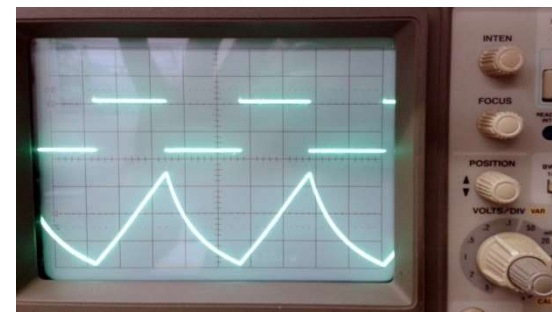


Amostragem Espacial / Temporal : Varredura

PTC3547 – Codificação e Transmissão
Multimídia

EPUSP – 2025

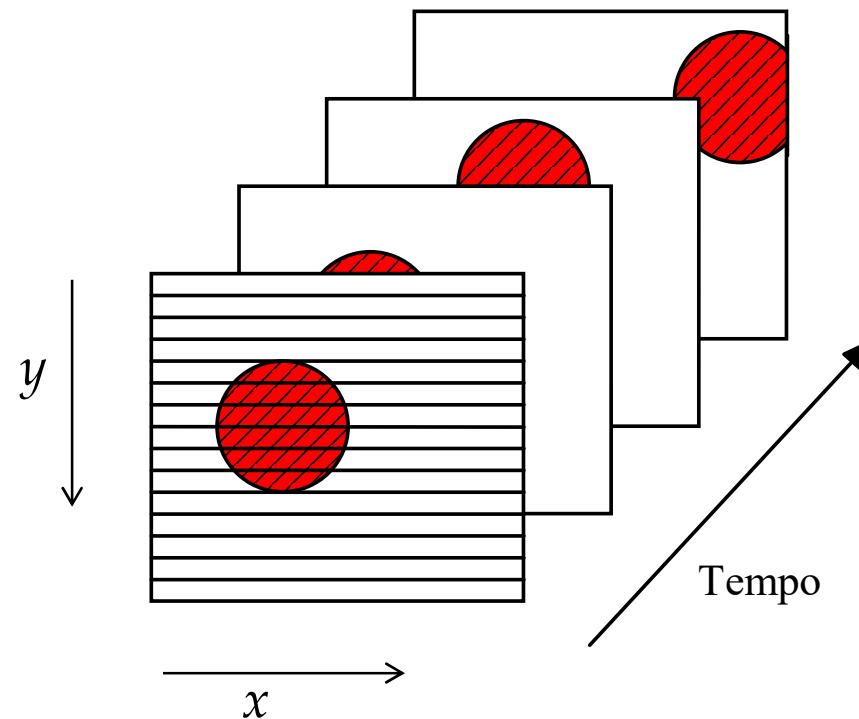
Guido Stolfi



- Amostragem Temporal
- Amostragem Espacial
- Aplicações da TV no Ambiente Doméstico
- Função de Transferência de Contraste / Modulação
- Requisitos de Banda Passante
- Fator de Kell
- Sinal de Vídeo Composto – RS-170
- Análise no Domínio da Frequência
- Funções de Reconstrução
- Aliasing Espacial e Temporal
- Padrões e Sistemas de TV e HDTV

