtros coloridos girando na frente do tubo da câmara e do recetor, onde as informações de cores eram produzidas num padrão sequencial de vermelho, verde e azul, com frequências de exploração diferentes e não compatíveis com o padrão de televisão monocromático.

Em 1951 o FCC (Federal Communication Commission) aprovou provisoriamente o sistema CBS devido à sua excelente reprodução a cores. Entretanto, a sua operação comercial foi um fracasso e teve pouca duração, devido aos problemas mecânicos e pela incompatibilidade com o padrão preto-e-branco existente.

Em 1953 a NTSC (National Television System Commíttee) formado pelo IEA (Electronic Industríes Associatión) estabeleceu as especificações para o sistema de televisão a



cores americano baseado no sistema da RCA, sendo totalmente eletrônico e compatível com a televisão monocromática, de tal modo que o recetor a cores pudesse reproduzir normalmente imagens geradas a cores e em preto-e-branco. O sistema NTSC começou a funcionar regularmente em janeiro de 1954 nos Estados Unidos.

Na Europa, a televisão a cores surgiu após a introdução do sistema NTSC nos Estados Unidos, com dois sistemas: o SECAM (Sequentiel a Mémoire) desenvolvido na França por Henri de France a partir de 1956 e o PAL (Phase Alternation by Line) desenvolvido por Walter Bruch da Telefunken alemã em 1961. O sistema PAL foi adotado pela Alemanha e pela maioria dos países europeus a partir de 1967. O sistema SECAM é utilizado na França e nos países do leste europeu.

Formação de Imagens de Tv a Cores

Todos os dispositivos de captação de imagens, quer sejam da família dos vidicons ou CCD's, não são capazes de distinguir cores, captam apenas as informações correspondentes a iluminação da imagem na forma de diferentes tonalidades de cinza.

Devido a esta limitação, as câmaras a cores devem ser equipadas com três dispositivos de captação (3 CCDs) conforme apresentado na Figura 1.1.

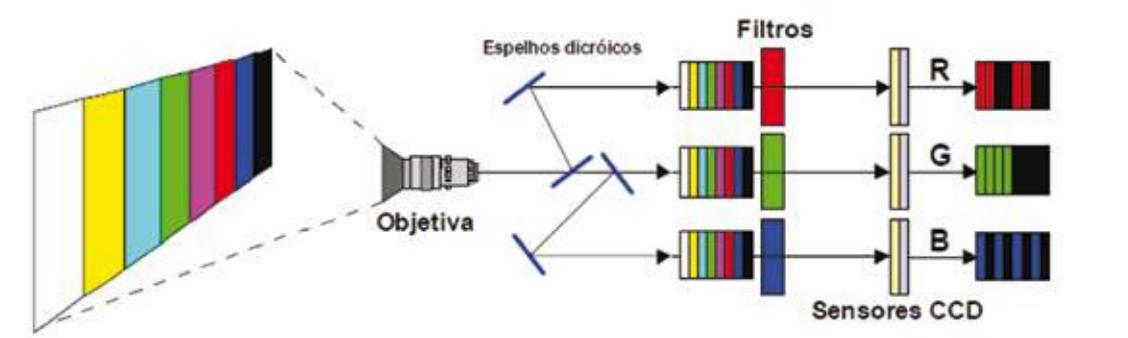


Fig. 1.1

A imagem é decomposta em três imagens iguais por um sistema de espelhos ou prismas dicróicos, atingindo os sensores através de filtros ópticos para as cores vermelho, verde e azul. Desta forma, cada filtro só deixa passar as informações de imagem que contém o matiz do filtro correspondente, ou seja, o filtro vermelho passa para o CCD R apenas as informações do matiz vermelho da imagem e assim sucessivamente para os filtros



verde e azul. Portanto, embora todos os dispositivos captadores de imagens não sejam sensíveis a cores, as informações da imagem que cada CCD recebe através dos filtros correspondem respectivamente aos detalhes de imagem nas cores vermelho, verde e azul.

O sinal elétrico de saída de cada CCD, se combinados em um circuito soma, passando antes pela correção gama, deve produzir um sinal de luminância com as mesmas características do sinal produzido por uma câmara monocromática. Este sinal fornecido a um cinescópio monocromático produz uma imagem idêntica a que seria produzida se a mesma cena estivesse sendo explorada por uma câmara monocromática. (Ver Fig. 1.5.) A corrente elétrica correspondente às informações de imagem na saída de cada CCD contém componentes com frequências da ordem de 4,2 MHz, portanto, não é difícil de se concluir que para a transmissão de imagens a cores através das três cores primárias R, G e B é necessária uma faixa de 12,6 MHz ($3 \times 4,2 \text{ MHz} = 12,6 \text{ MHz}$). Isto equivale a ocupar três canais de televisão monocromática, com cada um deles transmitindo os sinais R, G e B, usando os mesmos processos de varredura e sincronização já estudados para a televisão monocromática. Dentro do mesmo raciocínio, o recetor seria uma síntese de três recetores monocromáticos, excitando cada um deles, um dos canhões do cinescópio tricromático correspondente à cor transmitida.

Embora de concepção muito simples, este sistema não tem aplicação prática devido à largura de faixa excessiva e pela incompatibilidade com o sistema monocromático. Qualquer sistema de televisão a cores deve satisfazer as seguintes condições básicas:

- Transmitir os sinais R, G e B dentro do mesmo canal sem perda significativa da qualidade da imagem, com os mesmos processos de varredura e sincronismo do sistema monocromático.
- A compatibilidade entre os sistemas monocromático e cromático deve ser tal que uma imagem gerada a cores possa ser reproduzida simultaneamente por recetores a cores e preto-e-branco. A situação inversa também deve ser verdadeira, uma imagem gerada em preto-e-branco deve ser reproduzida de maneira idêntica nos recetores cromáticos e monocromáticos.

O diagrama da Fig. 1.2 representa de maneira bastante simplificada um sistema compatível de televisão a cores.



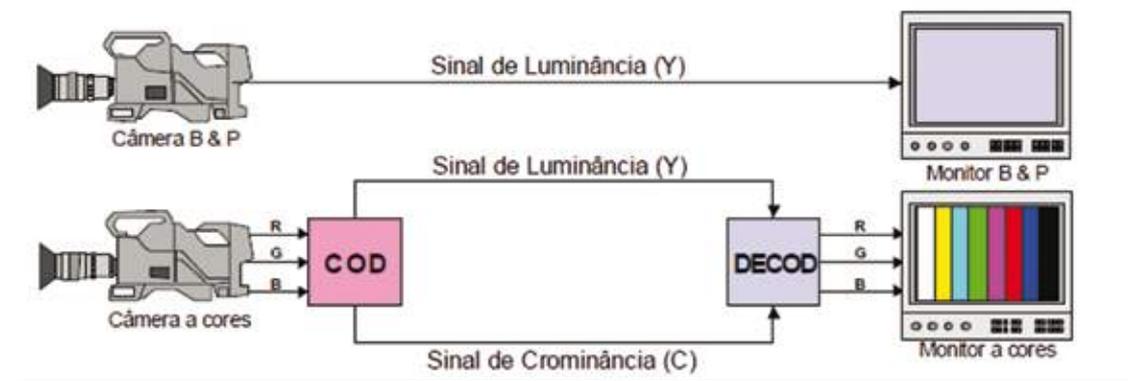


Fig. 1.2

Os sinais R, G e B devem ser codificados para formar dois sinais diferentes: o sinal de Luminância Y e o sinal de Crominância C. O sinal de luminância Y contém apenas as informações de luminância da imagem variando do branco ao preto em tonalidades de cinza equivalente. Este sinal é o que deve ser aproveitado pelo recetor monocromático na reprodução em preto-e-branco de uma imagem a cores, atendendo assim a um dos critérios de compatibilidade. O sinal de crominância contém as informações do matiz e saturação das cores. No caso do recetor monocromático compatível, o sinal de crominância não é aproveitado. No recetor cromático os sinais Y e C são decodificados para reconstituir os sinais R, G e B que alimentam a tela tricromática (TRC, Plasma ou LCD).

Sinal de Luminância

As informações luminosas de uma cena explorada por uma câmara de televisão a cores são transformadas em três sinais elétricos com tensões proporcionais às intensidades das luzes nas cores primárias, vermelho, verde e azul. Os sinais elétricos R, G e B são corrigidos do fator gama e amplificados de maneira conveniente. As câmaras de televisão a cores são ajustadas de forma que os sinais elétricos correspondentes às três cores primárias, R, G e B, tenham um mesmo valor em tensão elétrica quando a imagem explorada for uma superfície branca de reflexão ideal, iluminada por uma luz branca padrão de intensidade suficiente. As câmaras antigas equipadas com sensores da família dos vidicons eram ajustadas de forma que os valores máximos das tensões de saída dos amplificadores R, G e B sejam 1 volt.



A Fig. 1.3 ilustra esta situação.

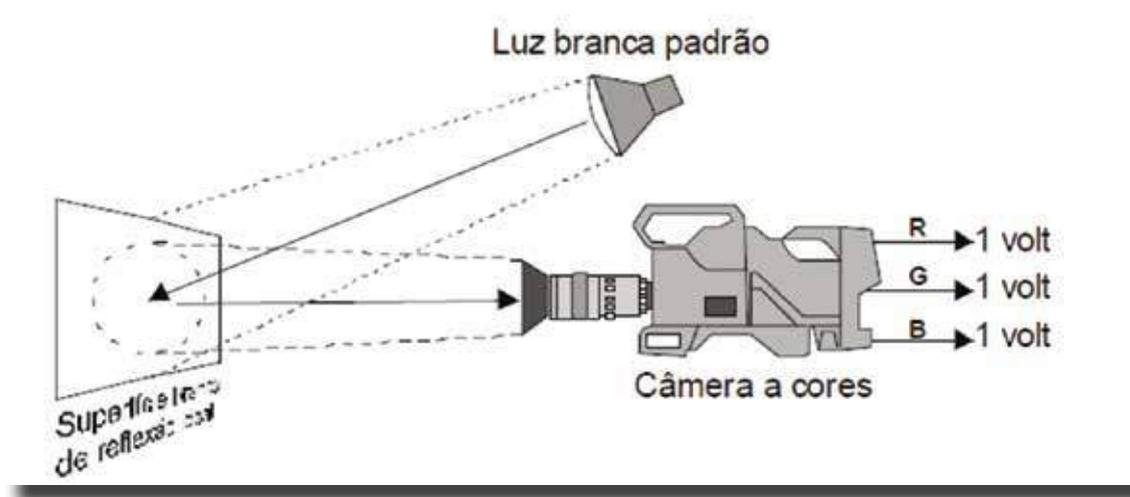


Fig. 1.3

Desta forma, os sinais elétricos das cores primárias R, G e B a serem transmitidos podem assumir qualquer valor entre 0 e 1 volt. O valor zero significa ausência de cor e o valor 1 volt significa para cada cor primária o nível de saturação máximo.

Para garantir a compatibilidade entre televisão a cores e preto-e-branco é necessário que o sinal de luminância Y, contendo apenas as informações de luminosidade da imagem em tons de cinza, seja transmitido separadamente das informações de cores, para acionar os recetores monocromáticos. O sinal de luminância é formado pelas três cores primárias na seguinte expressão:

$$Y = aR + bG + cB$$

Os coeficientes a, b e c levam em conta as diferentes sensibilidades do olho humano na percepção das cores primárias R, G e B. A Fig. 1.4 apresenta a curva de sensibilidade do olho humano em função do comprimento de onda e da sensibilidade máxima em 555 milimicrons, tomada como referência unitária.



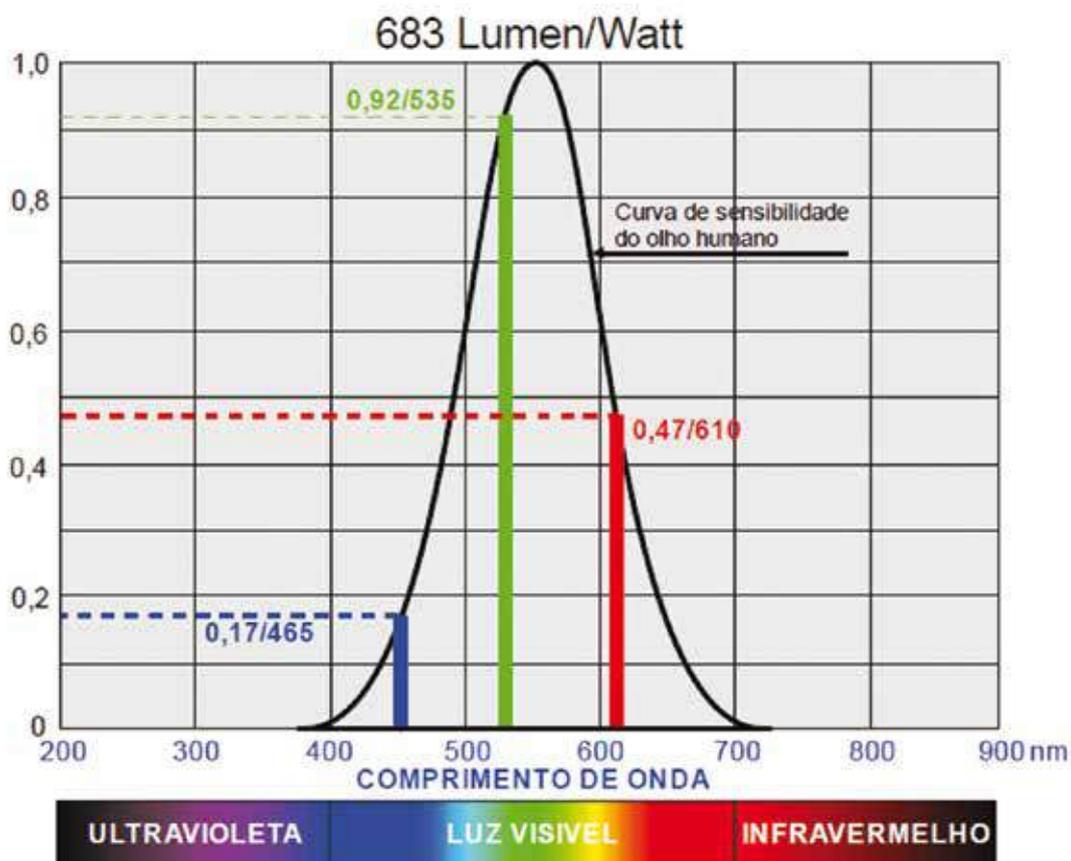


Fig. 1.4

As três linhas verticais indicam os graus de sensibilidade luminosa válidos para as três cores primárias produzidas pelos materiais luminescentes (fósforo) do tubo de imagem (CRT) do receptor a cores. Do gráfico da Figura 1.4 obtém-se:

Matiz	Comp. de onda	Grau de sensibilidade
Vermelho (R)	610 milimicros	0,467 ou 46,7%
Verde (G)	535 milimicros	0,916 ou 91,6%
Azul (B)	470 milimicros	0,178 ou 17,8%

Os coeficientes da equação $Y = aR + bG + cB$ devem atender à condição $a+b+c=1$ volt para produzir o sinal de luminância Y. Portanto, os valores de a, b e c são obtidos da relação:

$$a = 0,467/1,561 = 0,29916 = 0,299$$

$$b = 0,916/1,561 = 0,58680 = 0,587$$



$$c = 0,178/1,561 = 0,11403 = 0,114$$

$$a + b + c = 0,299 + 0,587 + 0,114 = 1,000 \text{ volt}$$

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

A formação do sinal de luminância Y, a partir dos sinais R, G e B da câmara, é obtida através de uma matriz resistiva, como apresentada na Figura 1.5, para uma imagem de uma bandeira formada por listas verticais nas cores branco, amarelo e azul. A saída da câmara apresenta R=G=B=1 volt para a parte branca da imagem, R=G=1 volt e B=0 volt para a parte amarela da imagem e R=G=0 volt e B=1 volt para a parte azul da imagem.

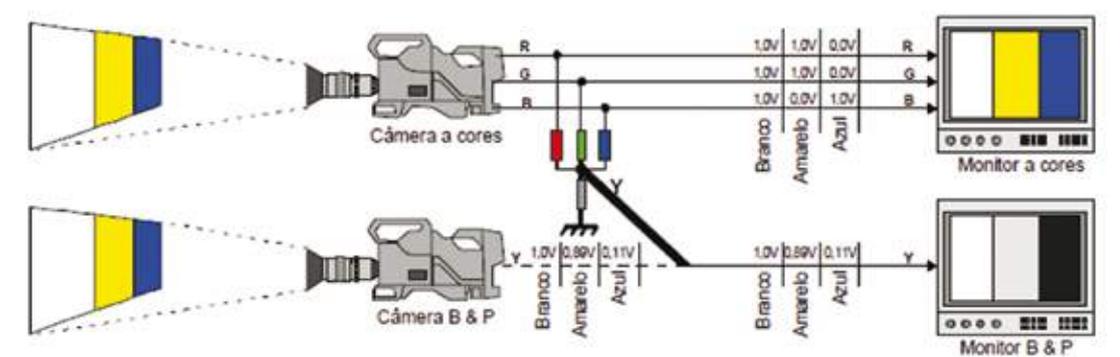


Fig. 1.5

A Tabela 1 apresenta os valores de R, G, B e Y para uma imagem padrão de 8 barras verticais de cores primárias e complementares saturadas (Fig. 1.6).



Fig. 1.6



Sinais Diferença de cor

Sem entrar em maiores considerações sobre os processos de transmissão de imagens a cores compatíveis com o sistema preto-e-branco, o conceito de diferença de cor deve ser analisado para uma melhor compreensão posterior dos sistemas NTSC, PAL e SECAM.

Uma cor para ser perfeitamente representada deve ter preservados os parâmetros de luminância, matiz e saturação. As informações de luminância estão contidas no sinal Y e as de matiz e saturação estão nos sinais diferença de cor. Estes sinais são modulados para formar o sinal de crominância C, reduzindo assim a exigência inicial de três canais, R, G, B, para apenas dois, Y e C. O sinal Y representa a luminância ou brilho da cor, enquanto o sinal C representa o matiz e a saturação. Para assegurar que nenhuma informação de brilho é transmitida pelo sinal de crominância são formados os sinais (R-Y) e (B-Y), que são obtidos por matrixagem na saída das câmaras tricromáticas, como mostra a Fig. 1.7.

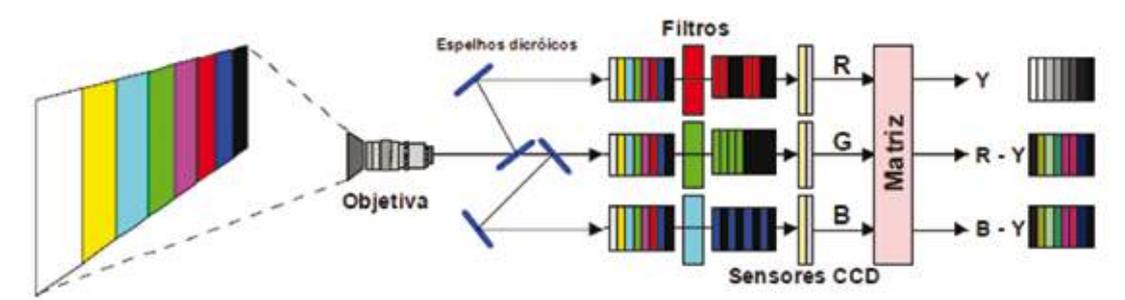


Fig. 1.7

O sinal (G-Y) não é necessário porque pode ser obtido de (R-Y) e (B-Y), por outro lado, suas amplitudes médias são substancialmente menores, o que comprometeria a relação sinal/ruído caso fosse utilizado.

Os valores de (R-Y) e (B-Y) são obtidos da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} (R-Y) &= R - (0,299R + 0,587G + 0,114B) & (R-Y) &= 0,701R - 0,587G - 0,114B \\ (B-Y) &= B - (0,299R + 0,587G + 0,114B) & (B-Y) &= -0,299R - 0,587G + 0,886B \end{aligned}$$



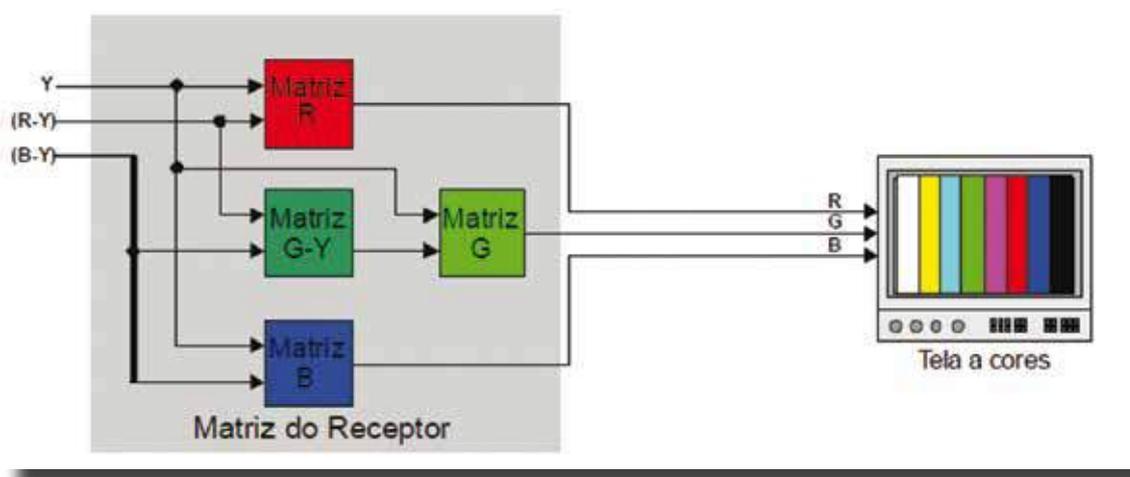


Fig. 1.8

Na recepção dos sinais, Y (R-Y) e (B-Y) são combinados em um sistema de matriz para recuperar os sinais R, G e B para a tela tricromática, como ilustrado na Figura 1.8.

As matrizes R e B combinam (somam) o sinal Y com os sinais (R-Y) e (B-Y) reconstituindo os sinais R e B.

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

$$(R-Y) = 0,701R - 0,587G - 0,114B$$

$$(B-Y) = -0,299R - 0,587G + 0,886B$$

$$Y+(R-Y) = 1,000R + 0,000G + 0,000B \quad Y+(B-Y) = 0,000R + 0,000G + 1,000B$$

O terceiro sinal diferença de cor (G-Y) é obtido na matriz (G-Y) pela combinação dos sinais (R-Y) e (B-Y) com base nas seguintes equações:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

$$Y = 0,299Y + 0,587Y + 0,114B$$

$$Y-Y = 0,299(R-Y) + 0,587(G-Y) + 0,114(B-Y)$$

$$0 = 0,299(R-Y) + 0,587(G-Y) + 0,114(B-Y)$$

$$(G-Y) = -0,509(R-Y) - 0,194(B-Y)$$

Substituindo os valores de (R-Y) e (B-Y) pelas equações correspondentes em R, G e B, obtém-se:

$$(G-Y) = -0,299R + 0,413G - 0,114B$$

A matriz G combina o sinal Y com o sinal (G-Y) para recuperar o sinal G, portanto:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$



$$(G-Y) = -0,299R + 0,413G - 0,114B$$

$$Y+(G-Y) = 0,000R + 1,000G + 0,000B$$

A Tabela 1.2 e a Figura 1.9 apresentam as proporções dos sinais R, G e B para uma imagem padrão de 8 barras de cores saturadas.

Cores	R	G	B	Y	(R-Y)	(G-Y)	(B-Y)
Branco (R+G+B)	1,0	1,0	1,0	1,000	0,000	0,000	0,000
Amarelo (R+G)	1,0	1,0	0,0	0,886	0,114	0,114	-0,886
Turquesa (G+B)	0,0	1,0	1,0	0,701	-0,701	0,299	0,299
Verde (G)	0,0	1,0	0,0	0,587	-0,587	0,413	-0,587
Magenta (R+B)	1,0	0,0	1,0	0,413	0,587	-0,413	0,587
Vermelho (R)	1,0	0,0	0,0	0,299	0,701	-0,299	-0,299
Azul (B)	0,0	0,0	1,0	0,114	-0,114	-0,114	0,886
Preto	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 1.2



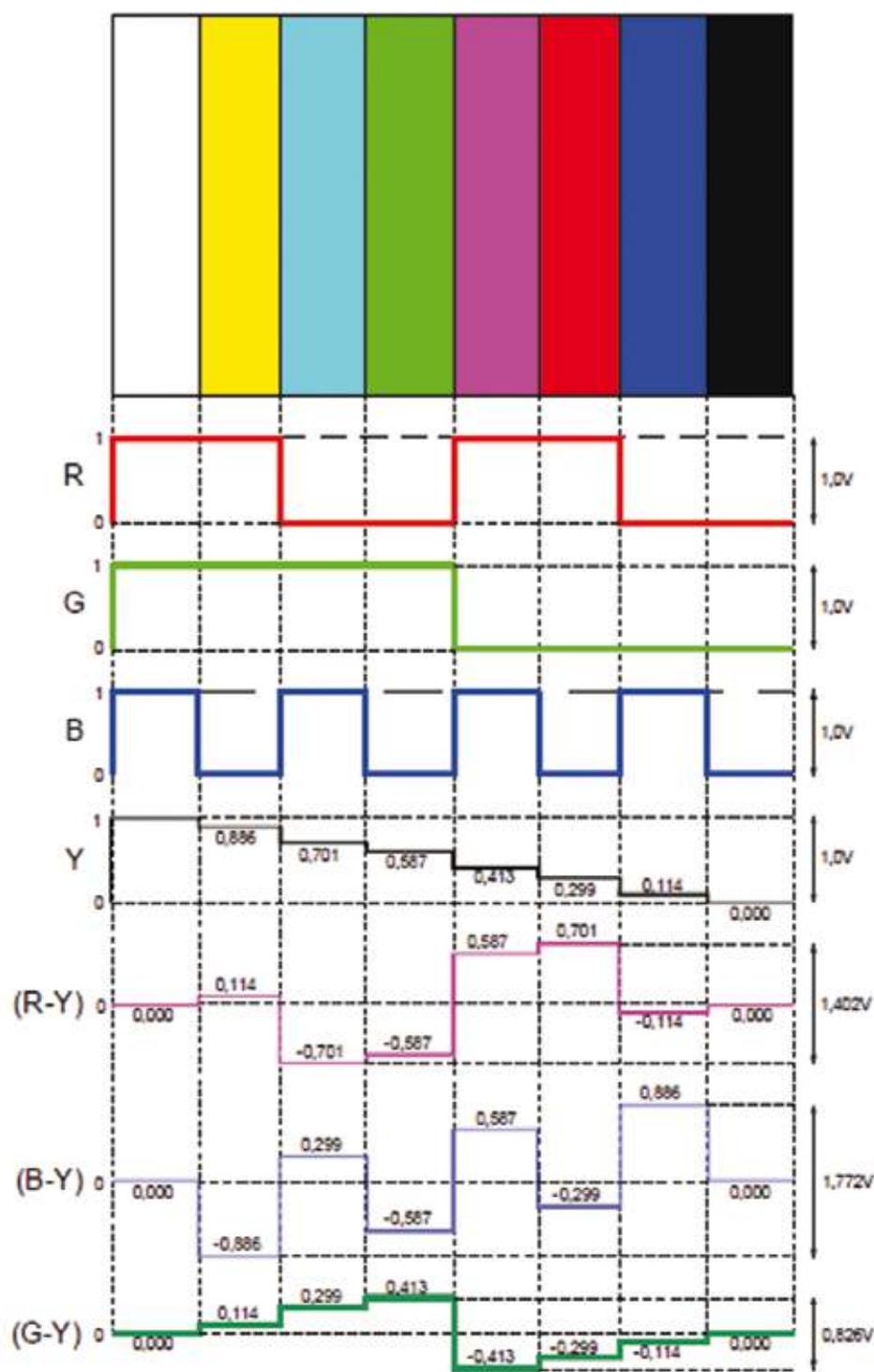


Fig.1.9

O sinal Y tem largura de banda equivalente ao sinal de um sistema monocromático, da ordem de 4,2 MHz para o Padrão M. A largura de banda dos sinais diferença de cor (R-Y) e (B-Y) foi definida como sendo suficientes valores de 1 a 1,5 MHz. Esta conclusão foi o resultado de várias medidas estatísticas com observadores onde se definiu a acuidade visual para as cores.



A largura de faixa reduzida para os sinais que levam informações de cores está perfeitamente de acordo com as condições do olho humano que não é capaz de perceber cores nos detalhes finos da imagem que geram frequências entre 1,5 e 4,2 MHz. Nesta faixa, o olho humano percebe apenas a luminância em tons de cinza equivalente.

Transmissão dos Sinais de Luminância e Crominância

As estruturas básicas de todos os sistemas de televisão a cores têm muitas semelhanças entre si, devido ao fato de que os sistemas PAL e SECAM foram desenvolvidos a partir do Sistema NTSC, com a utilização do mesmo canal monocromático para a transmissão dos sinais de luminância e crominância.

As câmaras tricromáticas funcionam segundo o mesmo princípio para os três sistemas (NTSC, PAL e SECAM), fornecendo o sinal de luminância e os sinais diferença de cor ou outros componentes derivados deste.

Os sinais diferença de cor modulam uma portadora com frequência aproximadamente 85% da frequência máxima do sinal de vídeo (85% de 4,2 MHz = 3,58 MHz no padrão M). As diferenças mais significativas entre os sistemas NTSC, PAL e SECAM estão no tipo de modulação e no processamento posterior dos sinais diferença de cor.

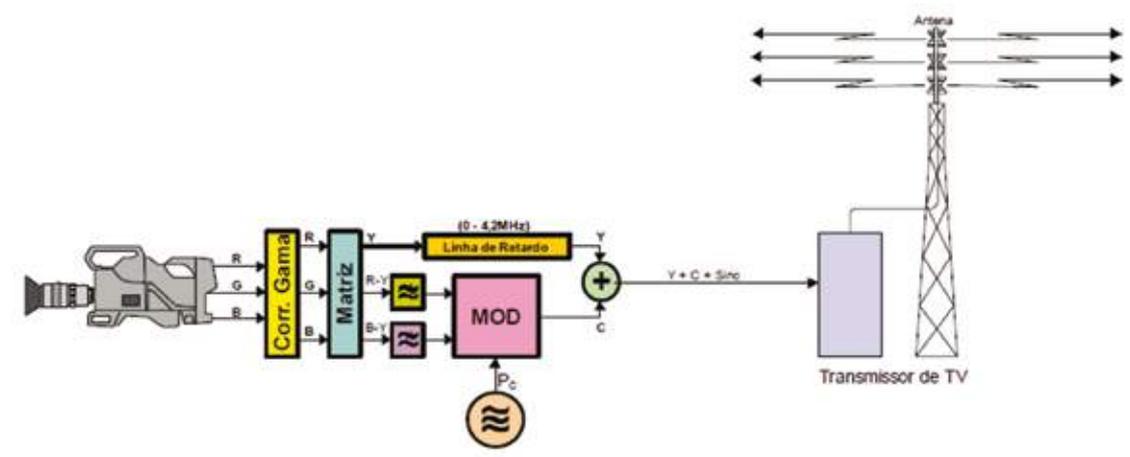


Fig. 1.10

A Fig. 1.10 apresenta o diagrama de blocos simplificado de um sistema básico de televisão a cores, indicando a sistemática adotada na transmissão de imagens cromáticas sendo, portanto, válido para os sistemas NTSC, PAL e SECAM. Observar que os sinais Y e C são



transmitidos no mesmo canal monocromático, desta forma, o transmissor é o mesmo transmissor monocromático que pode ser aproveitado para transmitir imagens a cores. Os recetores dos três sistemas utilizam o mesmo tipo de tubo de imagem, onde a estrutura básica e até mesmo a nível de circuito é bastante semelhante. A Fig. 1.11 apresenta o diagrama de blocos simplificado de um recetor cromático básico válido para os sistemas NTSC, PAL e SECAM.

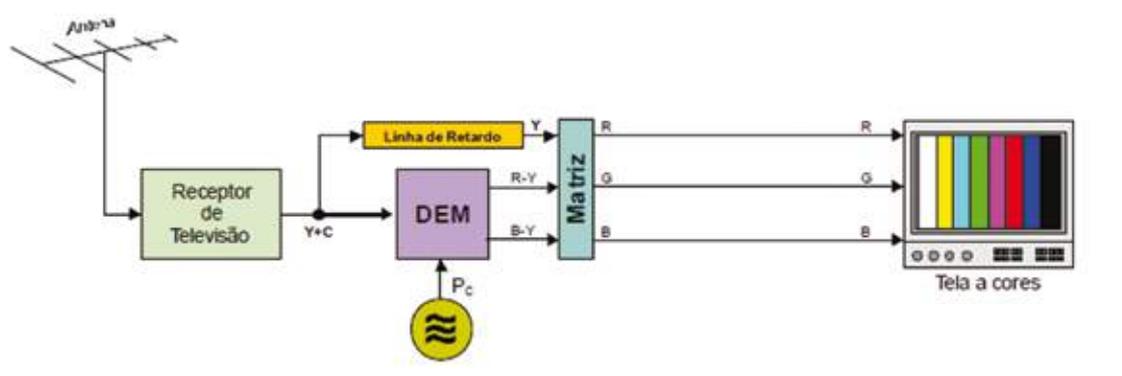


Fig.1.11

Intercalamento Espectral dos Sinais Y e C

Como já foi visto, o espectro de frequências do sinal Y contém componentes desde a frequência 0 a 4,2 MHz. Este espectro no entanto não é contínuo, mas concentrado em torno das harmônicas da frequência horizontal f_H denominadas de principais e com componentes satélites espaçadas de 60 Hz agrupadas em torno de cada principal. A Figura 1.8 apresenta o espectro de frequências do sinal de luminância Y.

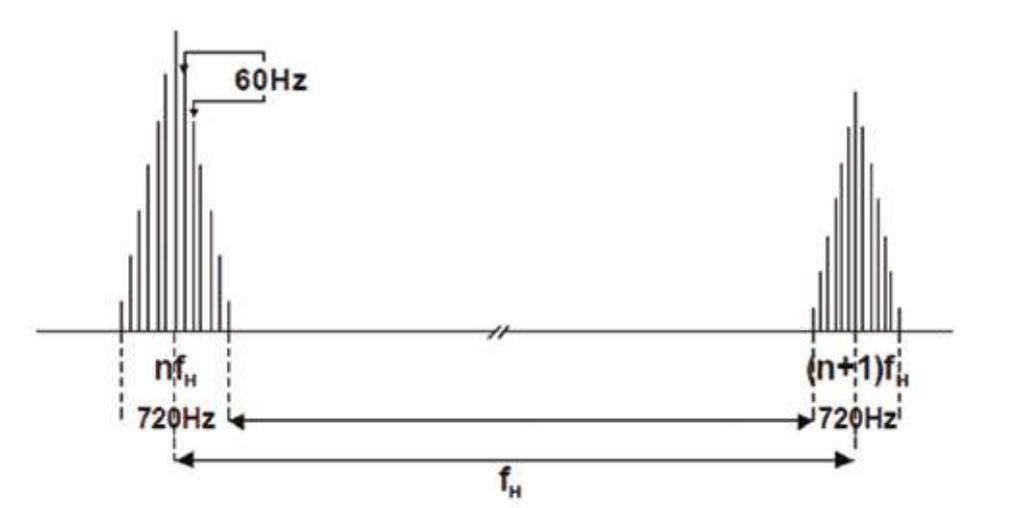


Fig. 1.12



Analisando o espectro do sinal Y não é difícil de se concluir que os vazios estão centrados em múltiplos ímpares da frequência $fH/2$. Portanto, qualquer sinal que se queira introduzir neste espaço deve ter uma composição espectral semelhante a do sinal Y, com as componentes ocupando os espaços vazios do espectro.

Nos três sistemas de televisão a cores NTSC, PAL e SECAM, a modulação dos sinais diferença de cor é feita de modo a posicionar o espectro do sinal modulado (crominância) nos espaços vazios sem causar interferência visível com o sinal Y. Desta forma, atende-se aos dois pré-requisitos básicos da compatibilidade, onde um receptor monocromático ao receber um sinal transmitido a cores, reproduz apenas o sinal de luminância Y, pois não está equipado para reconhecer e processar as informações do sinal de crominância C. Do mesmo modo, um receptor a cores, recebendo apenas o sinal Y de um transmissor monocromático, reproduz imagem preto-e-branco. A Fig. 1.13 apresenta o espectro do sinal Y com o sinal C intercalado.

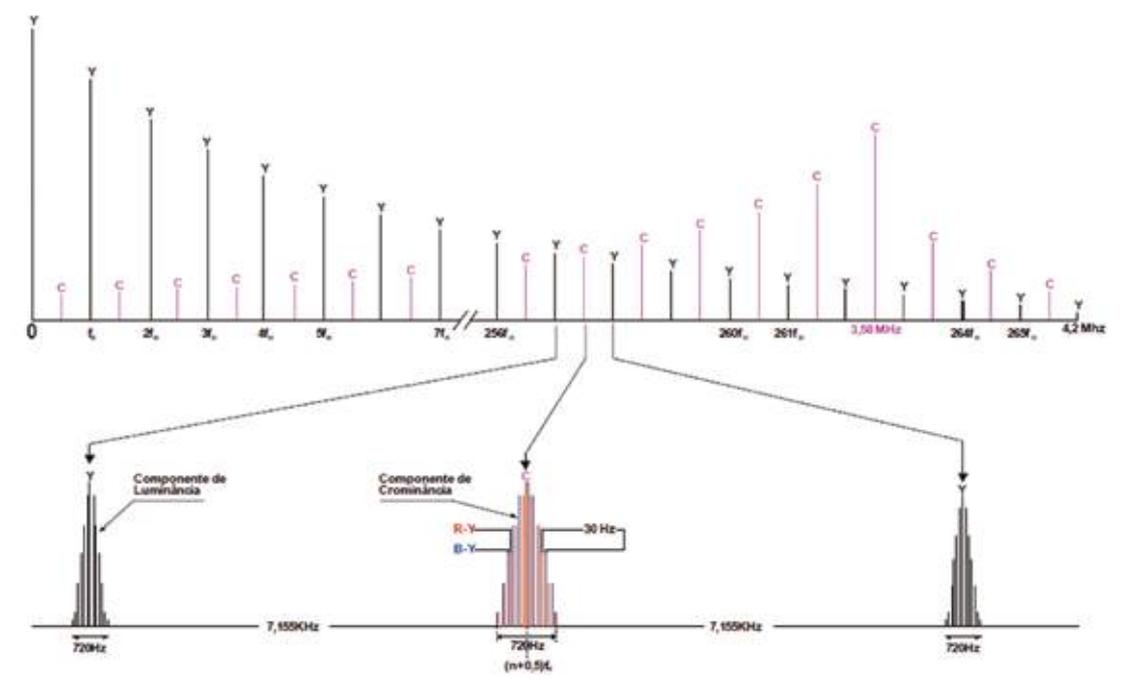


Fig. 1.13

Analisando o espectro do sinal Y não é difícil de se concluir que os vazios estão centrados em múltiplos ímpares da frequência $fH/2$. Portanto, qualquer sinal que se queira introduzir neste espaço deve ter uma composição espectral semelhante a do sinal Y, com as componentes ocupando os espaços vazios do espectro.



Nos três sistemas de televisão a cores NTSC, PAL e SECAM, a modulação dos sinais diferença de cor é feita de modo a posicionar o espectro do sinal modulado (crominância) nos espaços vazios sem causar interferência visível com o sinal Y. Desta forma, atende-se aos dois pré-requisitos básicos da compatibilidade, onde um recetor monocromático ao receber um sinal transmitido a cores, reproduz apenas o sinal de luminância Y, pois não está equipado para reconhecer e processar as informações do sinal de crominância C. Do mesmo modo, um recetor a cores, recebendo apenas o sinal Y de um transmissor monocromático, reproduz imagem preto-e-branco. A Fig. 1.13 apresenta o espectro do sinal Y com o sinal C intercalado.

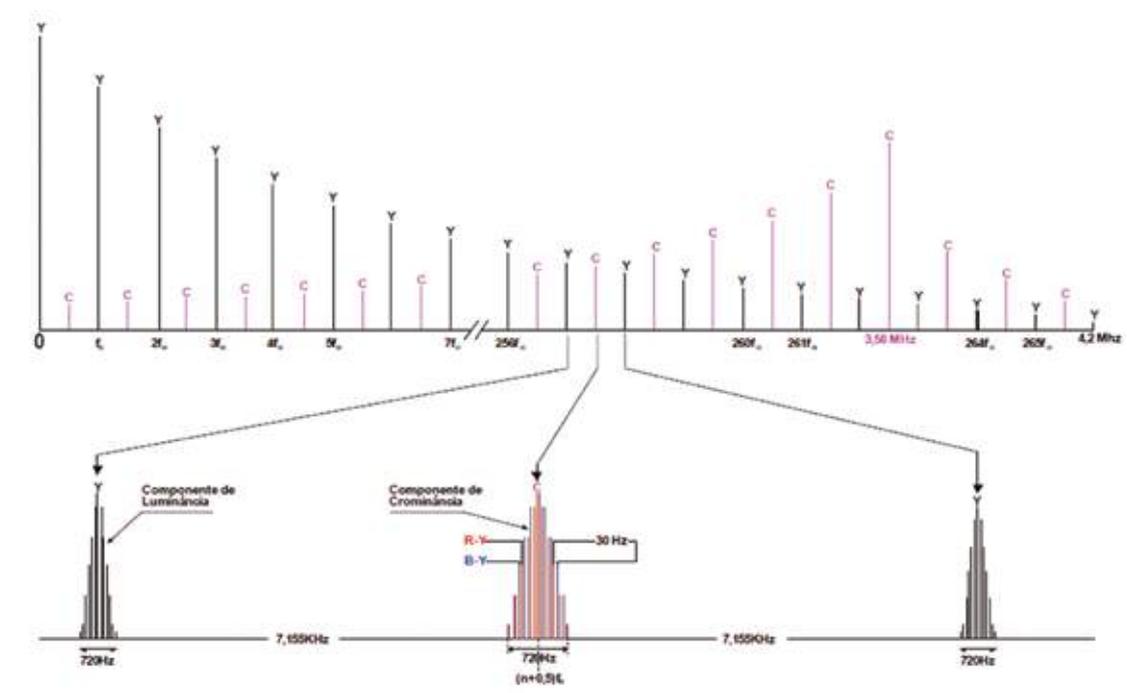


Fig. 1.13

Frequências da Subportadora de Cor

No cálculo da frequência da subportadora de cor são levados em consideração o intercalamento espectral com interferência de baixa visibilidade, a possibilidade de modulação dos sinais diferença de cor com faixa aproximada de 1,5 MHz e a locação do produto do batimento da subportadora de cor com a portadora de som de 4,5 MHz em um dos vazios do espectro para não causar interferência visível.



O intercalamento perfeito, contornando todos os problemas apresentados acima, foi conseguido, no padrão M, à custa de pequenas alterações nas frequências de varredura horizontal e vertical. A frequência da subportadora de cor bem como as novas frequências das varreduras horizontal e vertical são dadas pelas fórmulas da Tab. 1.3 para os sinais NTSC, PAL e SECAM.

Parâmetro	Sistema NTSC/M	Sistema PAL/M	Sistema PAL/B	Sistema SECAM/L
Frequência Horizontal (Hz)	$f_H = 4,5\text{MHz}/286$ $f_H = 15.734,264$	$f_H = 4,5\text{MHz}/286$ $f_H = 15.734,264$	$f_H = 15.625$	$f_H = 15.625$
Frequência Vertical (Hz)	$f_V = f_H/262,5$ $f_V = 59,94$	$f_V = f_H/262,5$ $f_V = 59,94$	$f_V = 50$	$f_V = 50$
Frequência Subportadora de cor (MHz)	$f_{sc} = (455/2)f_H$ $f_{sc} = 3,579545$	$f_{sc} = (909/4)f_H$ $f_{sc} = 3,57561149$	$f_{sc} = (1135/4)f_H + 25$ $f_{sc} = 4,43361875$	$f_{sc} = 282f_H$ e $f_{sc} = 272f_H$ $f_{sc} = 4,40625$ e $f_{sc} = 4,250$
Harmônica de f_H	227^a	227^a	283^a	272^a e 282^a

Tabela 1.3

Observa-se que as novas frequências de varredura horizontal e vertical são muito próximas das utilizadas na televisão monocromática, de modo a não causar nenhum problema com a compatibilidade e nem mesmo de ajuste dos recetores. O valor $n = 227$ corresponde ao posicionamento da subportadora de cor no espaço vazio nas proximidades da harmônica 227 da frequência horizontal. ($227 \times f_H = 3.571 \text{ MHz}$). Observar que nos outros padrões não há alteração das frequências de varredura horizontal e vertical.

Sistema NTSC/M

Todos os conceitos descritos até aqui são válidos para os três sistemas a cores NTSC, PAL e SECAM.

As principais diferenças entre eles estão no processo de modulação dos sinais diferença de cor. No sistema NTSC a modulação é simultânea em amplitude e fase com portadora suprimida, denominada de modulação em quadratura. Na modulação em quadratura são usadas duas portadoras de mesma frequência desfasadas entre si de 90° . As portadoras são moduladas separadamente pelos sinais (R-Y) e (B-Y). A saída dos dois moduladores são combinadas para formar o sinal C resultante que varia em amplitude e fase. A Fig. 1.14 apresenta o diagrama de blocos do modulador em quadratura.



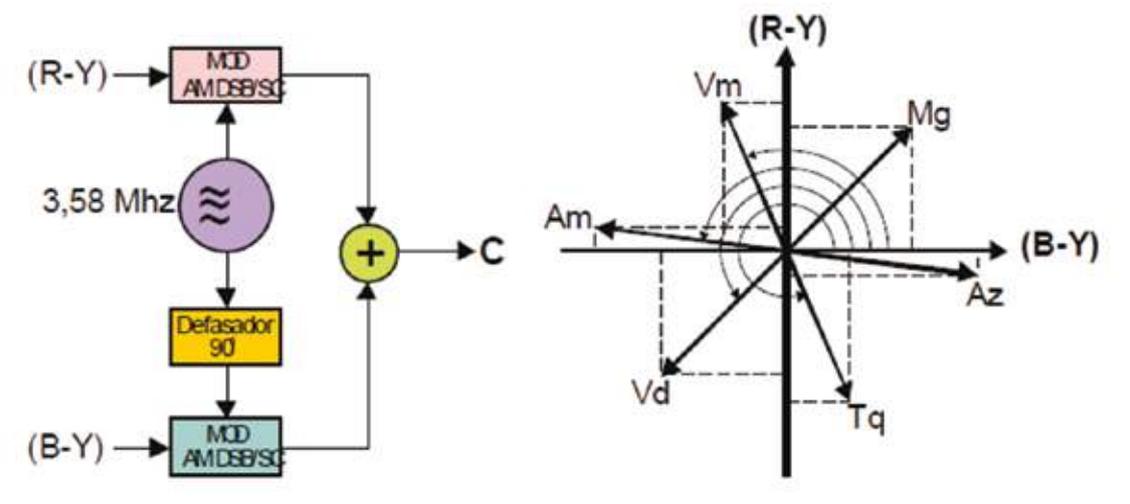


Fig. 1.14

Sinal de Vídeo Composto NTSC

Em uma imagem de prova com 8 barras de cores saturadas (branco, amarelo, turquesa, verde, magenta, vermelho, azul e preto) são produzidos sinais Y, (R-Y) e (B-Y) nas seguintes proporções:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

$$(R-Y) = 0,701R - 0,0,587G - 0,114B$$

$$(B-Y) = -0,299R - 0,587G + 0,886B$$

$$C = \sqrt{(R - Y)^2 + (B - Y)^2}$$

$$a = \arctg \frac{(R-Y)}{(B-Y)}$$

Um sinal de vídeo composto (Y + C) nestas proporções provocaria uma sobrecarga no transmissor devido à sobre modulação, como indica a Fig. 1.15, onde observa-se que as componentes do azul são maiores que os pulsos de sincronismo e as componentes do amarelo superam em 77,8% o nível de branco. Obviamente, este sinal composto de vídeo não pode ser transmitido com sua amplitude total.



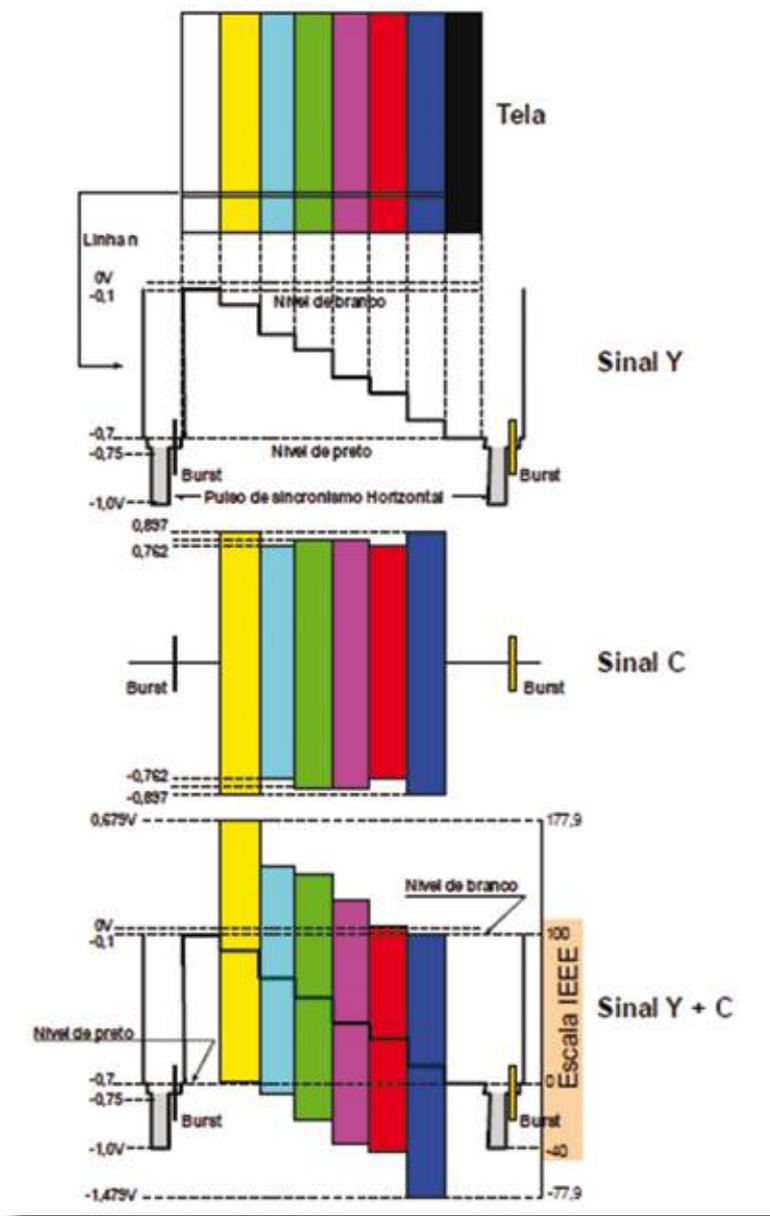


Fig. 1.15

Cores	R	G	B	Y	R - Y	B - Y	C	Alfa
Branco	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Amarelo	1,000	1,000	0,000	0,886	0,114	-0,886	0,893	172,7
Turquesa	0,000	1,000	1,000	0,701	-0,701	0,299	0,762	293,1
Verde	0,000	1,000	0,000	0,587	-0,587	-0,587	0,830	225,0
Magenta	1,000	0,000	1,000	0,413	0,587	0,587	0,830	45,0
Vermelho	1,000	0,000	0,000	0,299	0,701	-0,299	0,762	113,1
Azul	0,000	0,000	1,000	0,114	-0,114	0,886	0,893	352,7
Preto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

Tabela 1.4



A Tabela 1.4 fornece todos os valores para a montagem do gráfico da Figura 1.15, onde C é o sinal de crominância formado pela modulação em amplitude dos sinais (R-Y) e (B-Y). Verificou-se experimentalmente que um sinal modulado AM-VSB com até 33% de sobre modulação não acarreta nenhum problema na transmissão do sinal de vídeo composto. Adotou-se, então, uma redução nos sinais (R-Y) e (B-Y) transformando-os em sinais V e U, respetivamente. Esta redução de amplitude no transmissor deve ser compensada no recetor a fim de restituir os sinais (R - Y) e (B-Y) com suas amplitudes originais. Os sinais U e V são dados pelas seguintes equações:

$$U = 0,493(B-Y) = 0,493(-0,299 - 0,587G + 0,886B)$$

$$U = -0,1474R - 0,2894G + 0,4368B$$

$$V = 0,877(R-Y) = 0,877(0,701R - 0,587G - 0,114B)$$

$$V = 0,615R - 0,515G - 0,100B$$

$$C = \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$\alpha = \arctg \frac{V}{U}$$

Os sinais V e U modulados e adicionados ao sinal de luminância Y formam o sinal composto de vídeo com as características da Fig. 1.16, onde apenas o amarelo e a turquesa superam o nível de branco em 33%. Do outro lado, o vermelho e o azul superam o nível de preto em 33%, sendo, portanto, menores que os pulsos de sincronismo.