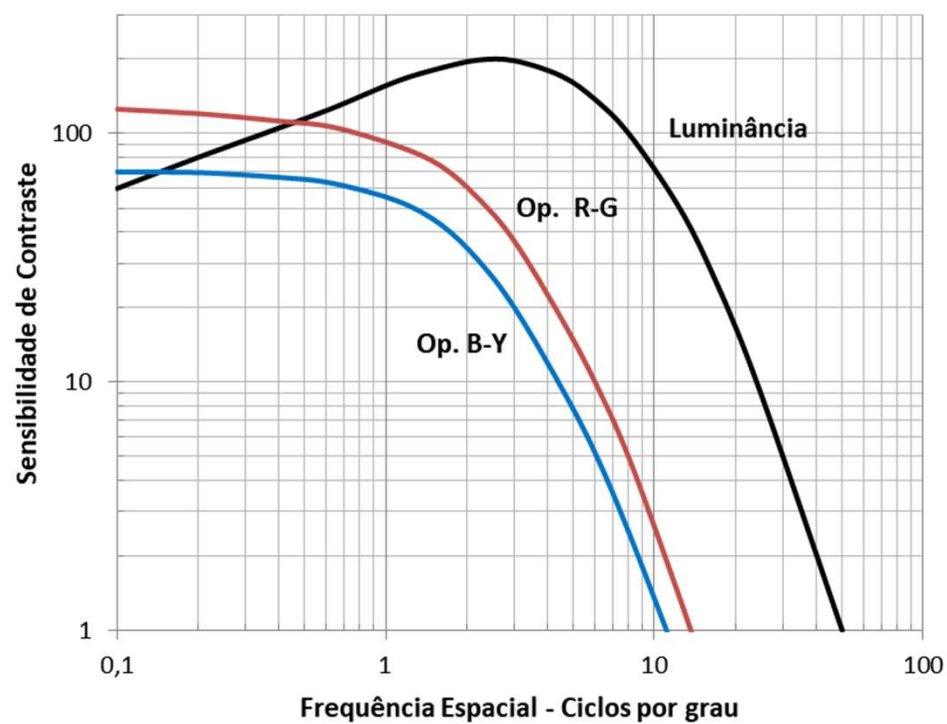
Amostragem de uma Imagem em Movimento

$$\mathbf{u} = f(x, y, t)$$



- Remanência da Visão: 15 a 20 imagens (quadros) por segundo
- Cintilação: 48 ~ 60 imagens por segundo
- Interferências com a Rede Elétrica: 50 / 60 Hz
 - 60 imagens por segundo (EUA, Japão, Brasil)
 - 50 imagens por segundo (Europa, Ásia, etc.)