Cores	R	G	B	Y	V	U	C	Alfa
Branco	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Amarelo	1,000	1,000	0,000	0,886	0,100	-0,437	0,448	167,1
Turquesa	0,000	1,000	1,000	0,701	-0,615	0,147	0,632	283,5
Verde	0,000	1,000	0,000	0,587	-0,515	-0,289	0,590	240,7
Magenta	1,000	0,000	1,000	0,413	0,515	0,289	0,590	60,7
Vermelho	1,000	0,000	0,000	0,299	0,615	-0,147	0,632	103,5
Azul	0,000	0,000	1,000	0,114	-0,100	0,437	0,448	347,1
Preto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

Tabela 1.5



A Tabela 1.5 fornece todos os valores para a montagem do gráfico da Figura 1.16, onde C é o sinal de crominância formado pela modulação em amplitude dos sinais U e V.

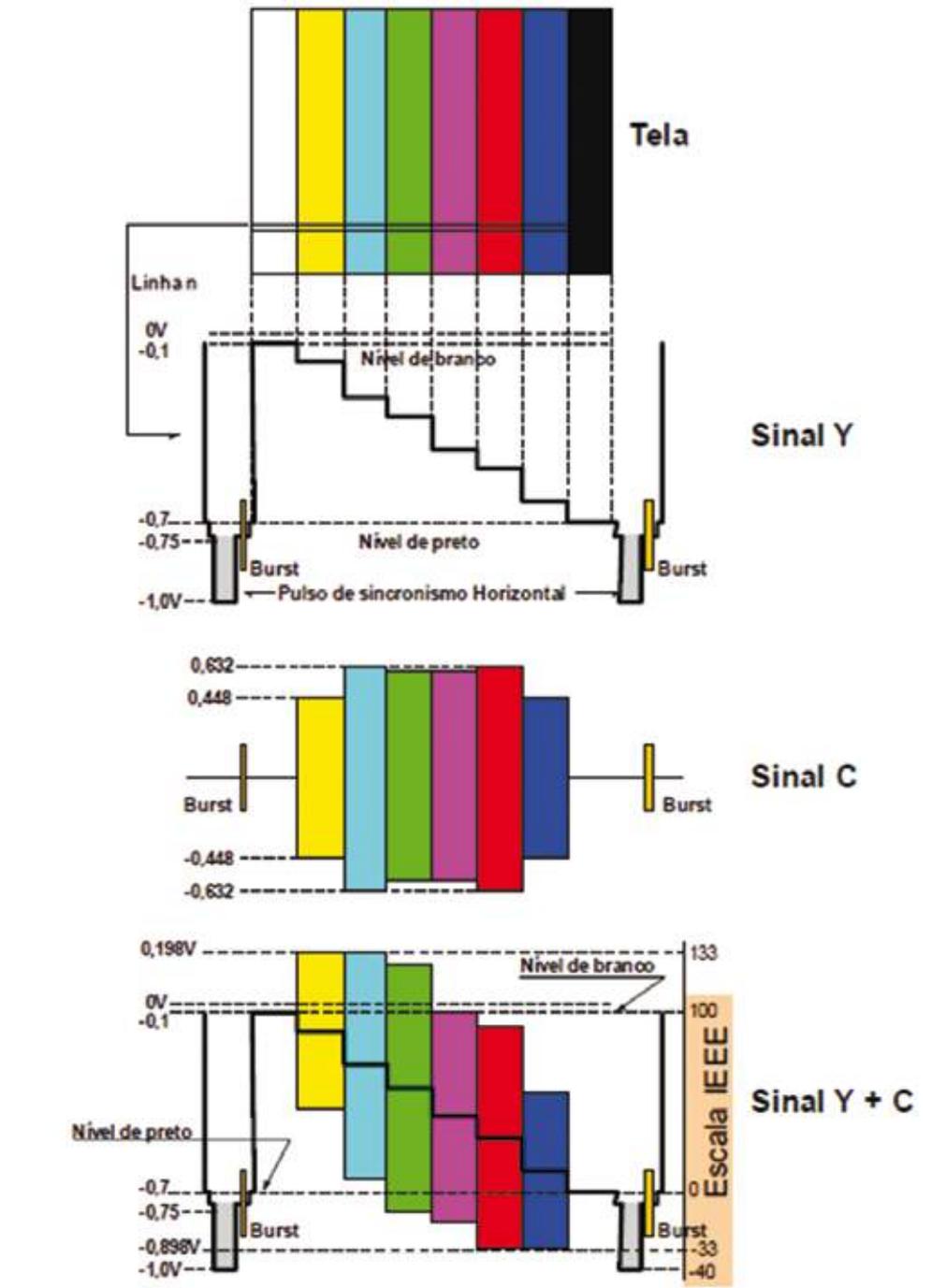


Fig. 1.16



Sinais Diferença de Cor NTSC I e Q

Após a realização de vários testes de acuidade visual com um grande número de observadores, concluiu-se que a largura de faixa dos sinais diferença de cor não deve ultrapassar 1,5 MHz. Para detalhes de imagem que geram frequências maiores que 1,5 MHz o olho humano só percebe a luminância sob a forma de cinza equivalente.

A modulação em quadratura dos sinais U e V com mesma largura de faixa de 1,5 MHz causa a interferência (sobreposição) das faixas laterais da porção SSB do sinal modulado causando diafotia (equivalente ao crosstalk ou diafonia em áudio). Para eliminar a diafotia o Sistema NTSC criou os sinais I e Q com larguras de faixa respectivamente de 1,5 MHz e 0,5 MHz. Para que a redução de faixa do sinal Q não cause perda na qualidade das cores, os eixos I e Q foram obtidos pela rotação de 33° dos eixos V e U no sentido anti-horário.

Este arranjo visa aproveitar o efeito tritanópico do olho humano, posicionando o eixo Q exatamente sobre a faixa de cores onde ocorre este efeito. Apesar da redução da faixa do sinal Q, na prática, não há degradação de qualidade para as cores correspondentes aos matizes situados sobre o eixo Q e seu complemento - Q, onde o olho humano só percebe detalhes de cores para ângulos de acuidade visual maiores que 25 minutos, conseqüentemente a faixa de frequências do sinal Q pode ser reduzida para 0,5 MHz. Para os matizes correspondentes ao eixo I e seu complemento - I a largura de faixa é de 1,5 MHz pois neste caso o olho humano percebe detalhes de cor para ângulos de acuidade visual maiores que 10 minutos.

A Fig. 1.17 apresenta o círculo de cromaticidades com eixos V, U, I e Q.



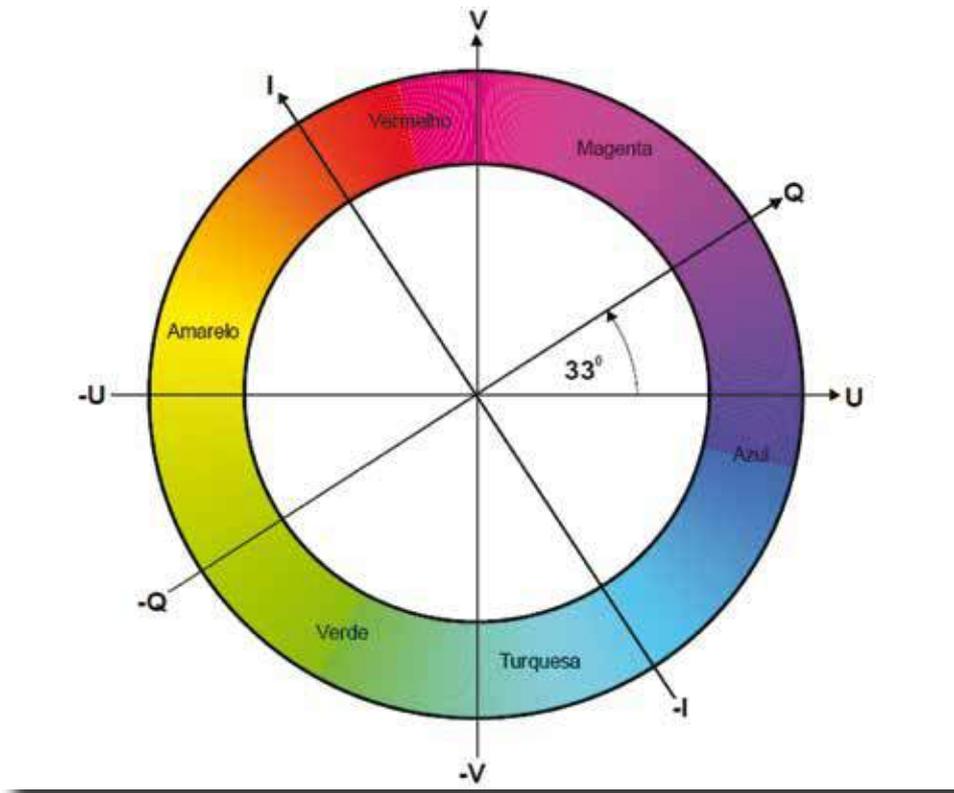


Fig. 1.17

Os sinais I e Q são obtidos das seguintes relações:

$$I = (R-Y)\cos330 - (B-Y)\text{sen}330$$

$$Q = (R-Y)\text{sen}330 + (B-Y)\cos330$$

Considerando a redução de amplitudes que deram origem aos sinais U e V tem-se:

$$I = 0,877(R-Y)\cos330 - 0,493(B-Y)\text{sen}330 = V\cos330 - U\text{sen}330$$

$$Q = 0,877(R-Y)\text{sen}330 + 0,493(B-Y)\cos330 = V\text{sen}330 + U\cos330$$

Representando os sinais I e Q em função de R, G e B tem-se:

$$I = 0,594R - 0,274G - 0,322B \text{ (largura de faixa = 1.5 MHz)}$$

$$Q = 0,211R - 0,523G + 0,311B \text{ (largura de faixa = 0,5 MHz)}$$

Modulação dos Sinais NTSC I e Q

Os sinais de diferença de cor I e Q modulam em quadratura a portadora de 3.579545 MHz, entretanto, para o sinal Q esta portadora é desfasada (atrasada) de 90°. A Fig. 1.18 apresenta o diagrama de blocos do modulador em quadratura dos sinais I e Q.



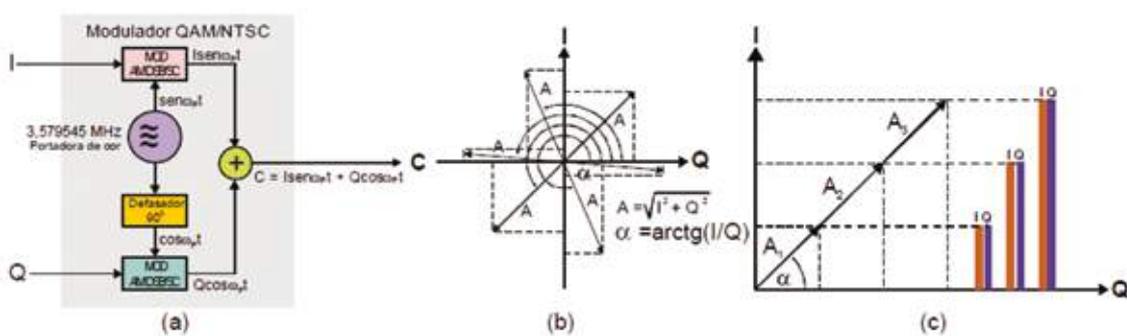


Fig. 1.18

Variando-se a polaridade dos sinais I e Q, e mantendo-se a amplitude constante, consegue-se obter todos os ângulos compreendidos entre 0° e 360° e consequentemente todos os matizes do círculo de cromaticidade. A Fig. 1.18c apresenta a variação da amplitude do sinal C1 que corresponde à saturação da cor. Os sinais I e Q foram mantidos na mesma proporção para que o vetor resultante seja apenas um vetor variável em amplitude. (Cor de mesmo matiz e graus de saturação diferentes.)

Os sinais I e Q modulados em quadratura formam o sinal de cromaticidade C1 que é um vetor resultante que varia em amplitude e fase. A amplitude e o ângulo de fase do vetor C1 são obtidos pelas equações:

$$C_3 = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

$$\alpha_3 = \arctg \frac{I}{Q}$$

Sinal Burst – Sincronismo de Cor NTSC

A portadora de cor é suprimida nos moduladores balanceados do transmissor.

Para que os sinais I e Q sejam demodulados eficientemente nos demoduladores síncronos do receptor, é necessário que a subportadora seja reproduzida com sincronismo de frequência e fase com a subportadora do transmissor.



Uma amostra (salva) de 8 a 10 ciclos da subportadora de cor de 3,579545 MHz é transmitida durante o pórstico posterior do apagamento horizontal para sincronizar o oscilador de 3,579545 MHz do recetor. Observa-se que durante a exploração da linha visível, o sistema não está sincronizado, uma vez que o sinal burst (salva) é transmitido apenas durante o apagamento horizontal.

A Fig. 1.19a mostra o posicionamento do sinal burst no pulso de apagamento horizontal com amplitude de pico igual a metade da amplitude de pico relativa ao pulso de sincronismo horizontal para não causar interferência nos circuitos separadores de sincronismo do recetor.

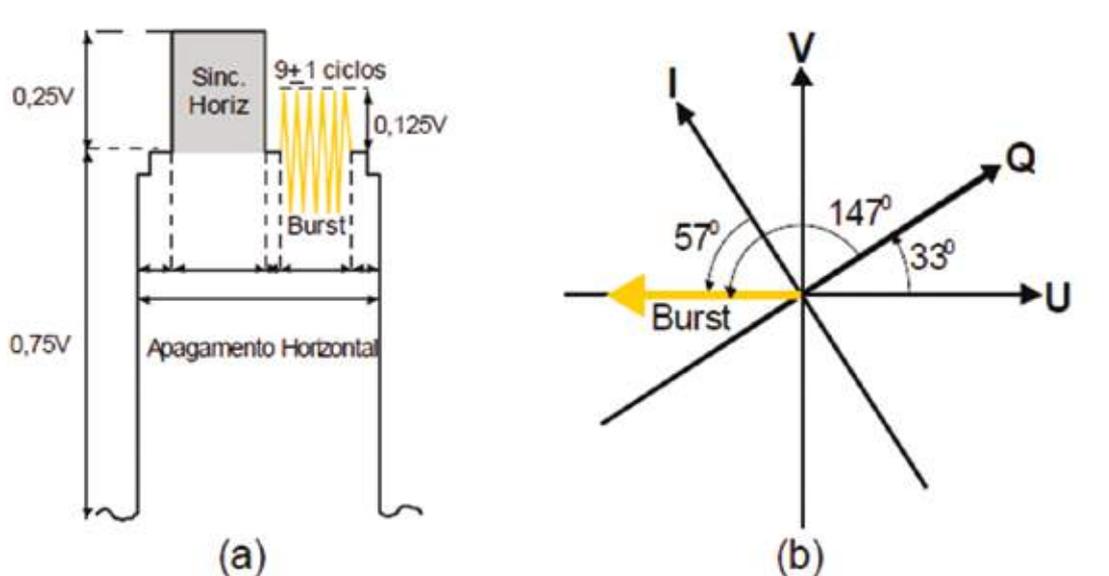


Fig. 1.19

A Fig. 1.19b mostra o posicionamento do matiz do sinal burst em relação aos eixos V, U, I e Q. O ângulo de fase do sinal burst é constante e situa-se na região verde-amarelo ($\alpha = 180^\circ$ nos eixos V e U ou $\alpha = 147^\circ$ nos eixos I e Q).

Sinal de Vídeo Composto NTSC (Y + C1)

A Tabela 1.6 apresenta os valores de I, Q, C e a para o Sistema NTSC. Observar que as amplitudes do sinal C têm os mesmos valores das obtidas pelos sinais U e V. Os ângulos formados por I e Q apresentam uma diferença fixa de 33° correspondente a rotação dos eixos U e V em 33° .



Cores	R	G	B	Y	I	Q	C	Alfa
Branco	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Amarelo	1,000	1,000	0,000	0,886	0,322	-0,312	0,448	134,1
Turquesa	0,000	1,000	1,000	0,701	-0,596	-0,211	0,632	250,5
Verde	0,000	1,000	0,000	0,587	-0,274	-0,523	0,590	207,7
Magenta	1,000	0,000	1,000	0,413	0,274	0,523	0,590	27,7
Vermelho	1,000	0,000	0,000	0,299	0,596	0,211	0,632	70,5
Azul	0,000	0,000	1,000	0,114	-0,322	0,312	0,448	314,1
Preto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

Tabela 1.6

A Fig. 1.20 apresenta o sinal de vídeo composto do sistema NTSC para uma imagem padrão de 8 barras de cores saturadas (branco, amarelo, turquesa, verde, magenta, vermelho, azul e preto).

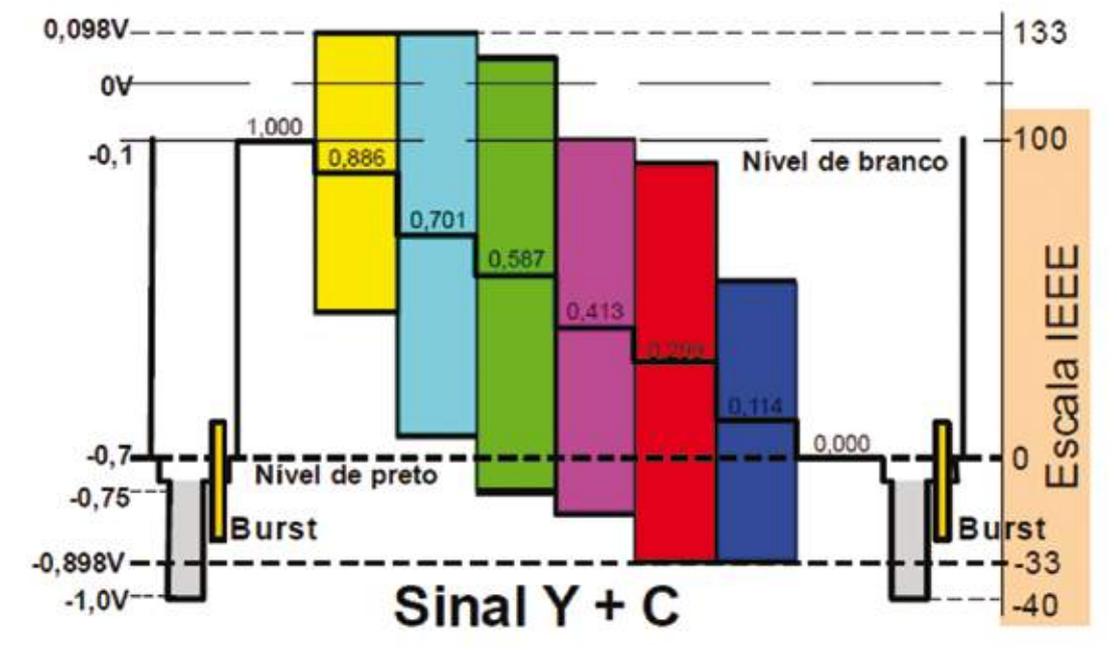


Fig. 1.20

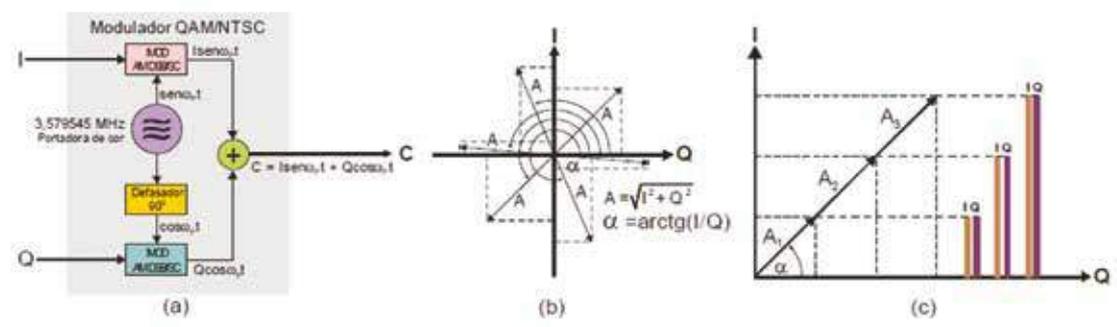


Fig. 1.18



Variando-se a polaridade dos sinais I e Q, e mantendo-se a amplitude constante, consegue-se obter todos os ângulos compreendidos entre 0º e 360º e conseqüentemente todos os matizes do círculo de cromaticidade. A Figura 1.18c apresenta a variação da amplitude do sinal C1 que corresponde à saturação da cor.

Os sinais I e Q foram mantidos na mesma proporção para que o vetor resultante seja apenas um vetor variável em amplitude. (Cor de mesmo matiz e graus de saturação diferentes.)

Os sinais I e Q modulados em quadratura formam o sinal de cromaticidade C1 que é um vetor resultante que varia em amplitude e fase. A amplitude e o ângulo de fase do vetor C1 são obtidos pelas equações:

$$C_3 = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

$$\alpha_3 = \arctg \frac{I}{Q}$$

Sinal Burst – Sincronismo de Cor NTSC/M

A portadora de cor é suprimida nos moduladores balanceados do transmissor.

Para que os sinais I e Q sejam demodulados eficientemente nos demoduladores síncronos do recetor, é necessário que a subportadora seja reproduzida com sincronismo de frequência e fase com a subportadora do transmissor.

Uma amostra (salva) de 8 a 10 ciclos da subportadora de cor de 3,579545 MHz é transmitida durante o pórstico posterior do apagamento horizontal para sincronizar o oscilador de 3,579545 MHz do recetor. Observa-se que durante a exploração da linha visível, o sistema não está sincronizado, uma vez que o sinal burst (salva) é transmitido apenas durante o apagamento horizontal.

A Figura 1.19a mostra o posicionamento do sinal burst no pulso de apagamento horizontal com amplitude de pico igual a metade da amplitude de pico relativa ao pulso de sincronismo horizontal para não causar interferência nos circuitos separadores de sincronismo do recetor.



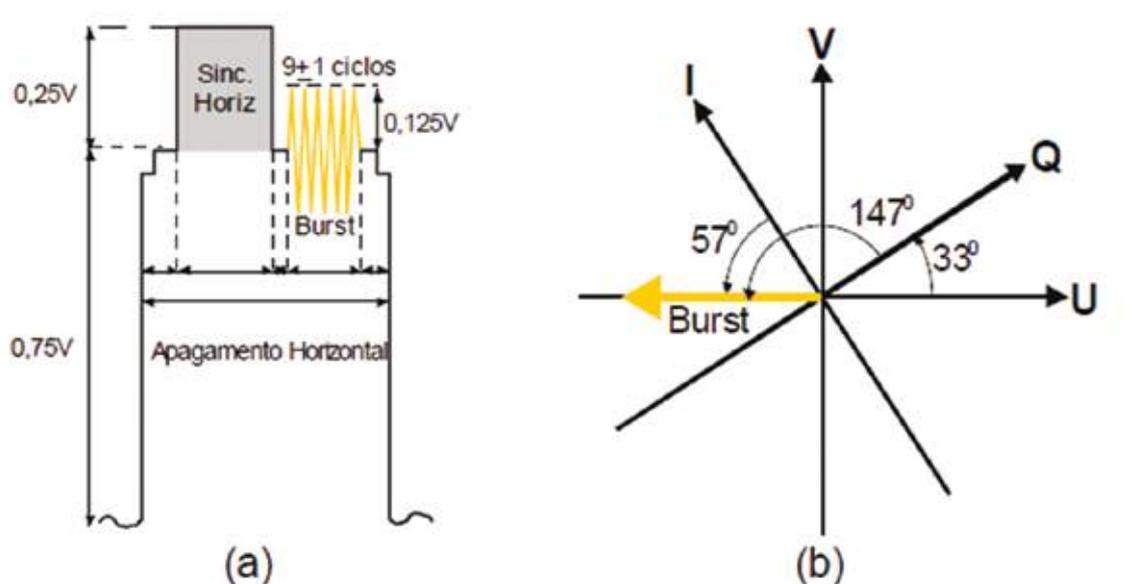


Fig. 1.19

A Figura 1.19b mostra o posicionamento do matiz do sinal burst em relação aos eixos V, U, I e Q. O ângulo de fase do sinal burst é constante e situa-se na região verde-amarelo ($\alpha = 180^\circ$ nos eixos V e U ou $\alpha = 147^\circ$ nos eixos I e Q).

Sinal de Vídeo Composto NTSC (Y + C1)

A Tabela 1.6 apresenta os valores de I, Q, C e α para o Sistema NTSC. Observar que as amplitudes do sinal C têm os mesmos valores das obtidas pelos sinais U e V. Os ângulos formados por I e Q apresentam uma diferença fixa de 33° correspondente a rotação dos eixos U e V em 33° .

Cores	R	G	B	Y	I	Q	C	Alfa
Branco	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Amarelo	1,000	1,000	0,000	0,886	0,322	-0,312	0,448	134,1
Turquesa	0,000	1,000	1,000	0,701	-0,596	-0,211	0,632	250,5
Verde	0,000	1,000	0,000	0,587	-0,274	-0,523	0,590	207,7
Magenta	1,000	0,000	1,000	0,413	0,274	0,523	0,590	27,7
Vermelho	1,000	0,000	0,000	0,290	0,596	0,211	0,632	70,5
Azul	0,000	0,000	1,000	0,114	-0,322	0,312	0,448	314,1
Preto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0

Tabela 1.6



A Figura 1.20 apresenta o sinal de vídeo composto do sistema NTSC para uma imagem padrão de 8 barras de cores saturadas (branco, amarelo, turquesa, verde, magenta, vermelho, azul e preto).

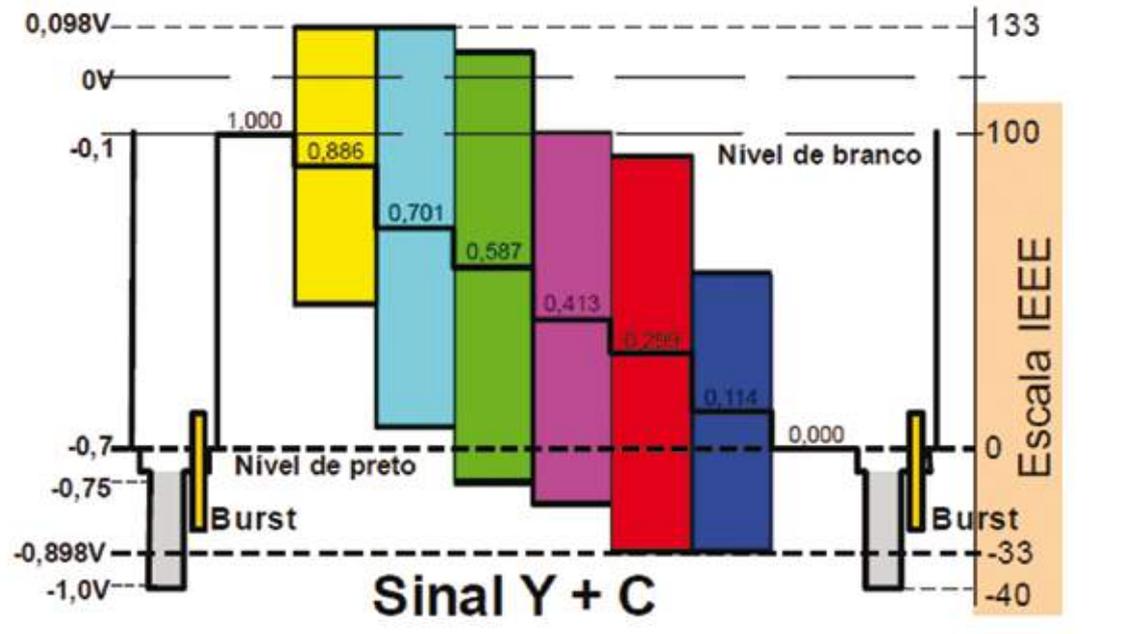


Fig. 1.20

A Figura 1.21 apresenta em diagrama de blocos a formação do sinal de vídeo composto (Y + C) NTSC/M presente na saída de qualquer equipamento de vídeo (Câmaras, DVD's, Vídeo Gravadores, etc)

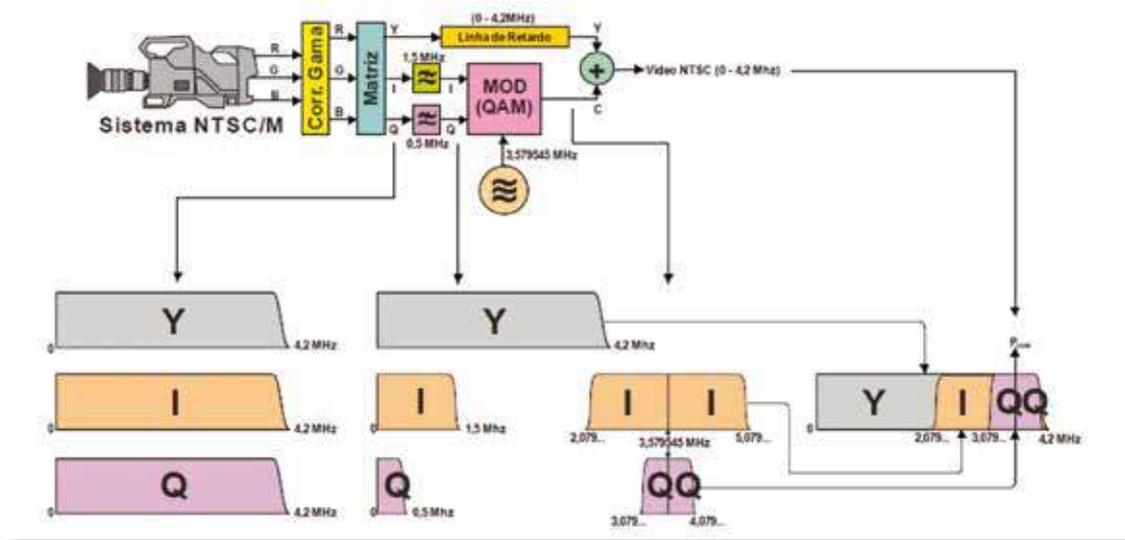


Fig. 1.21



Espectro de Frequências do Sinal de Vídeo Composto NTSC/M

Pelo que foi visto nos itens anteriores constata-se que as transições de luminosidade provocadas pela varredura horizontal geram componentes de frequências elevadas que ocupam a faixa de 0 a 4,2 MHz. A Figura 1.22 representa o espectro de frequências do sinal de vídeo composto, de uma imagem estática, na saída da câmara.

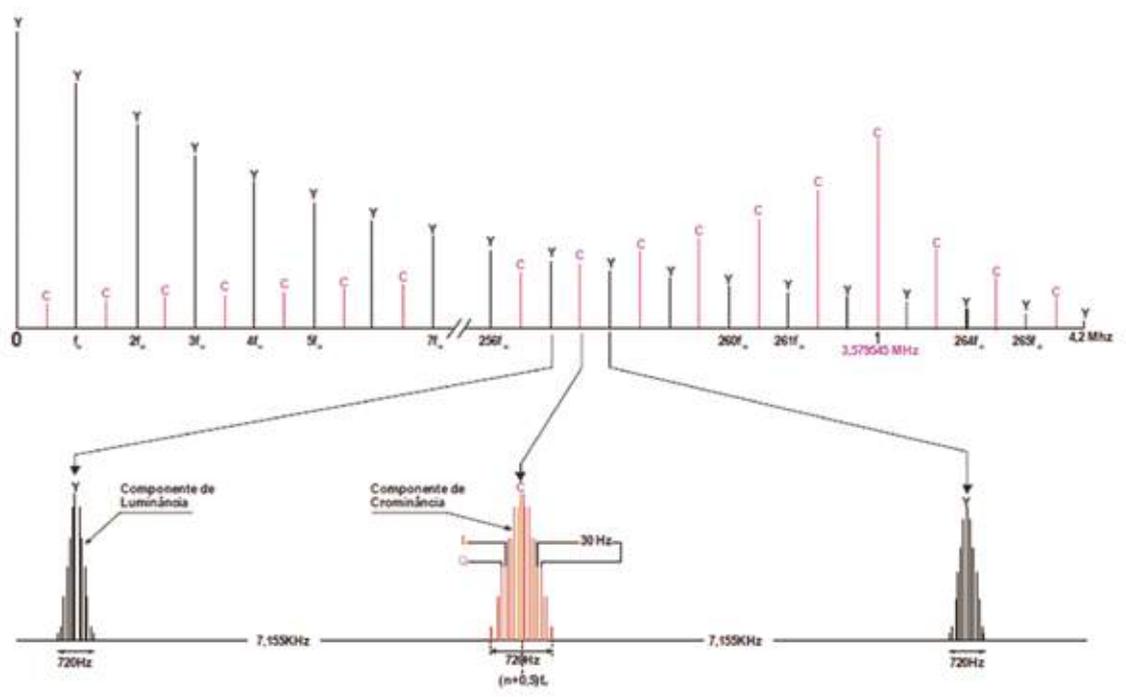


Fig. 1.22

As componentes cujas frequências fH , $2fH$, $3fH$, $4fH$ $266fH$ (múltiplos inteiros da frequência de varredura horizontal) são denominadas de principais, as componentes que se agrupam em torno das principais denominam-se satélites. O número de satélites significativos agrupados em torno de cada principal não ultrapassa a 12. O espectro é descontínuo e discreto, com as componentes agrupando-se em forma de pacotes e com as amplitudes decrescendo com o aumento da frequência. Os pacotes de frequência mais baixa reproduzem os maiores detalhes da imagem, enquanto os de frequência mais alta reproduzem os detalhes finos da imagem.

O espectro do sinal de vídeo composto possui grandes vazios sem nenhuma informação, o que caracteriza uma baixa ocupação.



Uma imagem em movimento provoca a modulação em amplitude de todas as componentes das principais e satélites, o que faz aparecer faixas laterais superiores e inferiores em torno de cada componente.

Portanto, o máximo espaço destinado às outras componentes dentro de um pacote é de $1/2 f_v$. Movimentos da imagem que dão origem a deslocamentos das componentes maiores que $1/2 f_v$ provocam a interpenetração das faixas laterais causando uma confusão espectral, o que provoca o aparecimento de sinais espúrios e vibrações na imagem. Entretanto, em tomadas de cenas normais, este tipo de ocorrência é estatisticamente pouco provável.

Modulação do Sinal de Vídeo Composto NTSC/M

O sinal de vídeo composto contendo todas as informações da imagem explorada não pode ser transmitido diretamente aos recetores convencionais, por razões que fogem ao escopo desta análise. Este sinal deve ser enviado ao transmissor para ser modulado em AM, com portadoras nas faixas de VHF (canais 2 a 13) e UHF (canais 14 a 83). O sinal modulado pelo transmissor é enviado à antena transmissora que irradia a todos os recetores situados dentro da área de cobertura do transmissor.

No padrão M, o sinal de vídeo é transmitido com polaridade negativa, o que significa que os níveis de branco produzem uma redução na amplitude da portadora para valores em torno de 10%, enquanto o nível de apagamento é transmitido com valor constante correspondendo a 75 % da amplitude da portadora. Os picos do pulso de sincronismo correspondem exatamente a 100% do valor da amplitude da portadora não modulada. A Figura 1.23 apresenta o sinal de vídeo modulado em AM visto na tela de um osciloscópio.



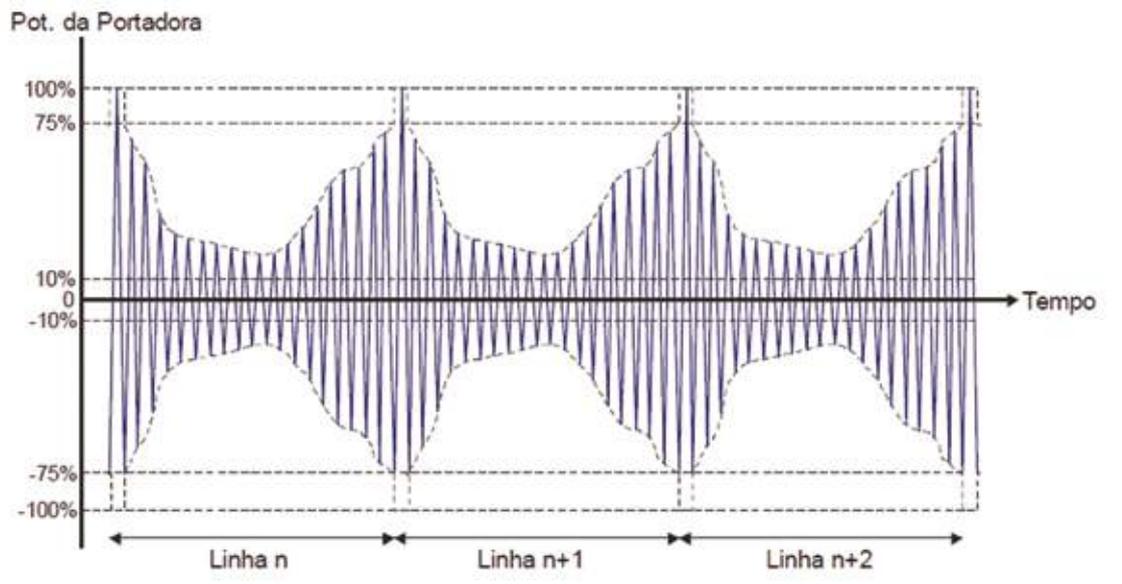


Fig. 1.23

A transmissão do sinal de vídeo com polarização negativa tem a vantagem de minimizar os efeitos dos ruídos na imagem reproduzida. Os ruídos contidos no sinal recebido tendem a aumentar a amplitude da portadora, o que significa na tela do recetor um deslocamento para o nível de preto, tornando os efeitos do ruído menos perceptíveis. Por outro lado, na polarização negativa, o transmissor gasta menos energia, porque na prática, as amplitudes do sinal vídeo geradas por cenas bem iluminadas estão sempre estatisticamente mais próximas do nível de branco, o que gera componentes do sinal de vídeo de pequena amplitude.

Em radiodifusão AM o sistema mais utilizado é o AM-DSB (Modulação em Amplitude Dupla Faixa Lateral). Entretanto, sob o ponto de vista de transmissão, não é o mais vantajoso. Transmite as duas faixas laterais e a portadora, o que significa a ocupação do equivalente a duas vezes a largura de faixa necessária, além de desperdiçar a maior parte da energia na transmissão da portadora que não contém nenhuma informação.

Mas a seu favor existe um argumento decisivo, é o baixo custo do recetor e a sua simplicidade técnica. Todas as desvantagens técnicas do sistema AM-DSB, em relação aos outros sistemas de modulação AM, são prontamente contrabalançadas, porque os outros sistemas requerem recetores mais sofisticados e de custo extremamente elevado.



Exatamente para reduzir o custo do recetor de televisão é que foi adotado, por todos os padrões de televisão, a modulação AM para os sinais de vídeo. Como o sinal de vídeo ocupa a faixa de 0 a 4,2 MHz (padrão M), após a modulação AM-DSB passa a ocupar uma largura de faixa de 8,4 MHz. A Figura 1.24 ilustra o espectro do sinal de vídeo antes e depois da modulação AM-DSB.

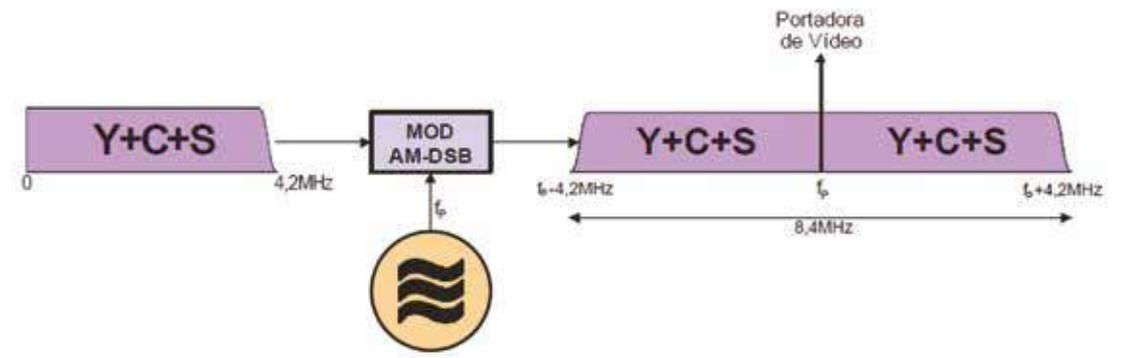


Fig. 1.24

Como se sabe, todas as informações do sinal de vídeo estão contidas igualmente em cada uma das faixas laterais do sinal modulado, o que caracteriza uma redundância, uma vez que para recuperar as informações da imagem é necessário apenas uma das faixas laterais. Para melhorar a ocupação do espectro de frequências, sem causar alterações no recetor, foi adotada para a televisão uma solução de compromisso entre os sistemas AM-DSB e AM-SSB. Este novo sistema de modulação recebeu o nome de AM-VSB (Modulação em Amplitude com Faixa Lateral Vestigial) pelo fato de transmitir completamente a faixa lateral superior e apenas um pedaço (vestigio) da faixa lateral inferior. A Figura 1.25 apresenta o espectro de frequências de um sinal de vídeo modulado em AM-VSB.

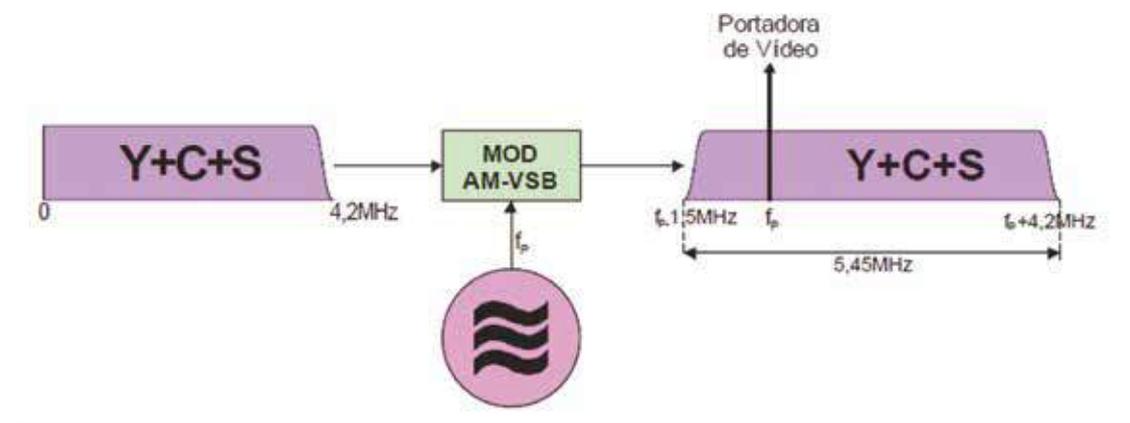


Fig. 1.25



Observa-se que a largura de faixa do sinal AM-VSB foi reduzida de 8,4 MHz para aproximadamente 5,5 MHz. Nenhuma informação de imagem foi perdida na redução da faixa lateral inferior, uma vez que a faixa lateral superior permaneceu completa contendo todas as informações do sinal de vídeo.

Para frequências de 0 até aproximadamente 1,25 MHz em torno da portadora, a modulação se comporta como AM-DSB, com duas faixas laterais, e para as frequências maiores que 1,25 MHz a modulação se comporta como AM-SSB.

A consequência da redução da faixa lateral inferior é notada no espectro do sinal de vídeo na saída do demodulador do receptor, onde as frequências da porção AM-DSB são demoduladas com amplitudes correspondentes ao dobro das frequências da porção AM-SSB. Para compensar este problema, o amplificador de FI (Frequência Intermediária) do receptor é projetado com uma curva característica como a apresentada na Figura 1.26.

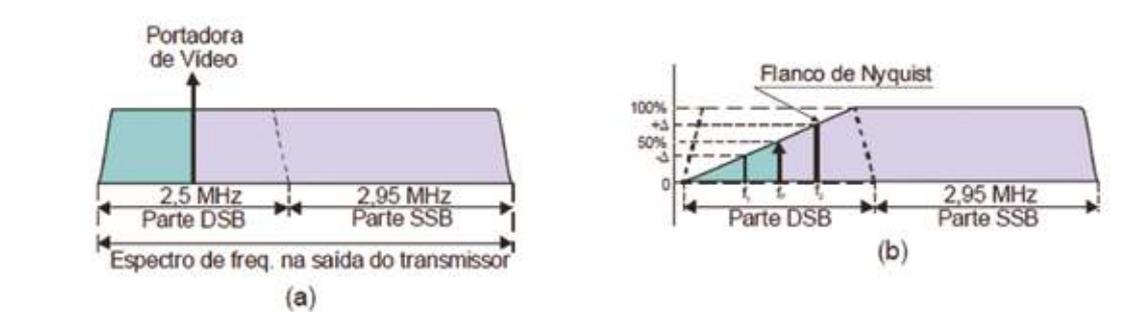


Fig. 1.26

A curva inclinada entre as frequências limites da faixa lateral inferior é conhecida como flanco de Nyquist e é definida pela equação:

$$A\%(f_P - f_1) + A\%(f_P + f_2) = 100\%$$

Nesta curva, as frequências contidas na parte AM-DSB têm suas amplitudes atenuadas correspondendo para a portadora de FI uma atenuação de 50%. O amplificador de FI com esta inclinação faz com que o sinal de vídeo demodulado tenha a mesma relação de amplitude do sinal original antes da modulação AM-VSB. Da Figura 1.26 conclui-se que uma vez satisfeita a condição do flanco de Nyquist, frequências de mesma amplitude serão demoduladas com amplitudes iguais, independentemente de sua posição no espectro de frequências, quer estejam na porção AM-DSB quer estejam na porção AM-SSB.



O sistema AM-VSB consegue os mesmos resultados do AM-DSB com uma redução considerável na largura de faixa. Por esta razão, está plenamente justificada a utilização da modulação AM-VSB para o sinal de vídeo em todos os padrões de televisão.

Transmissão do Sinal NTSC/M

Na verdade, a formação do sinal NTSC ocorre nos equipamentos de geração de imagens, como câmaras, videogravadores, DVD's etc. O transmissor pode ser o mesmo transmissor monocromático do padrão M com modulação AM-VSB, já que o intercalamento do sinal de crominância dentro do espectro do sinal Y é feito fora do transmissor. Os blocos contidos dentro da área sombreada da Figura 3.27 correspondem ao modulador em quadratura dos sinais I e Q, também denominado de Codificador NTSC.

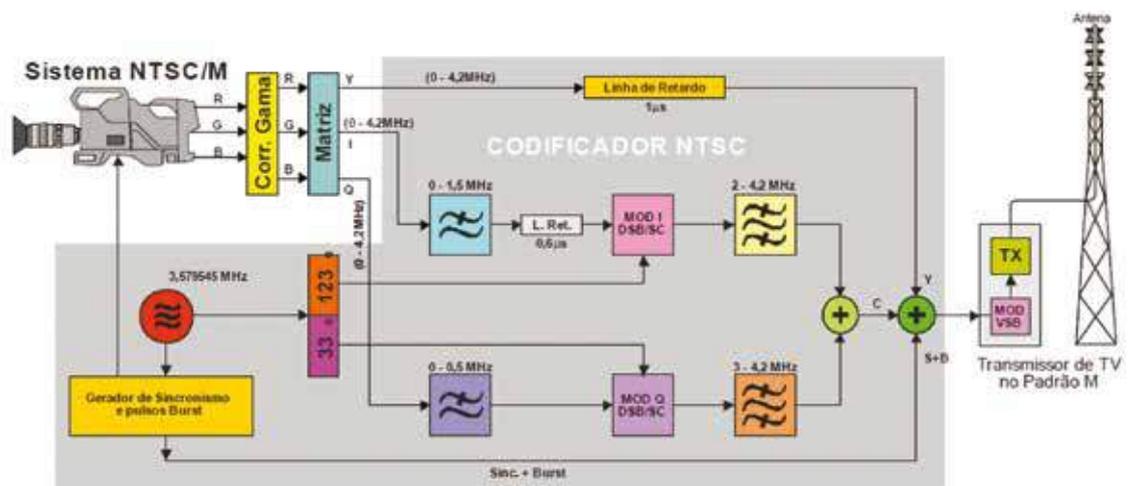


Fig. 1.27

No processo de modulação em quadratura é necessário a utilização de duas linhas de retardo de tempos de 0,6 e 1 microssegundo. As linhas de retardo são usadas para compensar as diferenças de tempo de propagação dos sinais I e Q através dos circuitos do modulador em quadratura em relação ao sinal Y. No Sistema NTSC a componente do sinal Q modulado atinge o circuito soma com atraso de 1 microssegundo em relação ao sinal Y e de 0,6 microssegundos em relação ao sinal I. Para que os três sinais cheguem ao mesmo tempo no circuito soma, são utilizados circuitos de atraso do tempo de propagação chamados linha de retardo.



No caso da Figura 1.27 são inseridas linhas de retardo de 1 microssegundo no caminho do sinal Y e de 0,6 microssegundos no caminho do sinal I. Desta forma, os três sinais Y, I e Q são somados simultaneamente no tempo, caso contrário, a imagem reproduzida seria uma superposição desfasada dos sinais Y, I e Q. Para exemplificar a desfasagem dos sinais I, Q e Y, supor uma imagem de um círculo amarelo-claro (50%Am +50%Br), como ilustrado na Figura 1.28.

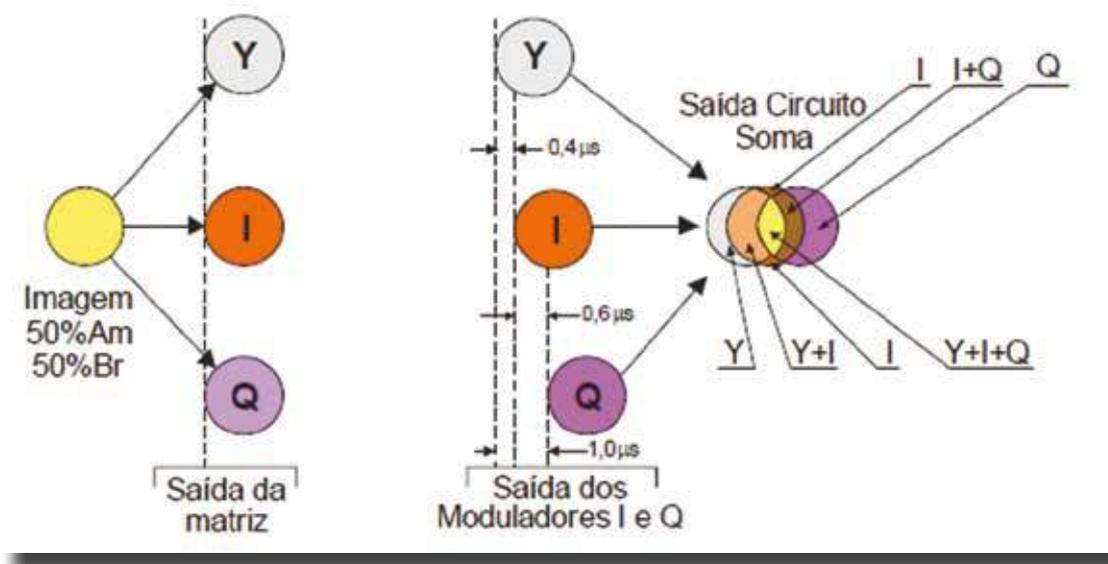


Fig. 1.28

A velocidade da corrente elétrica num condutor metálico é da ordem de 300.000 km/seg. Para se conseguir um atraso de 63,5 microssegundos seria necessário um condutor de 19,05 km. Utilizando-se da velocidade das ondas ultrassônicas nos sólidos, cerca de 3 km/seg., o comprimento a ser percorrido para um atraso de 63,5 microssegundos é de 19,05 cm, o que é perfeitamente realizável na prática.

As linhas de retardo atualmente usam um vidro especial com coeficiente de dilatação que compensa o aumento de velocidade da onda ultrassônica causada pela elevação de temperatura. Desta forma, o atraso é mantido constante e independente das variações de temperatura.

Os transdutores são cristais de titanato de zircônio e chumbo, que polarizados eletricamente apresentam propriedades piezoelétricas, convertendo sinais elétricos em vibrações mecânicas



ultrassônicas e vice-versa. Os transdutores são formados por um cristal de aproximadamente 2 mm de espessura, colados em uma das superfícies do vidro utilizado como meio de propagação das ondas ultrassônicas. Dependendo do tempo de atraso requerido, as linhas de retardo podem ter formas diferentes, como apresentado na Figura 1.29.

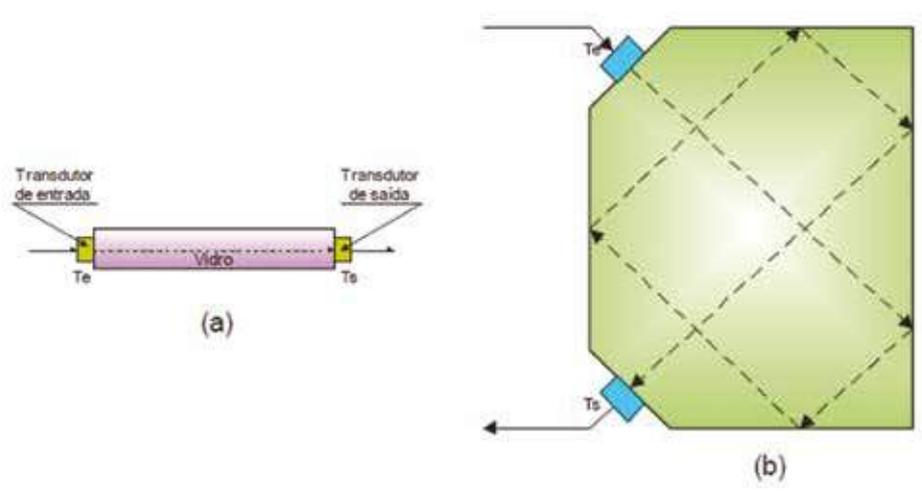


Fig. 1.29

O transdutor TE converte os sinais elétricos em vibrações ultrassônicas que se propagam através do vidro até atingir o transdutor TS, sendo novamente reconvertidas em sinal elétrico. O sinal elétrico de saída da linha de retardo tem, naturalmente, menor potência que o sinal de entrada, para compensar esta perda utiliza-se uma amplificação apropriada em cerca de 12 dB (16 vezes).

Demodulação do Sinal NTSC/M

O sinal de vídeo composto (Y+C+S+B) é demodulado através de demodulação síncrona com os demoduladores montados na mesma disposição dos circuitos do modulador do transmissor. A Figura 1.30 apresenta o diagrama de blocos do demodulador NTSC, também denominado de Codificador NTSC. O filtro Passa-banda (2 a 4,2 MHz) colocado na entrada, separa a região que contém as componentes mais significativas do sinal de crominância com a portadora suprimida de 3,574595 MHz.



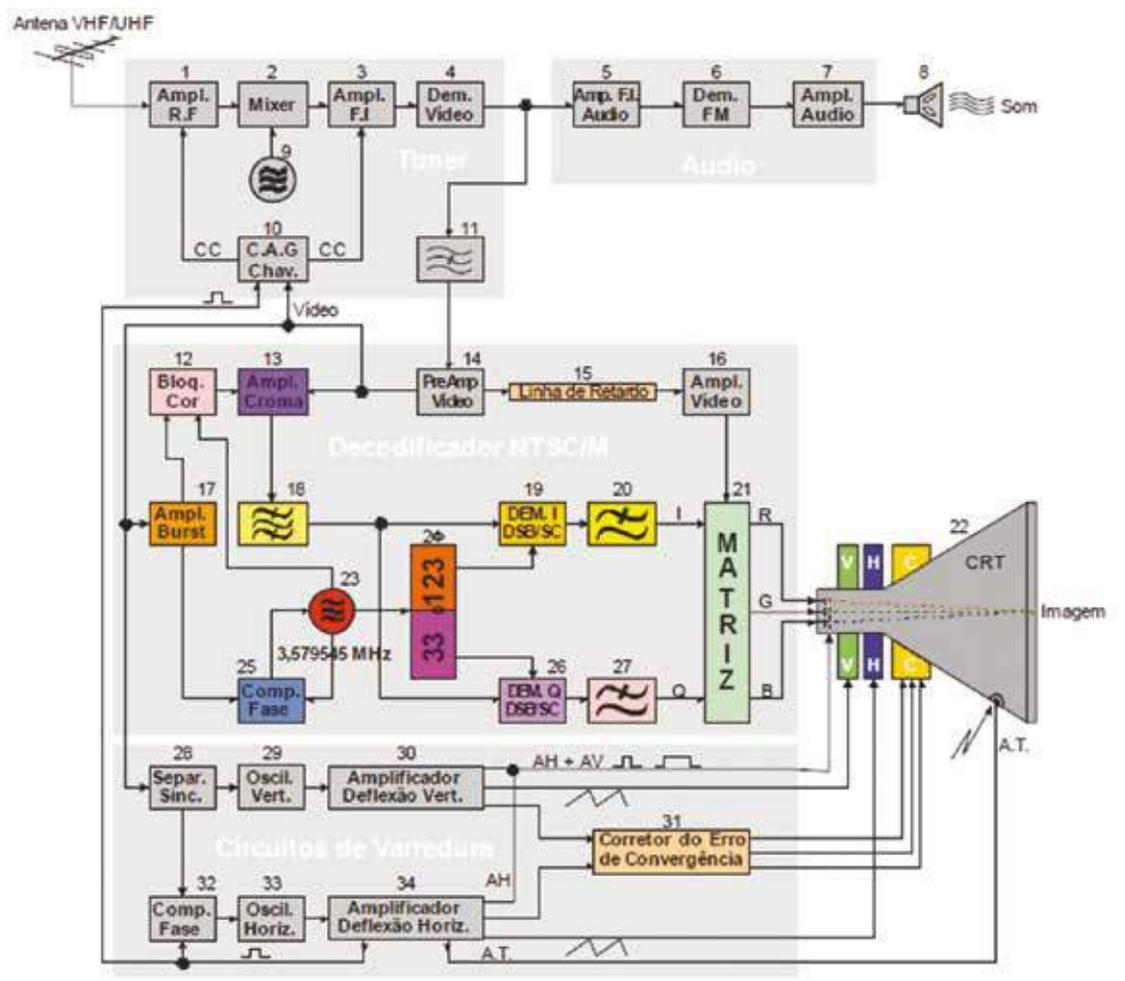


Fig. 1.31

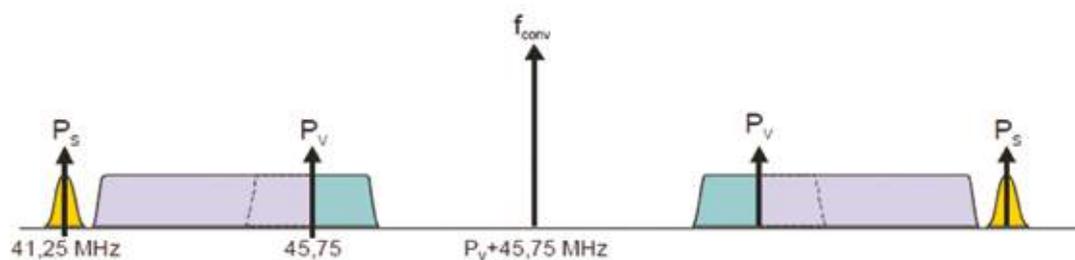


Fig. 1.32

OSCILADOR LOCAL (9)

Gera a frequência de conversão necessária para o batimento, com o sinal do canal sintonizado no amplificador de RF para produzir a faixa de FI sempre na mesma posição.

A frequência do oscilador local é dada por:

$$f_{OL} = f_{p\text{canal}} + f_{F.I.}$$



AMPLIFICADOR DE F.I. (3)

Tem uma faixa de passagem de 6 MHz (padrão M) onde a subportadora de vídeo de qualquer canal sintonizado cai sempre na frequência de 45,75 MHz e a subportadora de áudio em 41,25 MHz. Os filtros deste amplificador devem ser ajustados para que a inclinação da curva próxima da subportadora de vídeo tenha as mesmas características do Flanco de Nyquist. Esta condição é fundamental para uma perfeita demodulação do sinal AM-VSB. (Vide item 3.4.7) A Fig. 3.33 apresenta a curva característica de um amplificador de FI de um recetor do padrão M.

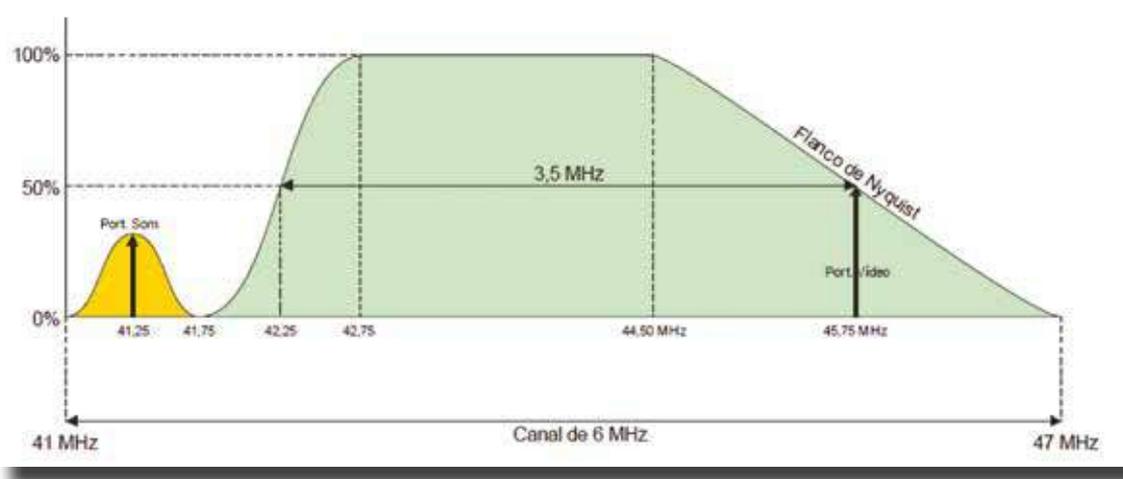


Fig. 1.33

DEMODULADOR DE VÍDEO (4)

A modulação AM-VSB com Flanco de Nyquist possibilita a utilização do detetor de envoltório como demodulador dos sinais de vídeo. O detetor de envoltório deve ser dimensionado para operar na frequência da subportadora de vídeo em 45,75 MHz. O sinal de saída do demodulador, além do sinal de vídeo, tem o sinal de áudio modulado em FM com subportadora em 4,5 MHz. (Padrão M).

FILTRO CORTA-FAIXA (11)

Elimina o sinal de áudio modulado em FM, impedindo-o de aparecer na tela como interferência na imagem. O filtro está centrado na frequência de 4,5 MHz, com uma faixa de corte de +/- 100 kHz em torno desta frequência.



PRE-AMPLIFICADOR E AMPLIFICADOR DE VÍDEO (14,16)

São amplificadores de faixa larga que amplificam sinais elétricos, de frequência zero (corrente contínua) até sinais de frequências da ordem de 4,2 MHz. O sinal de vídeo é fornecido em quatro saídas para suprir os diferentes circuitos de processamento e demodulação dos sinais a cores. Esta pré-amplificação é necessária para fornecer um sinal de vídeo composto com níveis adequados de potência. O amplificador de vídeo amplifica o sinal de luminância Y para a matriz de decodificação das cores R, G e B. O ajuste do contraste altera o ganho do amplificador de vídeo, reforçando os níveis de preto da imagem.

AMPLIFICADOR F.I DE ÁUDIO (5)

Tem banda de passagem de 200 KHz, centrada na frequência de 4,5 MHz. Os sinais de vídeo abaixo de 4,2 MHz são bloqueados para não causar interferência no som reproduzido.

DEMODULADOR FM DE ÁUDIO (6)

O circuito demodulador de áudio pode ser qualquer circuito demodulador FM, entretanto, o mais utilizado nos receptores de TV é o detetor de relação, por trazer incorporado circuitos, limitador e de-ênfase, para melhorar a relação sinal/ruído.

AMPLIFICADOR DE ÁUDIO (7)

Amplifica os sinais de áudio do demodulador FM para o alto-falante produzir a potência acústica exigida.

SEPARADOR DE SINCRONISMO (28)

Separa os pulsos de sincronismo (horizontal e vertical) do sinal de vídeo composto em criando os pulsos de sincronismo horizontal e pulsos de sincronismo vertical.

OSCILADOR DE VARREDURA VERTICAL (29)

Gera uma corrente dente-de-serra na frequência de 60 Hz (padrão M), sincronizada pelo pulso de sincronismo vertical recebido da emissora e extraído do circuito separador de pulsos de sincronismo. Desta forma, o oscilador vertical do receptor fica em fase com o



gerador de varredura vertical da emissora.

AMPLIFICADOR DE DEFLEXÃO VERTICAL (30)

Amplifica a corrente dente-de-serra de 60 Hz para o nível de potência necessário ao funcionamento das bobinas de deflexão vertical. O campo magnético formado pelas bobinas de deflexão vertical desloca o feixe do canhão eletrônico do tubo de imagem no sentido vertical. Fornece também os pulsos de apagamento vertical (A_v), responsáveis pelo apagamento das linhas de retomo vertical.

COMPARADOR DE FASE (32)

Este circuito compara a fase do pulso de sincronismo horizontal (SH) com a fase da frequência de 15.750 Hz (padrão M) do oscilador dente-de-serra horizontal do recetor. Caso haja diferença de fase, uma tensão de controlo é enviada ao oscilador horizontal forçando-o a entrar em sincronismo de fase com o pulso de sincronismo horizontal recebido da emissora. O perfeito sincronismo garante que a reprodução de cada quadro da imagem seja feita da mesma maneira e na mesma posição em que foi explorado pela câmara.

OSCILADOR HORIZONTAL (33)

Gera a frequência dente-de-serra de 15.750 Hz (padrão M), sincronizada pelos pulsos de sincronismo horizontal (SH) recebidos da emissora.

AMPLIFICADOR DE DEFLEXÃO HORIZONTAL (34)

Amplifica a corrente dente-de-serra horizontal para as bobinas de deflexão, horizontal, responsáveis pelos deslocamentos horizontais do feixe eletrônico. Fornece também os pulsos de apagamento horizontal (A_H) e pulsos para o chaveamento do CAG. A alta-tensão necessária para acelerar o feixe eletrônico é produzida em um autotransformador denominado fly-back. Esta tensão em um televisor com tubo de 74 cm (29") de diâmetro é da ordem de 30 kV.

CAG CHAVEADO (10)

A função do CAG (Controle Automático de Ganho) é manter o contraste da imagem constante (mesmo sinal de vídeo) para diferentes níveis de potência do sinal recebido pela antena. Para melhorar o desempenho do CAG, este circuito é comandado pelos pulsos



de retomo horizontal, fornecidos pelo amplificador horizontal, para o chaveamento da condução do retificador do CAG. Uma amostra do sinal de vídeo é utilizada para que a tensão na saída do circuito CAG seja proporcional à intensidade do sinal recebido pela antena. Neste caso, o sinal é retificado somente quando os pulsos de sincronismo e apagamento horizontal estão presentes. A vantagem do CAG chaveado é fornecer uma tensão para o controle do ganho dos amplificadores de RF e F.I isenta de ruídos e com uma resposta bem mais rápida nas variações de sinal, devido à constante de tempo do retificador ser menor que as normalmente utilizadas em circuitos CAG convencionais. Na sequência serão descritas as funções apenas dos blocos de fundo colorido pertencentes aos estágios que identificam e processam os sinais a cores I e Q existentes apenas nos recetores a cores NTSC/M.

BLOQUEIO DE COR (12)

O circuito bloqueio de cor ou killer recebe a portadora de cor do oscilador de 3,58 MHz do recetor e o sinal burst proveniente da emissora. Na ausência de qualquer um deles um sinal elétrico é enviado ao amplificador de croma bloqueando-o, para evitar que sejam introduzidos ruídos indesejáveis que apareceriam como chuva colorida na falta de sinais a cores.

AMPLIFICADOR DE CROMA (13)

Amplifica o sinal de vídeo para alimentar os circuitos demoduladores dos sinais I e Q. Na ausência de sinais a cores o amplificador de croma é bloqueado por um comando vindo do circuito bloqueio de cor.

LINHA DE RETARDO (15)

O sinal de luminância Y e os sinais diferença de cor percorrem circuitos eletrônicos com tempos de propagação diferentes. Para compensar esta diferença de tempo é introduzido no caminho do sinal Y uma linha de retardo que causa um atraso de 1 microssegundo. Este valor é típico para os recetores NTSC, podendo sofrer pequenos desvios dependendo do tipo de circuito utilizado.



AMPLIFICADOR BURST (17)

Separa e amplifica apenas o sinal burst de 3,58 MHz, necessário para sincronizar o oscilador local de 3,579545 MHz do recetor. Fornece também uma amostra do sinal burst para o circuito de bloqueio de cor.

FILTRO PASSA-FAIXA (2 – 4,2 MHz) (18)

Este filtro tem a função de separar do sinal de vídeo composto a faixa de frequências que contém os sinais I e Q modulados, enviando-a simultaneamente aos demoduladores de I e Q.

DEMODULADOR I (19)

O demodulador I é na verdade um modulador balanceado que recebe a portadora de 3,579545 MHz desfasada de 90° em relação à portadora de 3,579545 MHz do demodulador de Q.

FILTRO PASSA-BANDA (0 – 1,5 MHz) (20)

Os subprodutos da desmodulação síncrona do sinal I acima de 1,5 MHz são eliminados por este filtro para se obter o sinal I puro.

MATRIZ DE DECODIFICAÇÃO RGB (21)

Matriz resistiva que combina os sinais I, Q, e Y para recuperar os sinais R, G, e B. Os sinais R, G e B atuam diretamente na grade de controlo dos canhões R, G e B do cinescópico tricromático, controlando a emissão de eletrões de acordo com a intensidade dos sinais de vídeo, o que provoca na tela a formação de pontos mais ou menos iluminados.

OSCILADOR DE 3,579545 MHz (23)

A modulação individual dos sinais I e Q é feita em AM-DSB/SC, a demodulação deve ser demodulação síncrona. Desta forma, a portadora suprimida na transmissão deve ser gerada no recetor sincronizada em frequência e fase com a do transmissor. A sincronização é obtida com a tensão de controlo do oscilador proveniente do circuito Comparador de Fase.



DEFASADOR $33^\circ/123^\circ$ (24)

No transmissor, a portadora de 3,579545 MHz foi desfasada de $33^\circ/123^\circ$ para os moduladores de Q e I respetivamente. Portanto, na receção, esta desfasagem deve ser mantida para que os sinais I e Q sejam recuperados perfeitamente.

COMPARADOR DE FASE (25)

Compara a fase do sinal burst com a fase da portadora de 3,579545 MHz gerada no recetor. No caso de haver diferença de fase, uma tensão de comando é enviada ao oscilador de 3,579545 MHz do recetor forçando-o a entrar em fase com o sinal burst, também de 3,579545 MHz, proveniente da emissora, garantindo assim um perfeito sincronismo entre as portadoras de cor geradas no transmissor e no recetor.

DEMODULADOR Q (26)

Idêntico em todos os aspetos ao demodulador de I.

FILTRO PASSA-BAIXO (0 – 0,5MHz) (27)

Tem a mesma função do filtro do sinal I, ou seja, eliminar todos os subprodutos da demodulação síncrona de Q acima de 0,5 MHz.

CIRCUITOS DE CONVERGÊNCIA (31)

A deflexão dos três feixes de eletrões ocorre com erros de geometria, principalmente nas partes periféricas da tela. A Fig. 2.33 representa uma imagem retangular branca sem correção do erro de convergência, com o sistema de varredura perfeitamente ajustado para as regiões centrais da tela.

Os circuitos de convergência são divididos em dois grupos: convergência estática e dinâmica. A convergência estática faz com que os três feixes passe pelo mesmo furo da máscara perfurada para atingir um único ponto de imagem. Fora da região central a correção é feita através dos circuitos de convergência dinâmica que funcionam acionados por pulsos provenientes das deflexões horizontal e vertical. Nos tubos em linha os circuitos de convergência são simplificados e alguns tipos possuem apenas convergência estática montada dentro do tubo.



SISTEMA PAL/M

O Sistema NTSC, desde o início, apresentou acentuada tendência para erros de fase. O matiz é determinado pela relação de fase entre o sinal de crominância modulado contido numa linha visível e o sinal burst colocado no pórto posterior do pulso de apagamento horizontal. Qualquer variação aleatória nesta relação causa a reprodução de matizes incorretos pelo recetor. Os erros de fase podem ocorrer em qualquer ponto da complexa cadeia de circuitos existentes entre o modulador do transmissor e o demodulador do recetor distante, dificultando manter a distorção global do sistema em níveis toleráveis.

O Sistema PAL (Phase Alternating Line), que significa fase alternada linha-a-linha, foi desenvolvido a partir do NTSC pelo Dr. Walter Bruch, da Telefunken Alemã, com dois objetivos:

- Evitar que erros de fase provoquem mudanças na cor da imagem reproduzida.
- Reduzir, consideravelmente, os erros de cromaticidades produzidos na modulação em quadratura pela redução de faixa do sinal Q.

Fundamentalmente, o sistema PAL compensa os erros de fase do sinal de crominância pela inversão do mesmo linha-a-linha. A Figura 1.34 representa a transmissão do sinal de crominância numa sequência de 4 linhas nos sistemas NTSC e PAL.

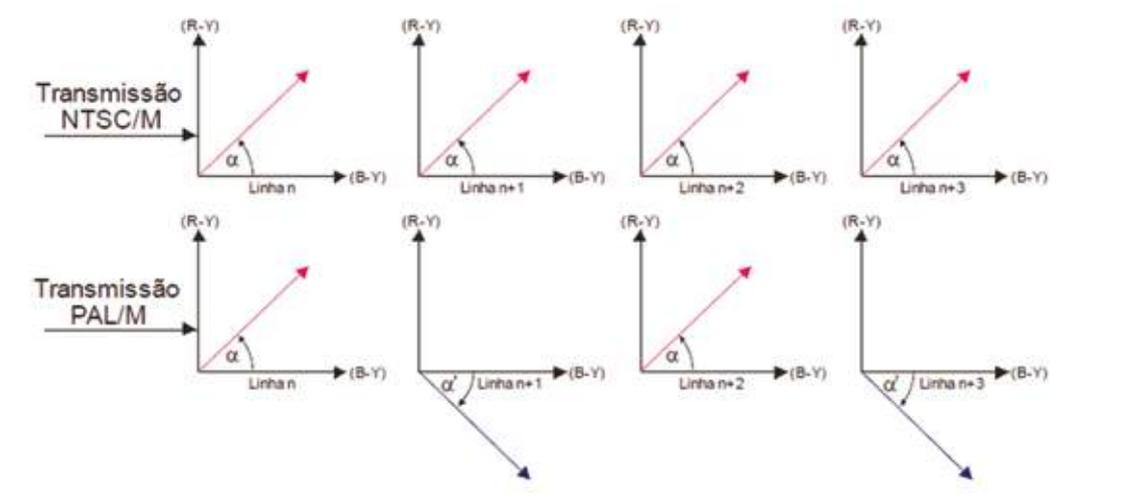


Fig. 1.34



Observa-se da Figura 1.34 que da transmissão do sinal de crominância C pelo sistema PAL ocorre uma inversão de fase nas linhas pares, conseqüentemente para que a reprodução seja perfeita é necessária uma reversão de fase das linhas pares no recetor.

A Figura 1.35 representa a transmissão do sinal de crominância C com erro de fase de 10 graus pelos sistemas NTSC e PAL. Observa-se que após a reversão (Figura 1.35c e d) das linhas 2 e 4 no recetor PAL o sinal de crominância C desloca alternadamente de 10 graus de um lado e outro com relação ao sinal C original.

Portanto, a média entre duas linhas consecutivas produz a cor original com uma ligeira redução de amplitude, o que provoca uma pequena redução na saturação da cor (Figura 1.35d).

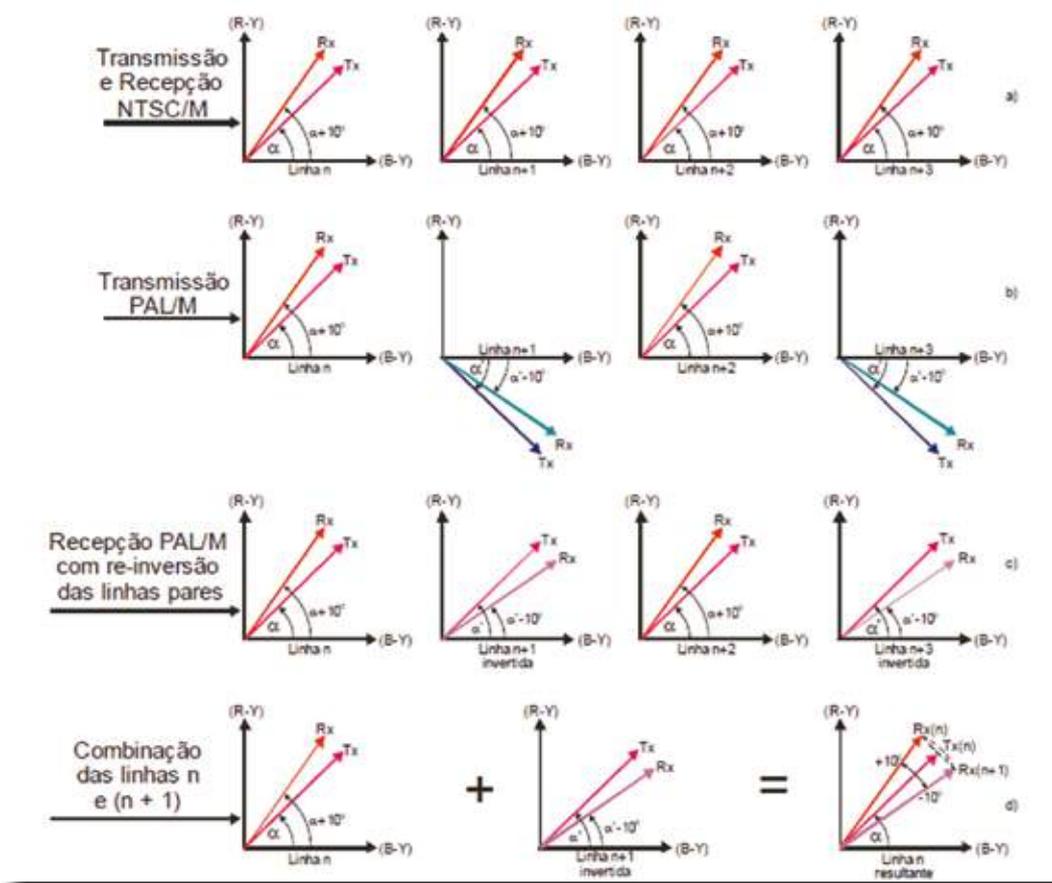


Fig. 1.35

A síntese entre as duas linhas, compensando o erro de matiz, pode ser realizada opticamente na tela do cinescópio pelo olho humano que observará a cor média entre duas linhas sucessivas ou eletronicamente por meio do decodificador PAL. Os recetores que adotam a primeira alternativa são chamados de recetores PAL simplificados, solução



esta largamente utilizada nos recetores portáteis e de pequeno porte. O recetores de tela de maior diâmetro adotam a solução da linha de retardo (recetores delay line) para a neutralização dos erros de fase. Deve-se ressaltar que as diferenças entre os recetores PAL simplificados e PAL delay line localizam-se apenas nos recetores, do lado do transmissor não há qualquer diferença.

Espectro do Sinal de Vídeo Composto PAL/M

O sistema PAL, como o NTSC, utiliza a modulação em quadratura para transmitir os sinais diferença de cor. Pelas razões expostas no item anterior são utilizados os sinais U e V, transmitidos com largura de faixa total de 1,5 MHz, no lugar dos sinais I e Q do sistema NTSC. A possibilidade de transmissão dos sinais U e V com mesma largura de faixa resulta em outra grande vantagem do sistema PAL.

No recetor PAL os sinais U e V modulados provenientes do transmissor são separados no decodificador PAL antes dos demoduladores síncronos correspondentes. Desta forma, cada demodulador recebe apenas as componentes espectrais correspondentes dos sinais U e V, modulados em AM-DSB/SC.

Portanto, as diafotias que se manifestariam por erros de fase ou por consequência da superposição das regiões SSB/SC dos sinais U e V modulados não teriam possibilidade de ocorrer no sistema PAL, devido à desvinculação completa dos espectros de U e V antes da demodulação síncrona. A Figura 1.36 apresenta os espectros de frequências dos sinais U e V antes e depois da modulação.

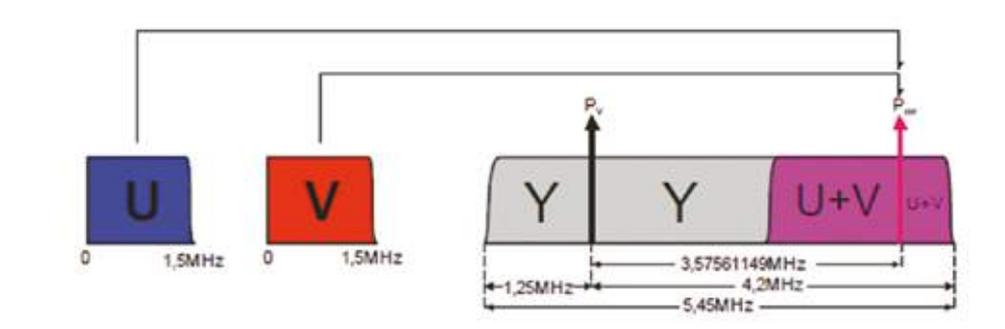


Fig. 1.36

$$U = 0,493(B-Y) = -0,15R - 0,29G + 0,44B$$

$$V = 0,88(R-Y) = 0,61R - 0,52G - 0,096B.$$



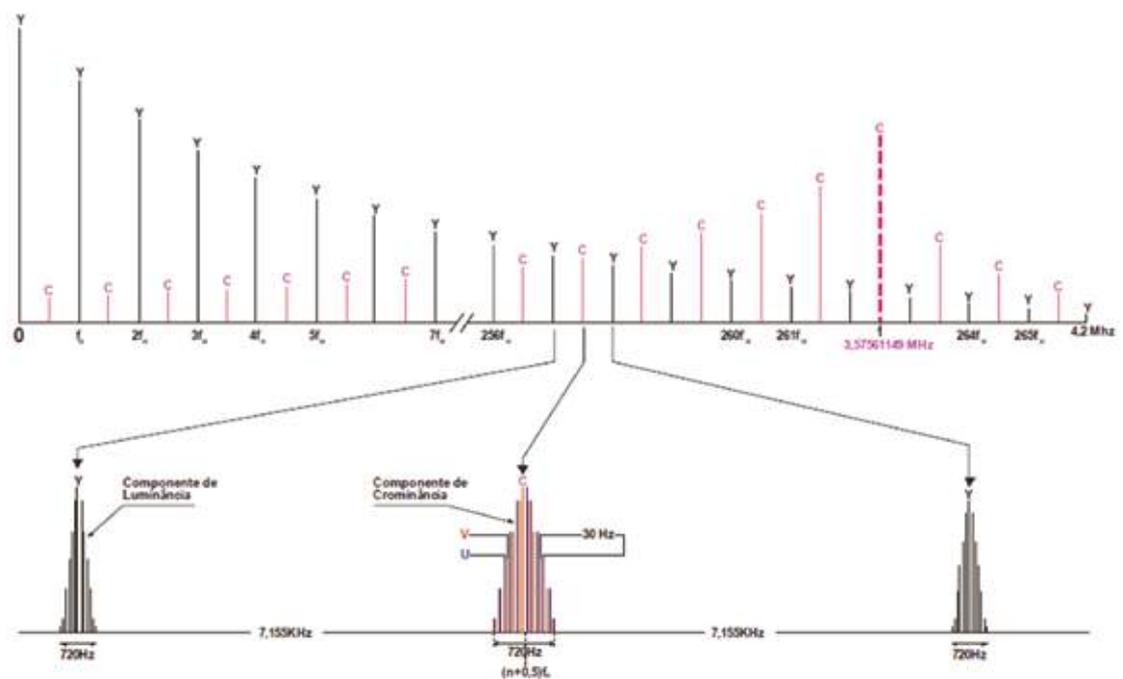


Fig. 1.37

Observar que o espectro do sinal de vídeo do Sistema PAL/M, da Figura 1.37 é muito semelhante ao do Sistema NTSC/M, Figura 1.22. A pequena diferença de frequência entre as portadoras de cor dos dois sistemas é muito pequena para provocar uma diferença significativa no espectro de frequências dos dois sistemas.

Frequência da Subportadora de Cor PAL/M

No sistema PAL a componente modulada do sinal V tem fase invertida linha-a-linha. Esta inversão produz um espectro de frequências com componentes que chegam a coincidir com as componentes do sinal de luminância Y. Para garantir que o espectro dos sinais U e V modulados ocupem os espaços vazios do espectro do sinal de luminância, a frequência da subportadora de cor do sistema NTSC foi ligeiramente modificada para o sistema PAL. A frequência da subportadora do sistema PAL é a frequência do sistema NTSC reduzida de 1/4 de linha:

$$\text{NTSC-M } f_{sc} = (2n+1)f_H/2 = (n+1/2)f_H \quad f_{sc} = 3.579545 \pm 10\text{Hz}$$

$$\text{PAL-M } f_{sc} = (2n+1-1/2)f_H/2 = (n+1/4)f_H \quad f_{sc} = 3,57561149 \pm 10\text{Hz}$$

$n = 227$ e $f_H = 15.734,264$ para o padrão M.



Sinal Burst Alternado – Sincronismo de Cor PAL/M

O sinal burst no sistema PAL, além de servir para sincronizar a subportadora de cor do receptor, é modulado em fase alternada de $\pm 135^\circ$, que é a referência que o receptor necessita para a reversão das linhas pares invertidas na transmissão. A Figura 1.38b apresenta o diagrama vetorial do sinal burst alternado.

A componente U do sinal burst é transmitida com fase constante de 180° . Esta componente é aproveitada no receptor para sincronizar o oscilador de 3,57561149 MHz. A componente V do sinal burst que altera a fase de ± 90 linha-a-linha é aproveitada para controlar a comutação de fase na demodulação das componentes do sinal C na direção do eixo-V. Na verdade, o sinal burst é constituído de dez ciclos completos da subportadora de 3,57561149 MHz colocados no pódio posterior do pulso de apagamento horizontal com fase alternando de $+45^\circ$ em linhas sucessivas em torno do eixo -U. A Figura 1.38ª apresenta a locação do sinal burst no sistema PAL-M.

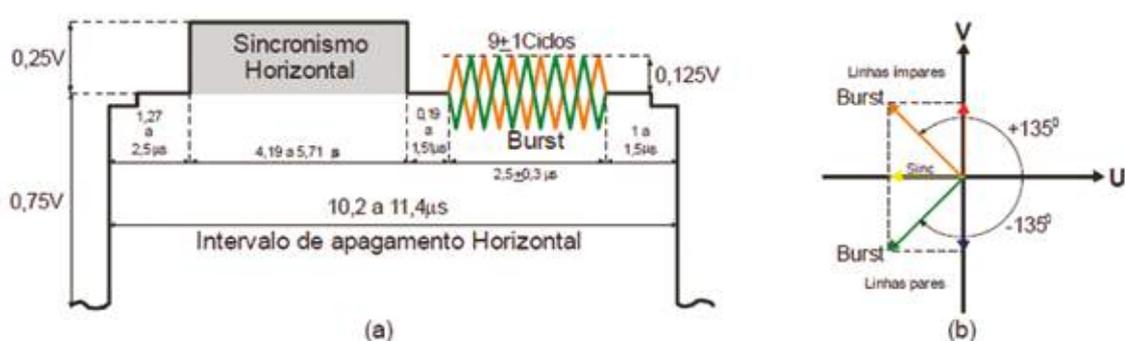


Fig. 1.38

Sinal Composto de Vídeo PAL (Y+C)

O sinal composto de vídeo do sistema PAL é idêntico ao do sistema NTSC, onde a relação de amplitudes entre os sinais Y e C são praticamente as mesmas nos dois sistemas. A Figura 1.39 apresenta o sinal composto de vídeo (Y + C) para uma imagem padrão de 8 barras de cores saturadas, onde os valores de U, V, C e α estão na Tabela 1.5.



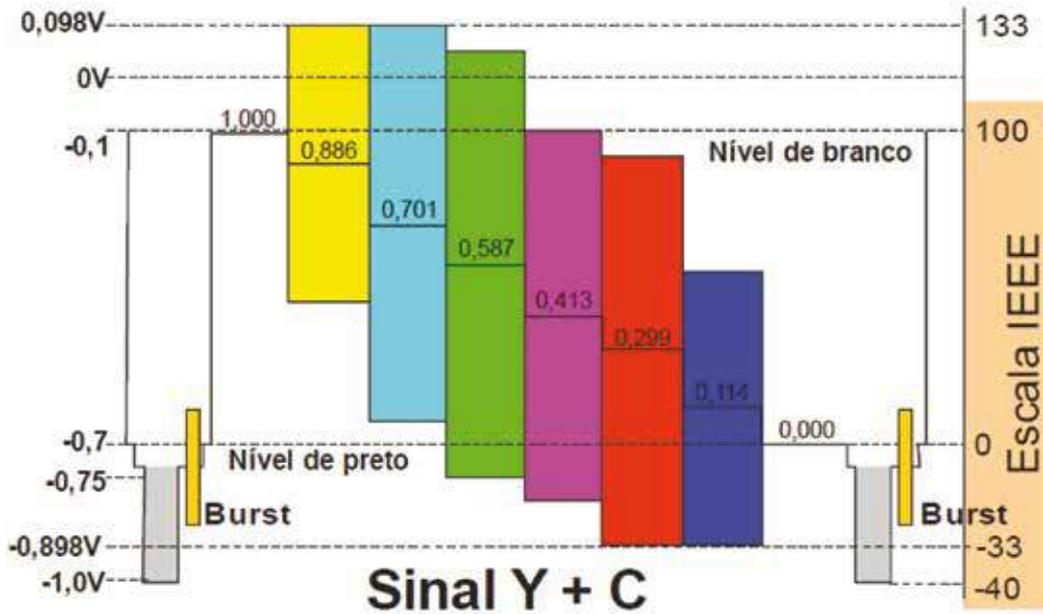


Fig. 1.39

Modulação do Sinal PAL/M – Codificador PAL/M

O sistema PAL fundamenta-se na inversão linha-a-linha do sinal V na Transmissão. Fica evidente a necessidade de se enviar uma informação adicional ao recetor para que ele possa reconhecer as linhas invertidas para reposicionar o sinal V na posição correta e obter um sinal de crominância sem distorção de fase. A Figura 1.40 apresenta o diagrama de blocos do codificador PAL, constituídos por dois moduladores balanceados U e V e pelos circuitos alternadores de fase.

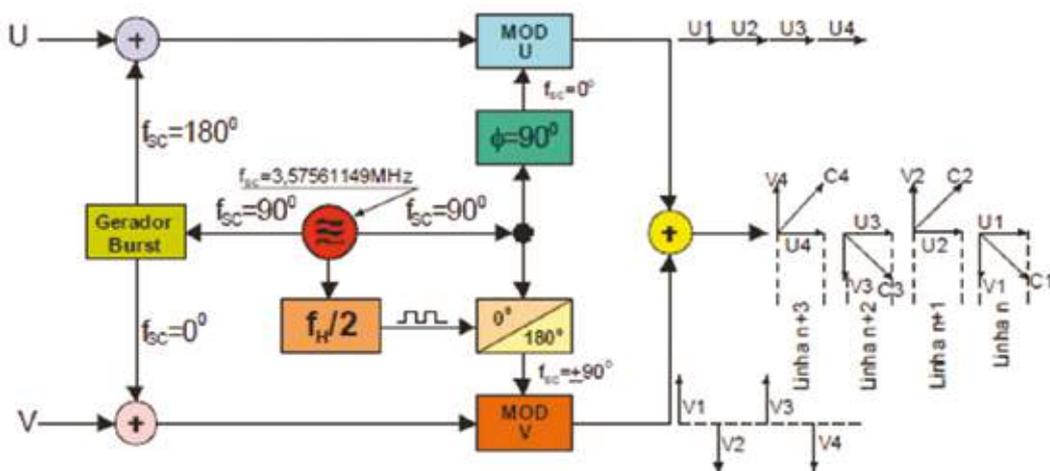


Fig. 1.40



O sinal V é fornecido ao modulador V juntamente com a portadora de 3,57561149 MHz com fase alternando linha-a-linha de $+90^\circ$, proveniente do inversor de fase chaveado comandado pela frequência $f_H/2$. O modulador V é um modulador AM-DSB/SC, onde o sinal de saída possui duas faixas laterais com portadora suprimida. Estas faixas laterais têm fases alternadas linha-a-linha de $\pm 90^\circ$, devido à comutação de fase da subportadora de cor.

Similarmente, o sinal U é aplicado ao modulador U, também AM-DSB/SC, com a subportadora de 3,57561149 MHz desfasada de 90° em relação à subportadora do modulador V, resultando na saída duas faixas laterais com portadora suprimida desfasada de 90° em relação às faixas laterais do sinal V modulado. As faixas laterais dos sinais AM-DSB/SC de U e V são combinadas na saída para formar o sinal de crominância C a ser transmitido.

O sinal burst é fornecido com fase de 180° e 0° , respetivamente, aos moduladores U e V resultando na saída um sinal burst com fase alternando linha-a-linha de $\pm 135^\circ$. Esta alternância de fase do sinal burst é a informação necessária para que o recetor possa identificar corretamente as inversões de fase do sinal V.

Transmissão do Sinal PAL/M

O sistema PAL foi desenvolvido na Alemanha originalmente para os padrões B e G de televisão monocromática, entretanto, pode ser aplicado qualquer outro padrão. A Figura 1.41 apresenta o diagrama de blocos de um transmissor PAL-M básico. Não existem diferenças significativas entre os transmissores NTSC-M e PAL-M, a não ser pelos circuitos de modulação dos sinais diferença de cor.



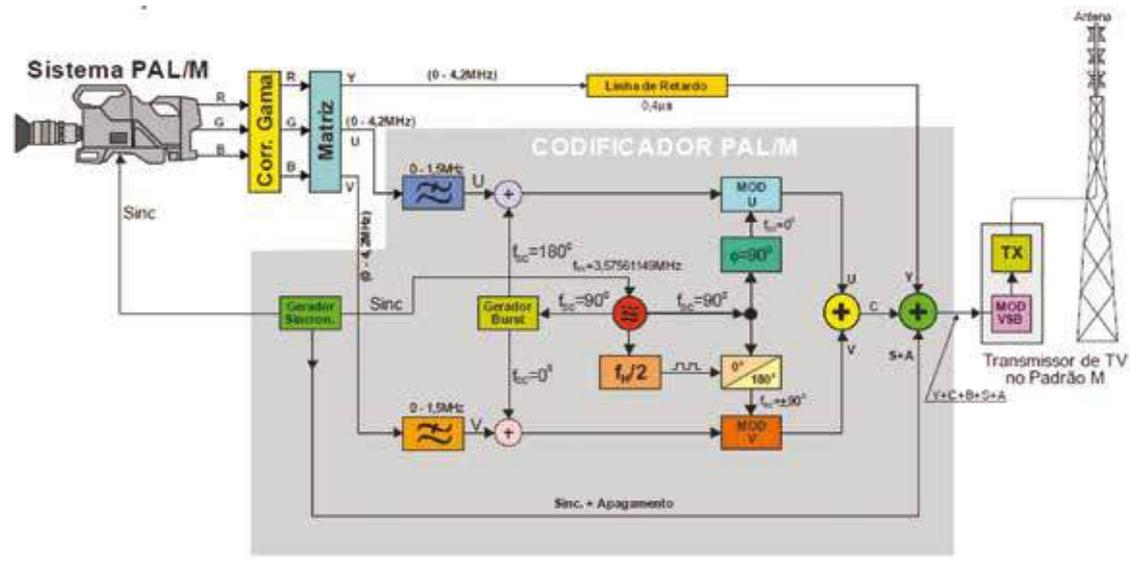


Fig. 1.41

Demodulação do Sinal PAL/M - Descodificador PAL/M

Para evitar a ocorrência de diafotia, o espectro do sinal de crominância deve ser decomposto em dois espectros independentes dos sinais U e V. antes de serem enviados aos demoduladores correspondentes. Da mesma forma, nas linhas em que o sinal de crominância contém componentes de V com inversão de fase, deve haver uma reversão para que os sinais U e V, restaurados na recepção, tenham a mesma relação de fase dos sinais U e V do transmissor. A Figura 1.42 apresenta o diagrama de blocos completo do decodificador PAL.

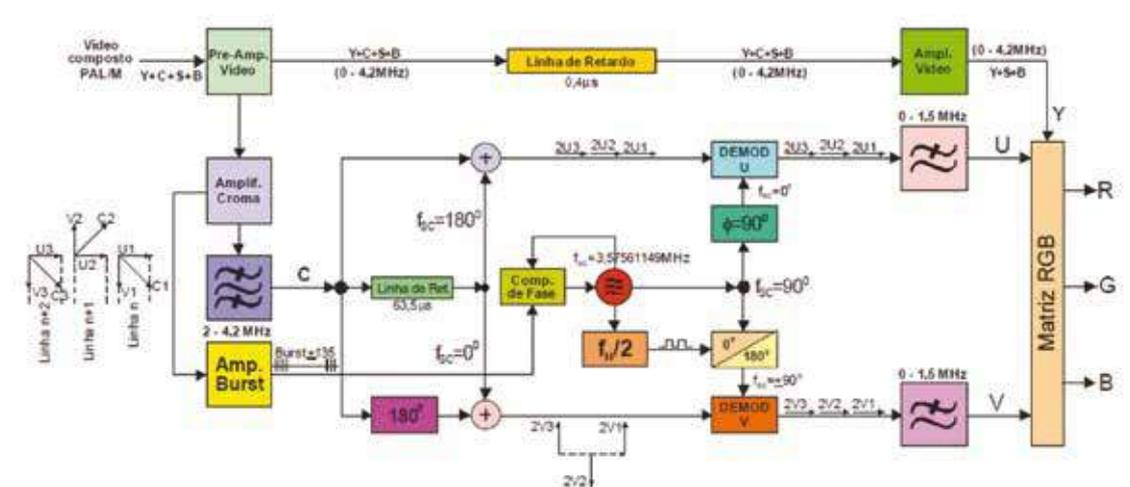


Fig. 1.42



O decodificador PAL faz a pré-separação das componentes moduladas em AM-DSB/SC de U e V por meio de uma linha de retardo e um desfasador de 180° , para combinar os sinais U e V de duas linhas consecutivas do mesmo campo para fornecer a cromaticidade de uma única linha. Evidentemente, duas linhas consecutivas não são simultâneas no tempo, portanto, é necessário ter-se duas linhas diferentes simultâneas no tempo. Para isto, faz-se o sinal de crominância correspondente da linha “n” passar por uma linha de retardo com atraso igual ao tempo de duração de uma linha horizontal (63,5 microssegundos, padrão M), conseguindo-se a simultaneidade no tempo da linha “n” com a linha “n + 1”.

Considerando-se que as amplitudes dos sinais de crominância sejam praticamente idênticas nas linhas “n” e “n + 1” e que esta condição permaneça no processo de retardo, a soma dos sinais direto e retardado, ou seja as linhas “n” e “n+ 1”, resulta no cancelamento das componentes moduladas do sinal V e na soma algébrica das componentes do sinal U na saída do circuito soma do demodulador U. Este cancelamento é devido à diferença de fase de 180° entre as componentes moduladas de V correspondentes às linhas “n” e “n + 1”, introduzidas na codificação PAL no transmissor.

A soma do sinal da linha “n + 1” desfasado de 180° com o sinal atrasado da linha “n” pelo circuito soma do demodulador V corresponde à diferença entre o sinal da linha “n” e “n + 1” provocando o cancelamento das componentes do sinal modulado de U e a soma algébrica das componentes do sinal modulado de V. Observa-se, portanto, que os sinais U e V modulados estão desvinculados, embora mantenham entre si uma diferença de fase constante de 90° em valor absoluto. As componentes do sinal V modulado ainda mantêm a característica de inversão de fase linha-a-linha introduzida na transmissão. Esta inversão deve ser removida antes do demodulador ou então por uma inversão alternada de 180° na fase da subportadora do demodulador síncrono de V. O conveniente dimensionamento dos circuitos e linha de retardo do decodificador faz com que a amplitude da soma dos sinais de crominância das linhas “n” e “n + 1” seja a necessária para uma correta reprodução das saturações na ausência de erros de fase. A Figura 1.43 ilustra o funcionamento do decodificador PAL numa sequência de 5 linhas consecutivas do mesmo campo.



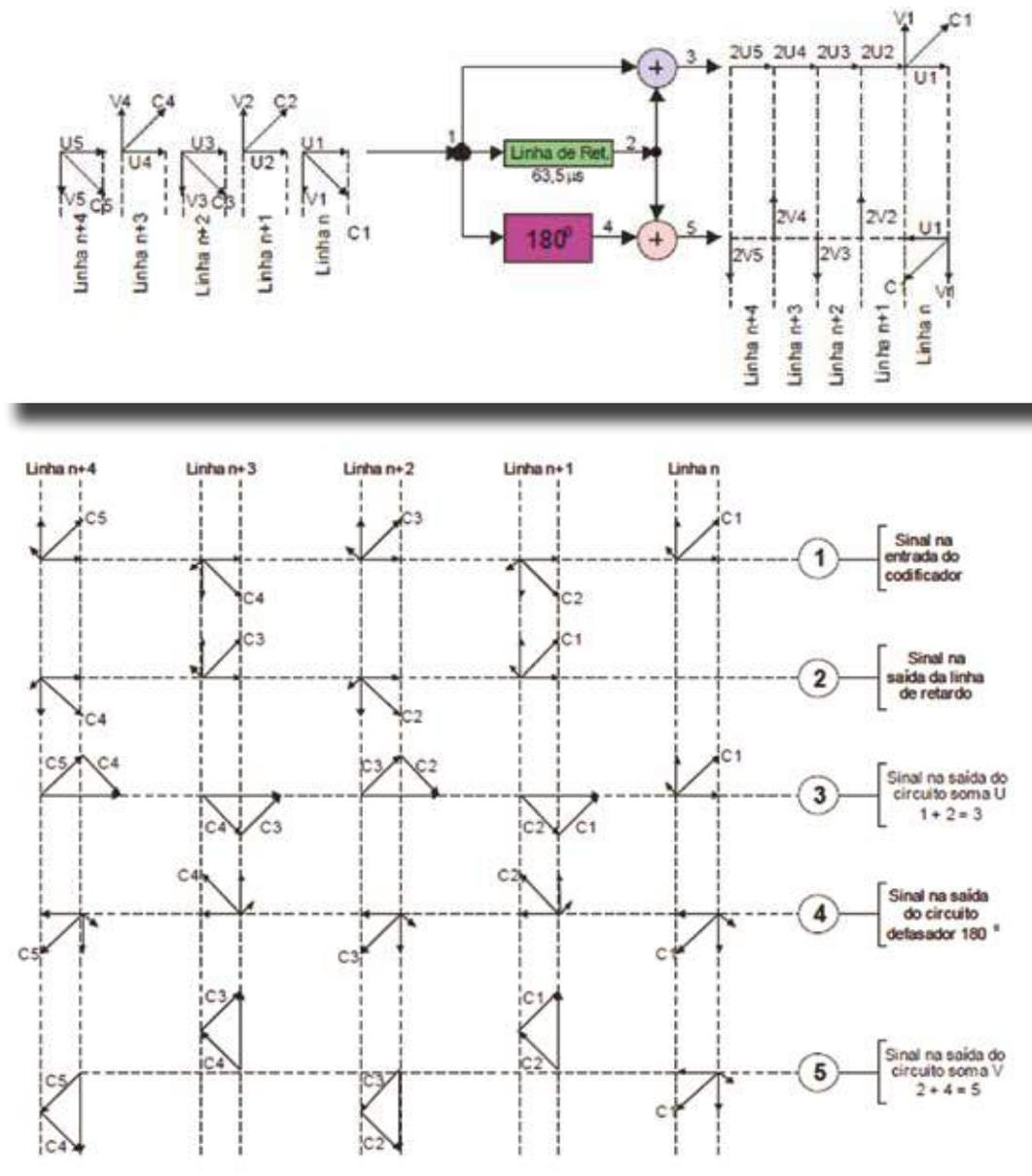


Fig. 1.43

Para simplificar o entendimento do decodificador PAL supõe-se que o sinal de crominância C seja formado apenas de uma cor, representada na Figura 3.43 pelo vetor C decomposto nas componentes U e V.

Observa-se que o vetor C sofre inversões de fase em torno do eixo - U devido às inversões linha-a-linha da subportadora de 3,57561149 MHz. O sinal de crominância da linha “n” percorre a linha de retardo aparecendo na entrada dos circuitos soma juntamente com o sinal correspondente da linha “n+1”. A combinação dos sinais de crominância das linhas “n” e “n+1”, agora simultâneos no tempo, produz na saída do circuito soma do desmodulador U uma componente modulada com o dobro da amplitude do sinal U



modulado. Da mesma forma, a soma do sinal C da linha “n+1” desfasado de 180° com o sinal C da linha “n” atrasado, corresponde à diferença entre o sinal C da linha “n+1” e a linha “n”, produzindo na saída do circuito soma do demodulador V uma componente modulada com amplitude igual ao dobro da amplitude do sinal V modulado. Portanto, fica evidente a separação dos sinais U e V modulados no decodificador PAL antes dos demoduladores síncronos de U e V.

Após os demoduladores tem-se os sinais diferença de cor U e V reconstituídos com as mesmas características apresentadas no transmissor, podendo ser enviados à matriz que recupera as componentes R, G e B para o cinescópio tricromático.

Recetor PAL/M

A exemplo do transmissor e exceto pelos circuitos de decodificação do sinal de crominância, o recetor PAL/M é idêntico ao recetor NTSC/M em sua configuração básica.

A Figura 3.44 apresenta o diagrama de blocos típico de um recetor PAL/M delay line.

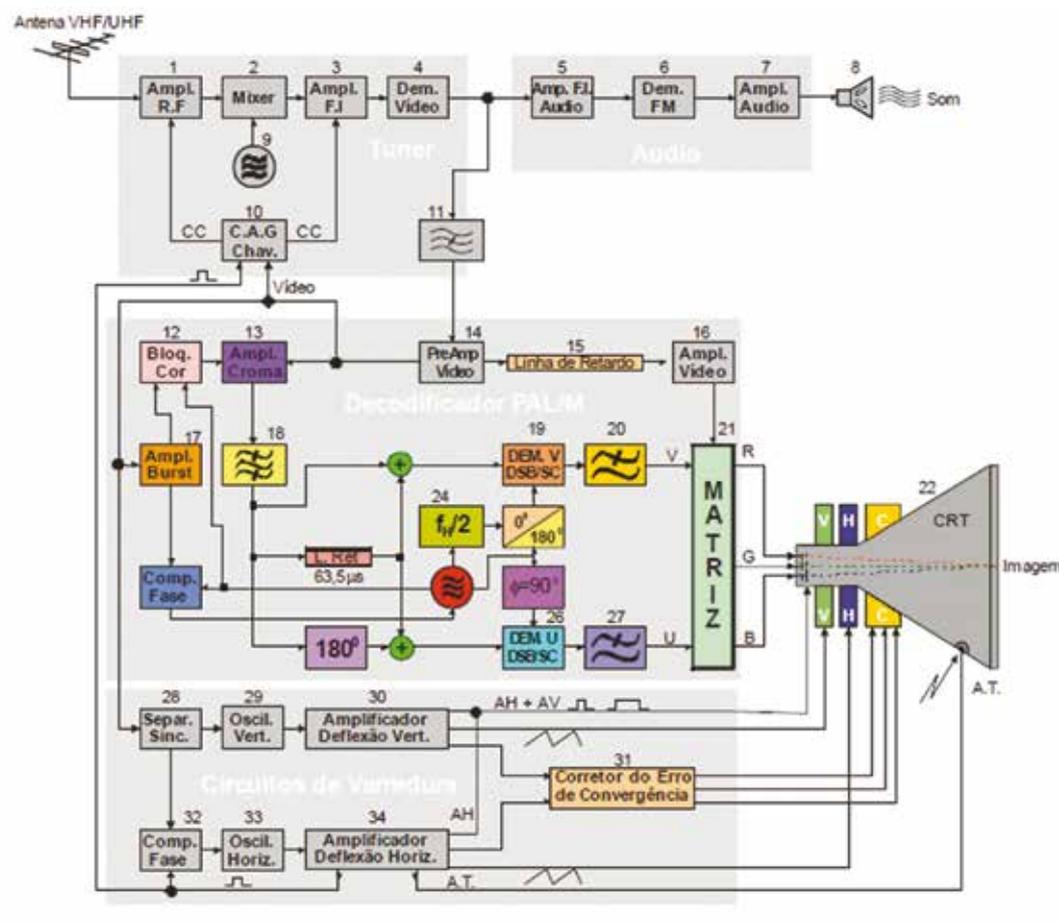


Fig. 1.44



SISTEMA SECAM/L

Com o mesmo objetivo do sistema PAL, o Sistema SECAM foi desenvolvido a França por Henri de France, a partir de 1956, para corrigir os erros de fase transmissão dos sinais diferença de cor apresentados pelo sistema NTSC. O Sistema SECAM passou por várias fases de desenvolvimento, denominadas de SECAM I, II e III. Atualmente foi consolidado com a otimização do SECAM III nominado simplesmente SECAM.

O Sistema SECAM baseia-se na possibilidade de redução da resolução vertical sem perda significativa da qualidade de imagem e na capacidade limitada do olho humano em perceber pequenos detalhes a cores. Por outro lado, várias medições realizadas em diversos tipos de imagens diferentes indicaram que as mudanças cromáticas de duas linhas consecutivas do mesmo campo são insignificantes ou mesmo imperceptíveis ao olho humano. Pode-se concluir, portanto, que não é necessário transmitir ao mesmo tempo dois sinais diferença de cor (R-Y) e (B-Y). Estes sinais podem ser perfeitamente transmitidos um após o outro em linhas consecutivas do mesmo campo.

O receptor combina as informações de cores de duas linhas consecutivas não simultâneas no tempo através de uma memória analógica (linha de retardo), onde se retém a sequência de sinais de uma linha combinando-os com os da linha seguinte. Desse sistema surgiu a denominação de SECAM (Sequentielle à Mémoire), que significa transmissão sequencial com memória. O Sistema SECAM foi adotado pela França e muitos países do leste europeu que o adaptaram aos seus próprios padrões de televisão monocromática. A Figura 1.45 ilustra o princípio funcionamento básico do sistema SECAM.

Nos sistemas NTSC e PAL a modulação dos sinais diferença de cor é feita em quadratura com portadora suprimida, onde as componentes (R-Y) e (B-Y) são transmitidas simultaneamente. No Sistema SECAM estas componentes são transmitidas numa sequência não simultânea, onde a modulação em quadratura não é mais necessária, portanto, o tipo de modulação pode ser escolhido livremente.



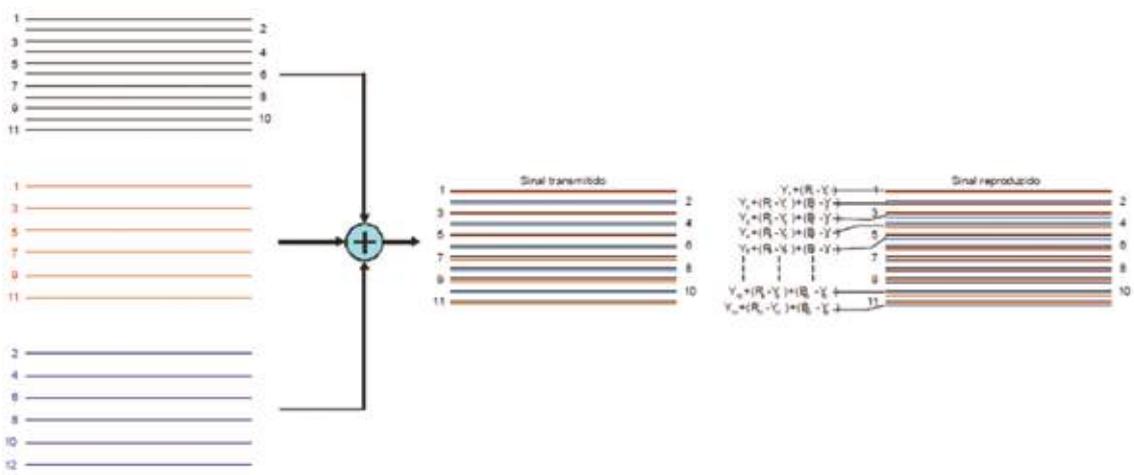


Fig. 3.45

O Sistema SECAM adotou a modulação em frequência (FM) para a transmissão dos sinais diferença de cor. Devido à modulação FM, o sistema SECAM é praticamente isento de erros de fase como também é impossível ocorrer erros de saturação nas cores. Entretanto, apresenta maior grau de interferência nos recetores monocromáticos que os outros dois sistemas. Para minimizar esta interferência, as subportadoras dos moduladores FM são atenuadas para não causar interferência visível nos recetores monocromáticos. Esta atenuação deve ser compensada no recetor para não causar distorção na reprodução da imagem a cores.

Modulação dos Sinais Diferença de Cor DR e DB

O Sistema SECAM usa os sinais diferença de cor DR e DB, que são na verdade os sinais $(R-Y)$ e $(B-Y)$ ponderados, para proporcionar os desvios de frequências requeridos pela modulação FM. A razão desta ponderação é ter um sinal de crominância FM com amplitude aproximadamente constante para os dois sinais DR e DB.

$$DR = -(R-Y)/0,525 = -1,9(R-Y)$$

$$DB = (B-Y)/0,670 = 1,5(B-Y)$$

A modulação em frequência utiliza no modulador FM de DR desvio nominal de + 280 kHz para $DR = \pm 1$. Os desvios máximos estão limitados em + 350 kHz para $DR = 1,25$ e - 506 kHz para $DR = -1,79$, o modulador FM de DB tem desvio nominal de ± 230 kHz para $DB = \pm 1$ e desvios máximos limitados a + 506 KHz para $DB = 2,18$ e -350 kHz para $DB = -1,52$.



Os desvios assimétricos dos sinais DR e DB incluem influência da rede de pré-ênfase dos moduladores FM. A Tab. 1.7 apresenta os valores correspondentes aos sinais DR e DB com os respectivos desvios, para um padrão de 8 cores saturadas. A Figura 1.46 apresenta os desvios dos sinais DR e DB para as cores da Tabela 1.7.

Cores	R	G	B	Y	R - Y	B - Y	DR	DB	Desv. DR	Desv. DB	Freq. DR	Freq. DB
Branco	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0	4,40625 MHz	4,250 MHz
Amarelo	1,000	1,000	0,000	0,886	0,114	-0,886	-0,217	-1,322	-45 KHz	-230 KHz	4,36125 MHz	4,020 MHz
Turquesa	0,000	1,000	1,000	0,701	-0,701	0,299	1,335	0,447	280 KHz	78 KHz	4,68625 MHz	4,328 MHz
Verde	0,000	1,000	0,000	0,587	-0,587	-0,587	1,118	-0,876	235 KHz	-150 KHz	4,64125 MHz	4,100 MHz
Magenta	1,000	0,000	1,000	0,413	0,587	0,587	-1,118	0,876	-235 KHz	150 KHz	4,17125 MHz	4,400 MHz
Vermelho	1,000	0,000	0,000	0,299	0,701	0,701	1,335	0,447	280 KHz	78 KHz	4,12625 MHz	4,172 MHz
Azul	0,000	0,000	1,000	0,114	-0,114	0,886	0,217	1,322	45 KHz	230 KHz	4,45125 MHz	4,480 MHz
Preto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0 KHz	0 KHz	4,40625 MHz	4,250 MHz

Tabela 1.7

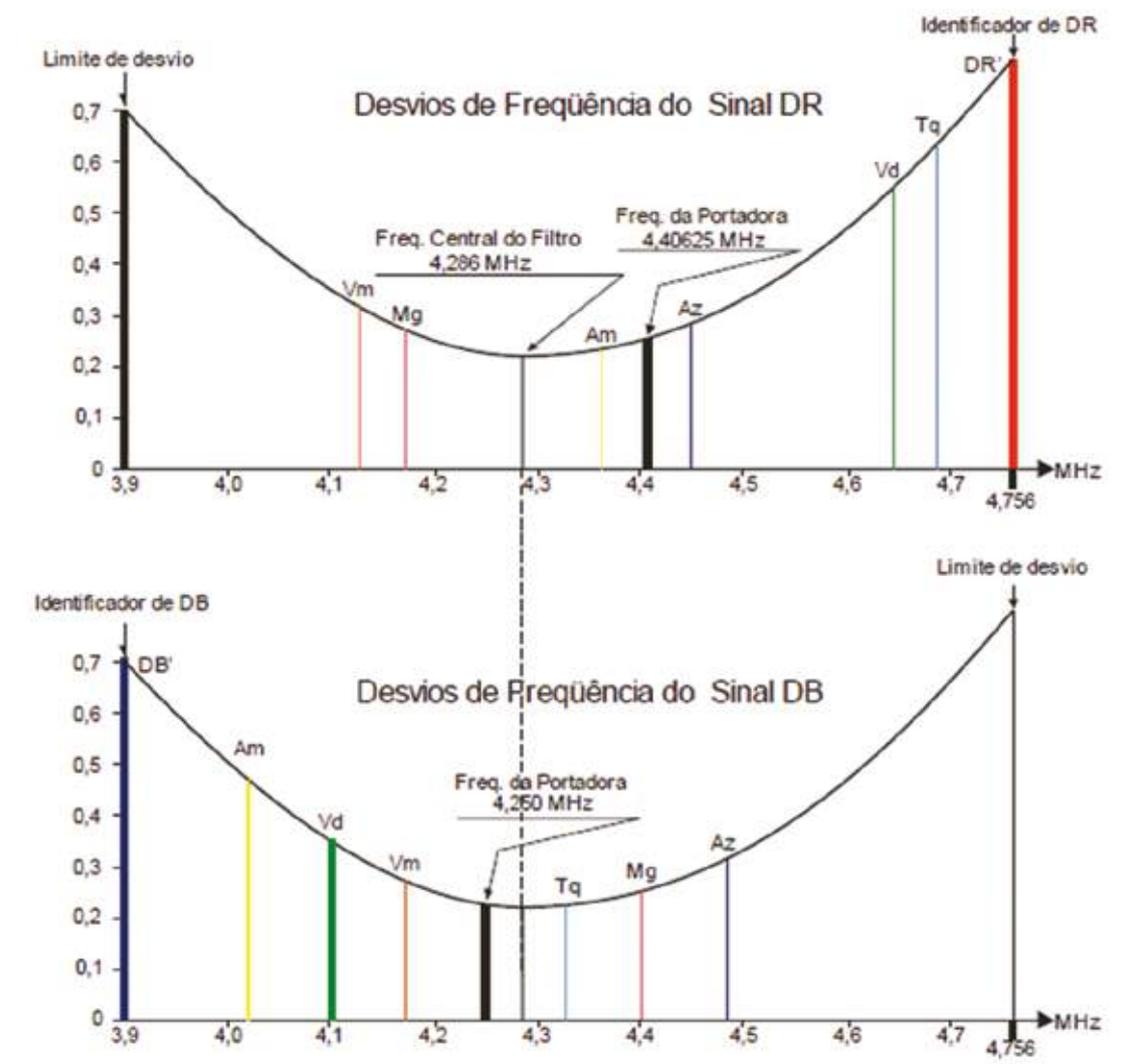


Fig. 1.46



Frequência da Sub-Portadora de Cor

O Sistema SECAM utiliza duas frequências espaçadas de 156,25 kHz como subportadoras de cor, assim definidas:

Subportadora de DR = $282 \times f_H = 282 \times 15,625 \text{ KHz} = 4,406250 \text{ MHz}$

Subportadora de DB = $272 \times f_H = 272 \times 15,625 \text{ KHz} = 4,250 \text{ MHz}$

Observar na Figura 1.46 que devido ao sinal negativo da ponderação DR o desvio máximo ocorre para frequência baixa, enquanto o desvio máximo do sinal DB ocorre em frequência mais alta. Desta forma, pelo processo de modulação FM com duas subportadoras, a largura de faixa total é mantida mesmo que os dois sinais DR e DB sejam de polaridades opostas.

Sinal Composto de Vídeo SECAM (Y+C)

A Figura 1.47 apresenta o sinal composto de vídeo do sistema SECAM para uma imagem padrão de 8 barras de cores saturadas apresentadas na Tab. 1.7.

As formas de onda da Figura 1.47 mostram apenas as variações de amplitude dos sinais DR e DB modulados em FM e não têm nenhuma indicação dos desvios de frequências. O circuito de apagamento deixa passar alguns ciclos da subportadora de cor não modulada no pódio posterior do pulso de apagamento horizontal para evitar ruído excessivo na margem esquerda da imagem. As variações exponenciais das amplitudes correspondentes a cada cor devem-se à rede de pré-ênfase que enfatiza as componentes de maior frequência do espectro do sinal FM.

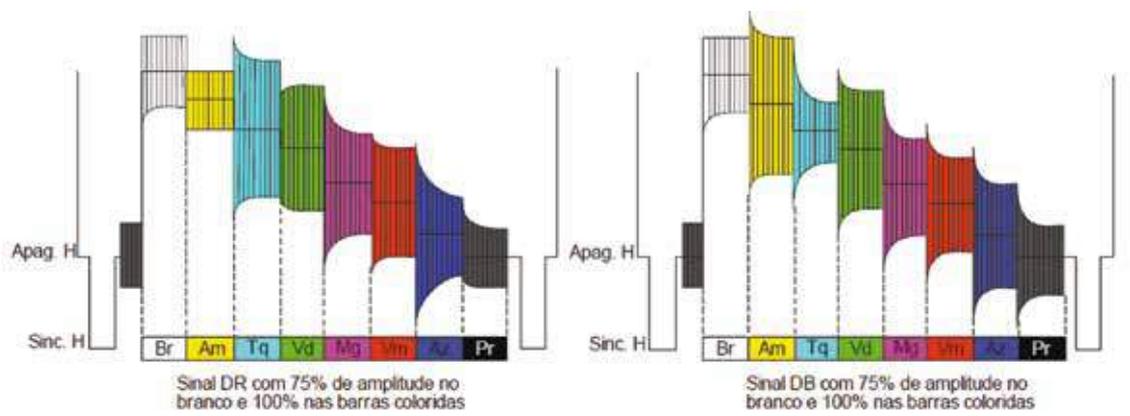


Fig. 1.47



Sinais de Identificação

O sistema SECAM transmite alternadamente os sinais DR e DB em linhas sucessivas. Para que o recetor possa identificar e separar as componentes DR e DB é necessário a transmissão de pulsos de identificação durante o apagamento vertical. A sincronização do comutador do recetor uma vez a cada campo é o suficiente para uma boa reprodução das cores.

Os pulsos de identificação têm a forma apresentada na Figura 1.48, sendo transmitidos alternadamente numa sequência de nove linhas. Como os sinais de identificação DR e DB têm polaridades opostas, esta sequência alternada é utilizada no recetor para sincronizar o comutador do decodificador SECAM.

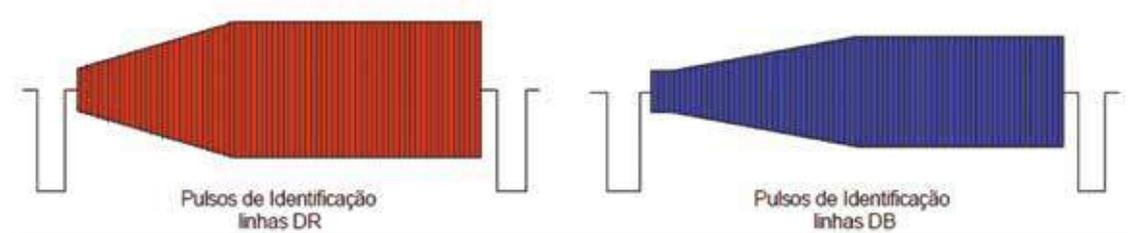


Fig. 1.48

Os pulsos de identificação do sinal DR são positivos: provocando um desvio de +350 kHz na subportadora de 4,406250 MHz e atingindo a frequência de 4,7565 MHz, já os pulsos de identificação do sinal DB são negativos provocando um desvio de -350 kHz na subportadora de 4,250 MHz e resultando na frequência de 3,90 MHz. Os sinais de identificação estabelecem os limites dos desvios máximos da modulação FM do sistema SECAM, como pode ser visualizado na Figura 1.46.

Durante as linhas do campo visível, a polaridade de DR é negativa e DB positiva, fica evidente que na receção deve haver uma inversão de polaridade do sinal DR. Transmitindo pulsos de identificação com DR positivo e DB negativo e considerando a inversão de fase do sinal DR no recetor, ambos serão negativos no recetor, o que provoca um sinal negativo na saída da matriz (G-Y). Este sinal (G-Y) negativo indica a polaridade correta dos sinais DR e DB não interferindo na atuação do comutador. Entretanto, se a posição do comutador estiver incorreta, um pulso (G-Y) positivo será obtido indicando que o comutador deve ter sua posição corrigida.



A Figura 1.49 apresenta a localização dos pulsos de identificação dentro do intervalo de apagamento vertical numa sequência de quatro campos consecutivos para um padrão de 625 linhas e 50 campos.

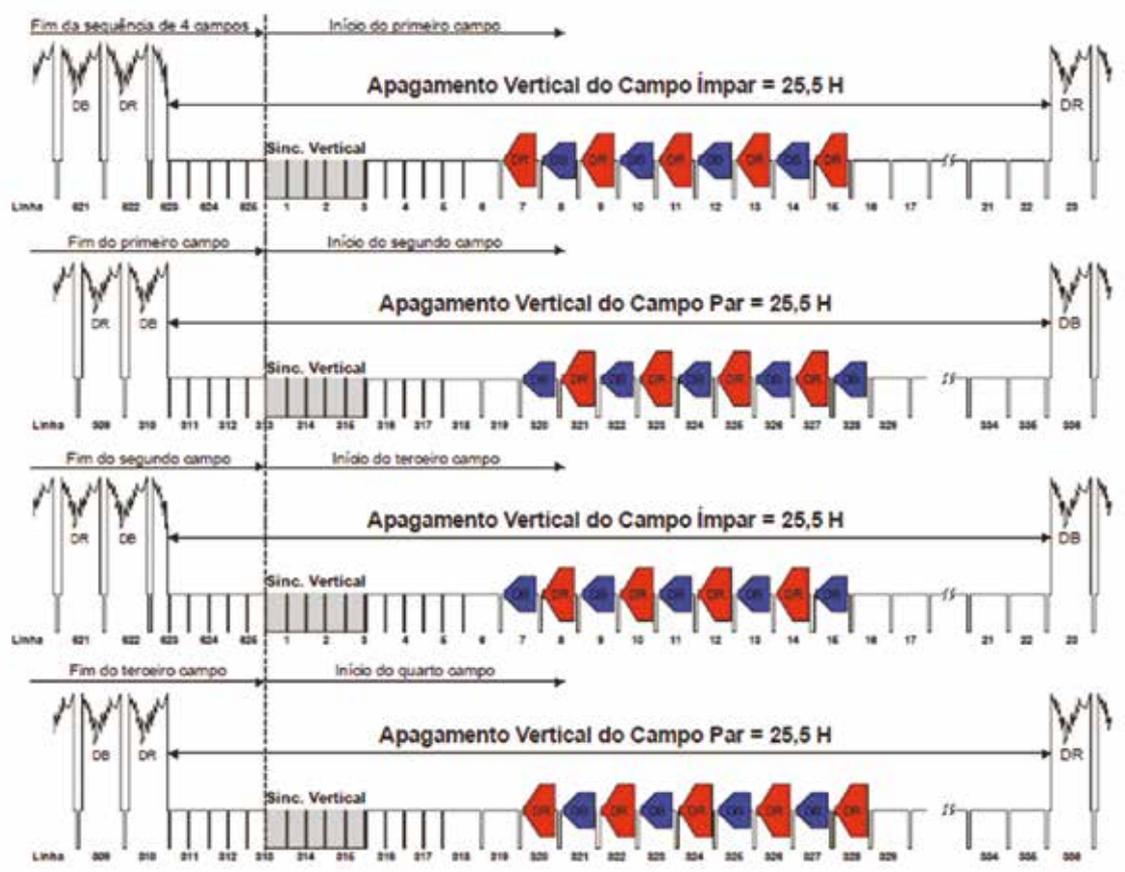


Fig. 1.49

Codificador SECAM/L

No codificador é necessário um comutador para fornecer alternadamente à cada linha os sinais DR e DB modulados em FM. A Figura 1.50 apresenta o diagrama de blocos simplificado do codificador SECAM.

Pulsos de sincronismo horizontal comandam o comutador que opera na frequência $f_H/2$. Para que no recetor a componente DR modulada em FM seja fornecida ao demodulador FM de DR e a componente DB ao demodulador FM de DB, são necessários a transmissão de pulsos de identificação modulados em frequência dentro dos intervalos de apagamento vertical. Estes pulsos são utilizados no recetor para sincronizar o comutador do decodificador para garantir uma perfeita reprodução de cores.



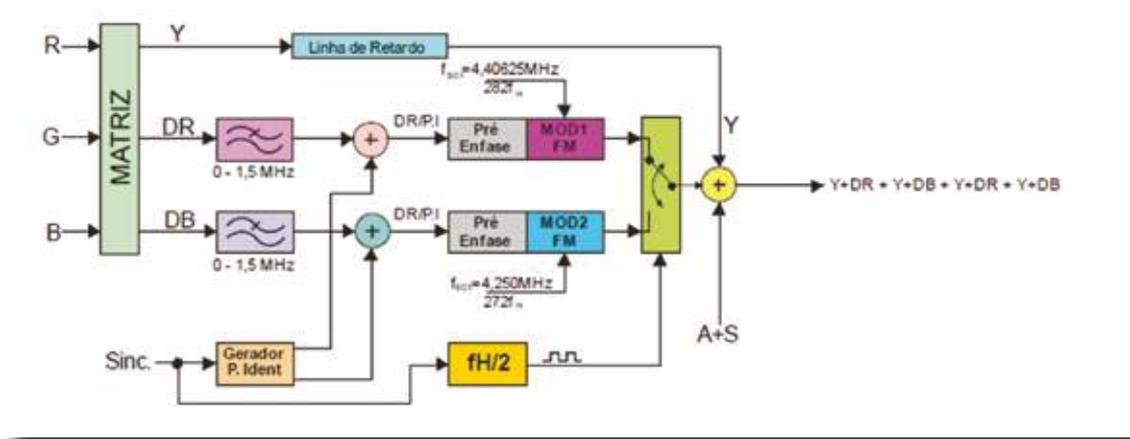


Fig. 1.50

Transmissão do Sinal SECAM/L

O transmissor SECAM é muito semelhante aos transmissores NTSC e PAL, exceto pelos circuitos do codificador. A Figura 1.51 apresenta o diagrama de blocos do transmissor SECAM para um padrão L de 625 linhas e 50 campos.

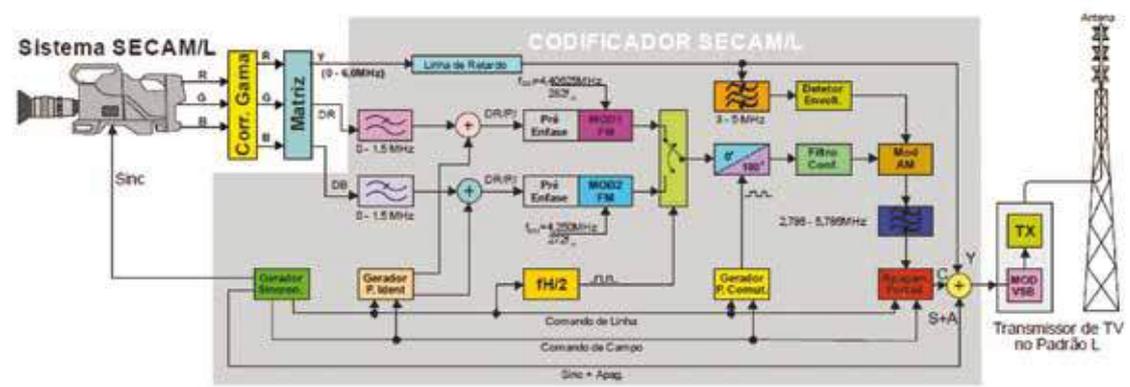


Fig. 1.51

MATRIZ - Combina os sinais R, G e B para formar os sinais Y, DR e DB. Lembrar que os sinais DR e DB são respectivamente os sinais (R- Y) e (B- Y) ponderados.

MODULADORES FM - Todo modulador FM deve ser precedido de uma rede de pré-ênfase para melhorar a relação sinal/ruído do sinal modulado. Os moduladores FM têm desvios não simétricos de 350 e 506 kHz, como explicado no item 1.6.1.



COMUTADOR - Chave eletrônica comutada pela frequência $fH/2$ e sincronizada pelo pulso de sincronismo horizontal.

DIVISOR $fH/2$ - Divide a frequência do pulso de sincronismo horizontal por dois para comandar a inversão do comutador.

COMUTADOR DE REVERSÃO DE FASE ($0^\circ/180^\circ$) - Para reduzir a interferência nos recetores monocromáticos, o sinal FM tem a fase invertida a cada três linhas e ao final de cada quadro. O comutador de fase é controlado pelo Gerador de Pulsos de Comutação. Gera as tensões de comando do comutador para que haja inversões de fase a cada três linhas e ao final de cada quadro. Este gerador é sincronizado pelos pulsos de sincronismo horizontal e vertical do gerador de sincronismo.

FILTRO CONFORMADOR - Para reduzir a interferência nos recetores monocromáticos, a potência da subportadora de cor deve ser atenuada. Este filtro atenua também as componentes adjacentes da subportadora, o que provoca reprodução incorreta de cores, principalmente na presença de sinais de luminância elevada. Para compensar esta deficiência é utilizado um filtro passa-faixa (3-5 MHz) no sinal de luminância e um diretor de envoltório para produzir uma tensão de controlo proporcional ao sinal Y que aumenta o ganho do amplificador do sinal C na presença de sinais de amplitude elevada entre 3 e 5 MHz. Desta forma consegue-se uma amplificação maior dos sinais de crominância quando existem grandes componentes do sinal de luminância na mesma faixa de frequências do sinal cromático. Devido à modulação em frequência esta amplificação não causa nenhuma consequência desfavorável na transmissão dos sinais de crominância. A Figura 1.52 apresenta a curva de atenuação deste filtro.

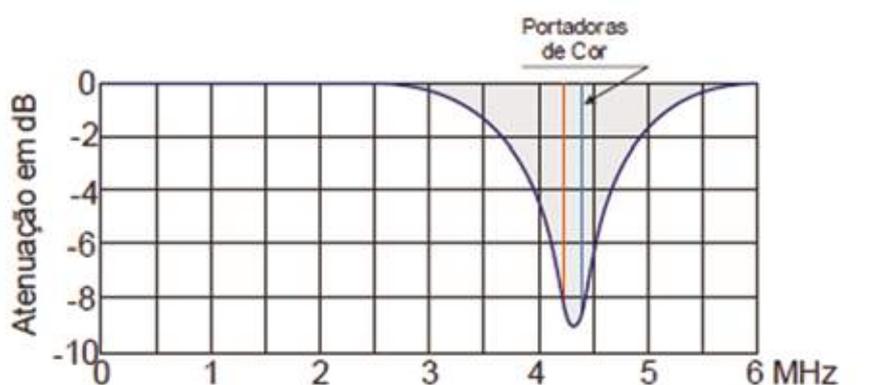


Fig. 1.52



FILTRO PASSA-FAIXA 3-5MHz – Extrai do sinal de luminância as componentes contidas entre 3 e 5 MHz.

DETETOR DE ENVOLTÓRIA - Circuito retificador que produz na saída uma tensão proporcional às variações de amplitudes das componentes do sinal Y situadas entre 3 e 5 MHz.

MODULADOR AM - Amplifica os sinais FM com ganho variando de acordo com as variações de amplitude do sinal Y contidos entre 3 e 5 MHz.

FILTRO PASSA-FAIXA (2,786-5,786MHz) - Tem faixa de passagem de 3 MHz centrada em torno da frequência 4,286 MHz. Limita o espectro do sinal de crominância modulado em FM em cerca de $\pm 1,5$ MHz.

APAGAMENTO DA SUBPORTADORA DE COR - Gera a tensão de apagamento da subportadora de cor durante o pulso apagamento horizontal deixando alguns ciclos alocados no pórtico posterior.

GERADOR DOS PULSOS DE IDENTIFICAÇÃO - Fornece as formas de onda apropriadas para os pulsos de identificação DR e DB na forma de um dente-de-serra truncado. Sincronizado pelos pulsos de sincronismo horizontal e vertical insere os pulsos de identificação durante 9 linhas dentro do intervalo de apagamento vertical.

GERADOR DE SINCRONISMO E SUBPORTADORAS - Neste gerador são produzidos todos os pulsos de sincronismo e apagamento horizontal e vertical como também as duas subportadoras de cor.



Descodificador SECAM/L

O descodificador SECAM é constituído basicamente pelo comutador, linha de retardo e demoduladores FM. A linha de retardo é de 64 microssegundos para o padrão L francês de 625 linhas e 50 campos. A Figura 1.53 apresenta o diagrama de blocos simplificado do descodificador SECAM.

Os sinais diferença de cor modulados em FM são recebidos de modo alternado linha-a-linha. No descodificador o mesmo sinal toma dois caminhos diferentes: um direto e outro via linha de retardo, que atrasa o sinal de exatamente uma linha. O comutador liga alternadamente os demoduladores FM de DR e DB na linha direta e linha de retardo de maneira a separar as componentes DR e DB. O comutador é uma chave eletrônica comandada pela frequência $fH/2$ e sincronizada pelos pulsos de identificação extraídos do intervalo de apagamento vertical, impedindo que sinais DR sejam enviados ao demodulador FM de DB e vice-versa.

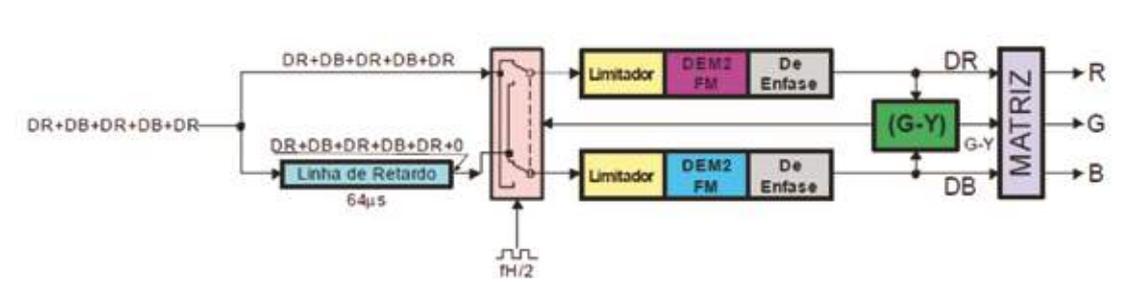


Fig. 1.53

Recetor SECAM/L

Não são grandes as diferenças entre o recetor SECAM e os NTSC e PAL, excetuando-se os circuitos do descodificador. A primeira diferença é a não existência do amplificador burst, em seu lugar existe o amplificador dos pulsos de identificação utilizados para sincronizar o comutador do descodificador. Serão analisados apenas os circuitos que compõem o descodificador, já que nos demais circuitos as funções são as mesmas dos recetores NTSC e PAL. A Fig. 1.54 apresenta o diagrama de blocos do recetor SECAM do padrão L de 625 linhas e 50 campos.



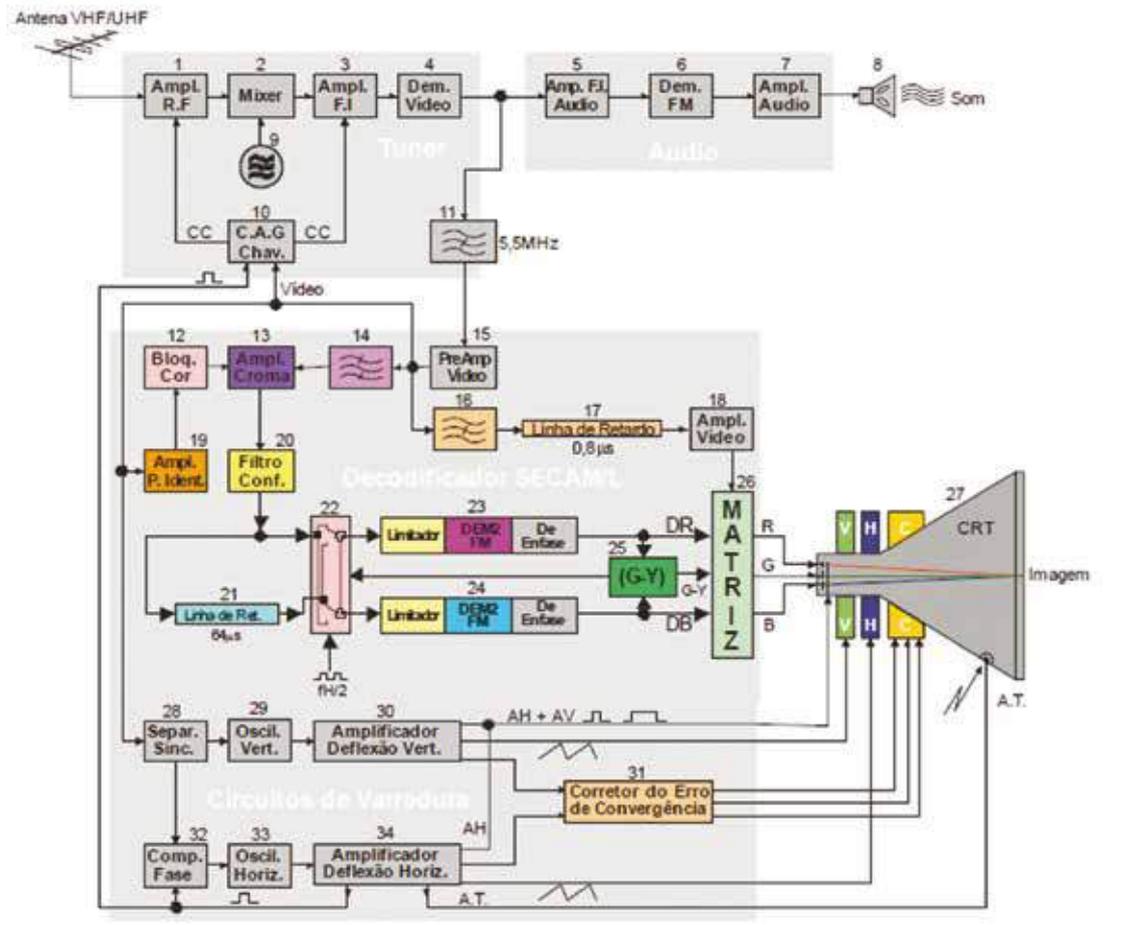


Fig. 1.54

FILTRO CORTA-FAIXA (NOTCH FILTER) (16)

Utilizado para eliminar a subportadora de cor do sinal Y.

LINHA DE RETARDO (17)

Inserir um atraso de aproximadamente 0,8 microssegundo no sinal Y para torná-lo simultâneo no tempo com o sinal de crominância.

FILTRO PASSA-FAIXA (14)

Deixa passar apenas a região do espectro que contém a subportadora de cor e suas componentes moduladas em FM. A largura de faixa é de 3 MHz centrada na frequência de 4,286 MHz.



FILTRO CONFORMADOR (20)

Este filtro tem a finalidade de compensar a atenuação da subportadora de cor feita no codificador do transmissor. A curva deste filtro tem características iguais e contrárias à do filtro conformador do codificador como pode ser visto na Fig. 1.55.

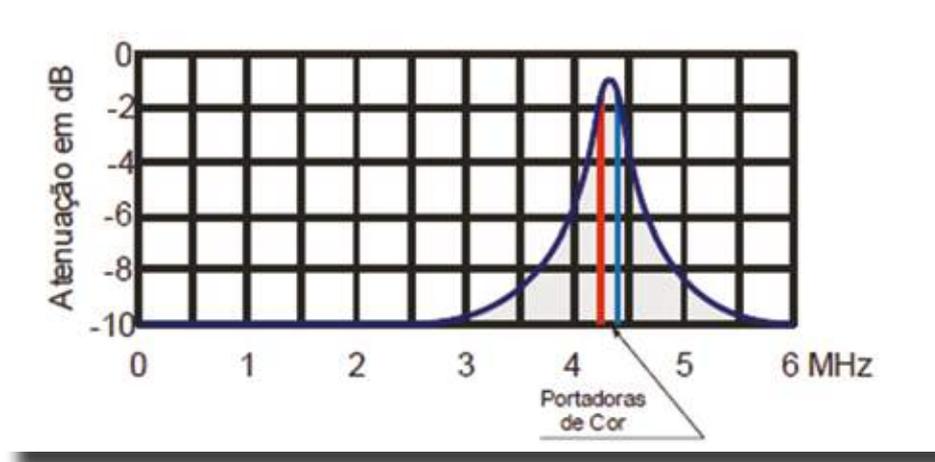


Fig. 1.55

LINHA DE RETARDO (21)

Com atraso de 64 microssegundos, corresponde a uma linha completa do padrão L de 625 linhas. Este atraso é necessário para a combinação dos sinais DR e DB de duas linhas consecutivas não simultâneas no tempo.

COMUTADOR (22)

É uma chave eletrônica de dois polos comutada pela frequência $fH/2$ e sincronizada pelos pulsos de identificação extraídos da matriz (G-Y).

LIMITADOR (23 e 24)

Os circuitos limitadores são usados antes dos demoduladores FM para eliminar as distorções de amplitude do sinal FM.

DEMODULADOR FM (23 e 24)

Os demoduladores são sucedidos por circuitos de de-ênfase para compensar a distorção introduzida pelo circuito de pré-ênfase do codificador do transmissor. A combinação dos circuitos de pré-ênfase do transmissor com a de-ênfase do recetor melhora a relação sinal/ruído dos sinais de croma.



MATRIZ (G-Y) (25)

Esta matriz combina os sinais DR e DB para formar o sinal (G-Y). A componente (G-Y) dos pulsos de identificação é utilizada como referência para sincronizar o comutador.

MATRIZ DE IMPONDERAÇÃO (26)

Os sinais (R - Y) e (B- Y) foram ponderados na transmissão para a obtenção dos desvios mais convenientes para a modulação FM dos sinais diferença de cor. Conseqüentemente, devem ser imponderados na recepção para a reconstituição perfeita das componentes (R-Y) e (B- Y):

$$DR = - 1,9(R - Y)$$

$$(R-Y) = - (1/1,9)DR = - 0,526DR$$

Na dedução da equação da imponderação de DB deve ser levado em consideração o desvio nominal menor para a subportadora de DB:

$$DB = 1,5(B-Y)$$

$$fd(DB) = 230 \text{ kHz (desvio nominal da subportadora de 4,250 MHz)}$$

$$fd(DR) = 280 \text{ kHz (desvio nominal da subportadora de 4,406250 MHz)}$$

$$(B-Y) = 280 \times DB / (230 \times 1,5)$$

$$(B-Y) = 0,812DB$$

COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS NTSC, PAL E SECAM

Após o estudo dos três sistemas de televisão a cores é oportuna uma breve análise comparativa com base na teoria vista até aqui. Em condições ideais, os três sistemas proporcionam excelentes imagens a cores, de tal forma que um observador distante da tela, o equivalente a sete vezes a sua altura, é incapaz de distinguir diferenças de imagem nos três sistemas.

O sistema NTSC tem boa resolução vertical e horizontal, baixa interferência os recetores monocromáticos, não é muito afetado por ruídos e a sua transmissão e recepção não são muito complicadas. Entretanto, apresenta sérios inconvenientes pela suscetibilidade a distorções de fase e pela redução da largura de faixa sinal Q para evitar a diafotia.



O sistema PAL tem como principais vantagens a correção dos erros de fase e a transmissão dos sinais diferença de cor com mesma largura de faixa. A transmissão no sistema PAL é mais complicada que no sistema NTSC, como consequência os recetores são mais sofisticados e mais caros. A gravação em videotape faz favoravelmente e a transmissão em enlaces longos de micro-ondas terrestre (2.500 km) é menos problemática que no NTSC. A interferência nos recetores monocromáticos é ligeiramente superior que no NTSC.

O sistema SECAM é isento de erros de fase. A transmissão a longa distância em enlaces de micro-ondas terrestres e na gravação em videotapes não apresentam maiores problemas. Os recetores são comparativamente mais simples na parte de decodificação do sinal SECAM, entretanto, o codificador é mais sofisticado e complicado. A resolução vertical é menor devido à transmissão de apenas um dos sinais (R-Y) e (BY) a cada linha. Apresenta maior grau de interferência nos recetores monocromáticos, menor relação sinal/ruído e maior vulnerabilidade na recepção de sinais em múltiplos caminhos.



Exercícios propostos

Perguntas de exemplo sobre este módulo:

1. Como é que é adquirida a imagem que a camara de filmar a cores capta para depois ser enviada para os recetores?
2. Qual a informação que contem o sinal de luminância?
3. Que sinais são necessários para que a cor seja perfeitamente representada no sistema de televisão a cores?
4. Onde é adicionado o sinal de diferença de cor nos sistemas NTSC, PAL e SECAM?
5. Como são cumpridos os dois pré-requisitos para a compatibilidade entre o sistema a preto e branco e o sistema a cores?
6. Como é efetuada a transmissão dos sinais (R-Y) e (B-Y) nos sistemas de transmissão a cores?
7. Como se forma o sinal de crominância C1 em NTSC?
8. O que é o sinal de BURST?
9. Qual a vantagem de a transmissão do sinal de vídeo com polarização negativa?
10. Porque foi adotado por todos os sistemas de televisão a modulação AM para os sinais de vídeo?
11. O que significa o nome do sistema AM-VSC? E o que transmite?
12. O que faz o andar Amplificador de RF num recetor de TV?



13. No recetor de TV qual a função do Amplificador F.I de Áudio?
14. Qual a função do Separador de Sincronismo no recetor de TV?
15. Diga o que faz o Oscilador Horizontal no recetor de televisão?
16. Para que serve a Linha de Retardo no recetor de TV?
17. O Sistema PAL (Phase Alternating Line), que significa fase alternada linha-a-linha, foi desenvolvido a partir do NTSC pelo Dr. Walter Bruch, da Telefunken Alemã, com que objetivos?
18. Para que serve o sinal BUSRT no sistema PAL?
19. Existem diferenças entre recetores de televisão SECAM e os NTSC e PAL?
20. Quais as vantagens e desvantagens do sistema NTSC?



Bibliografia

Manual de Televisão – ESTEL. (s.d.).

Laurent, Gérard – Curso de Televisão, Vol. 1, Vol. 2 – ETEP. (s.d.).

Vassalo, Francisco Ruiz – Television en Color – Edições CEAC. (s.d.).