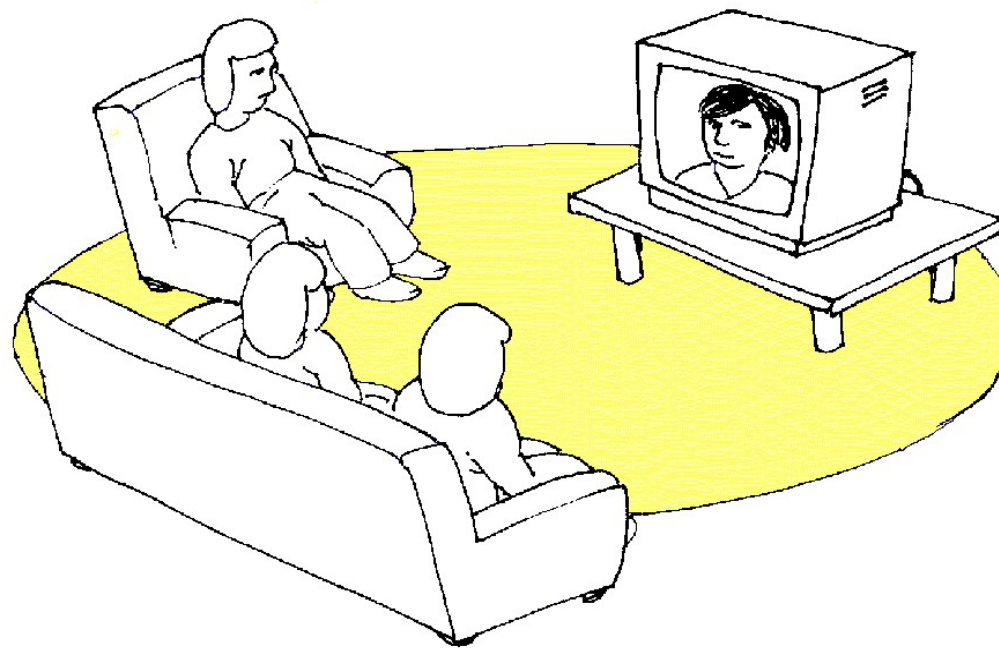
Resolução Espacial da Visão



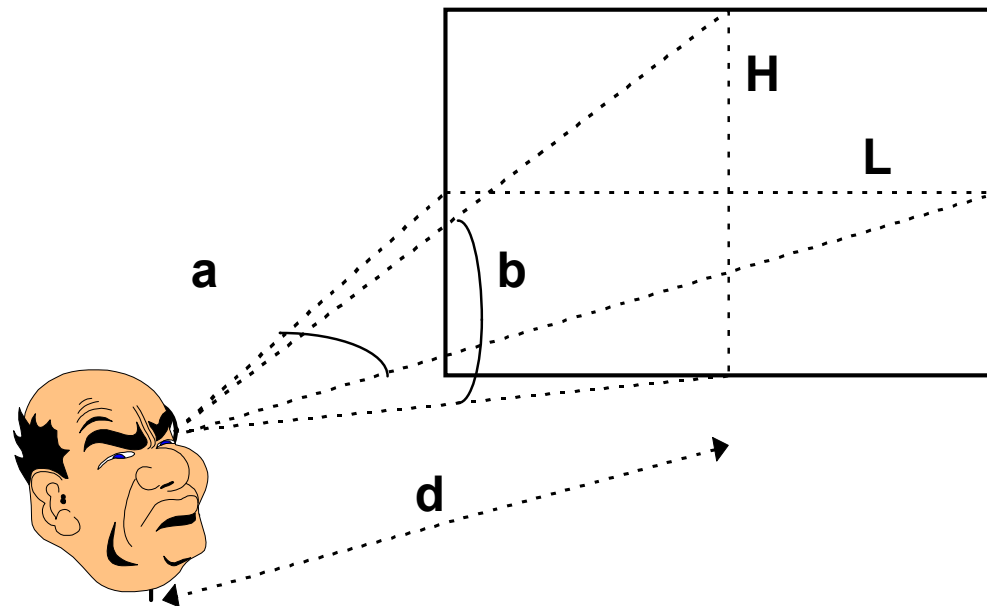
- Acuidade Visual: ~ 1 minuto de grau
- Proporção: 4:3 (igual ao cinema)
- Tamanho da Imagem: ?
- Distância de Observação: ?

A Televisão como Entretenimento

LCS
EPUSP

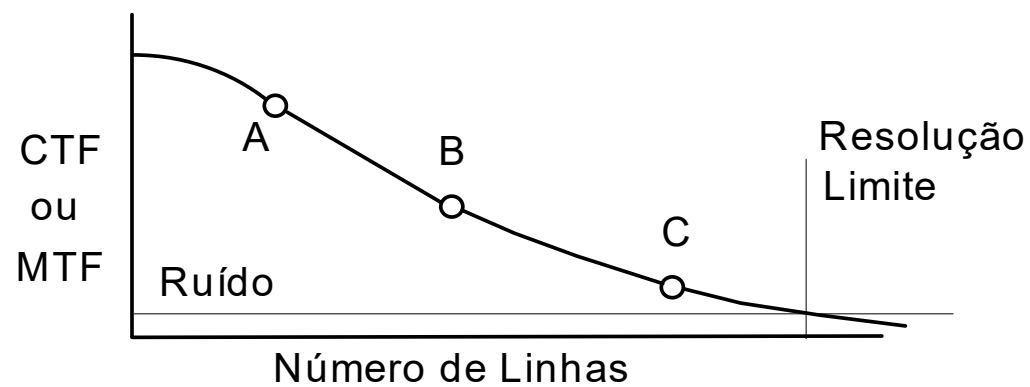
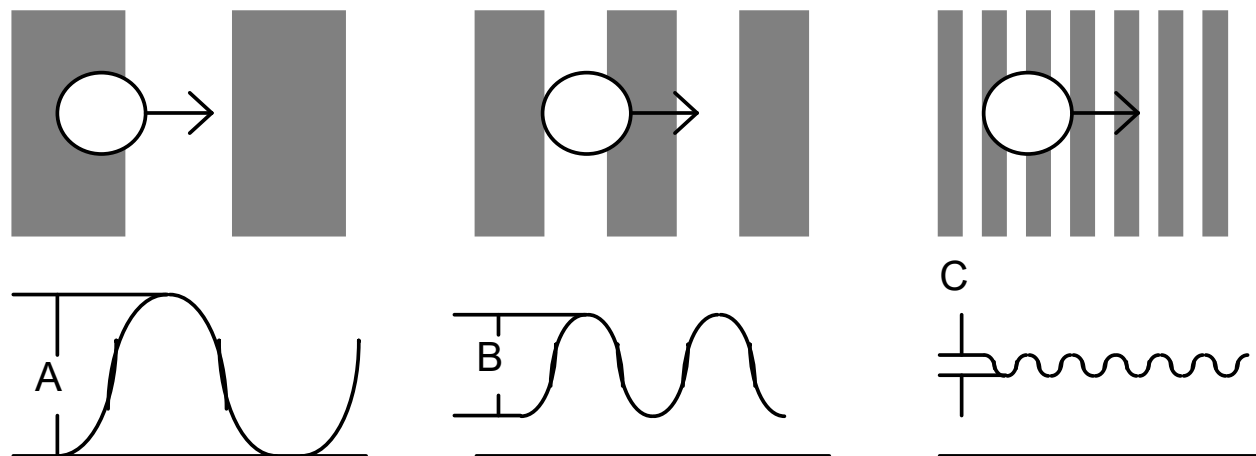


Ângulos de Visualização da TV (Padrão M)



$$H / L = \frac{3}{4} \quad a = 10^\circ \quad b = 7.5^\circ$$

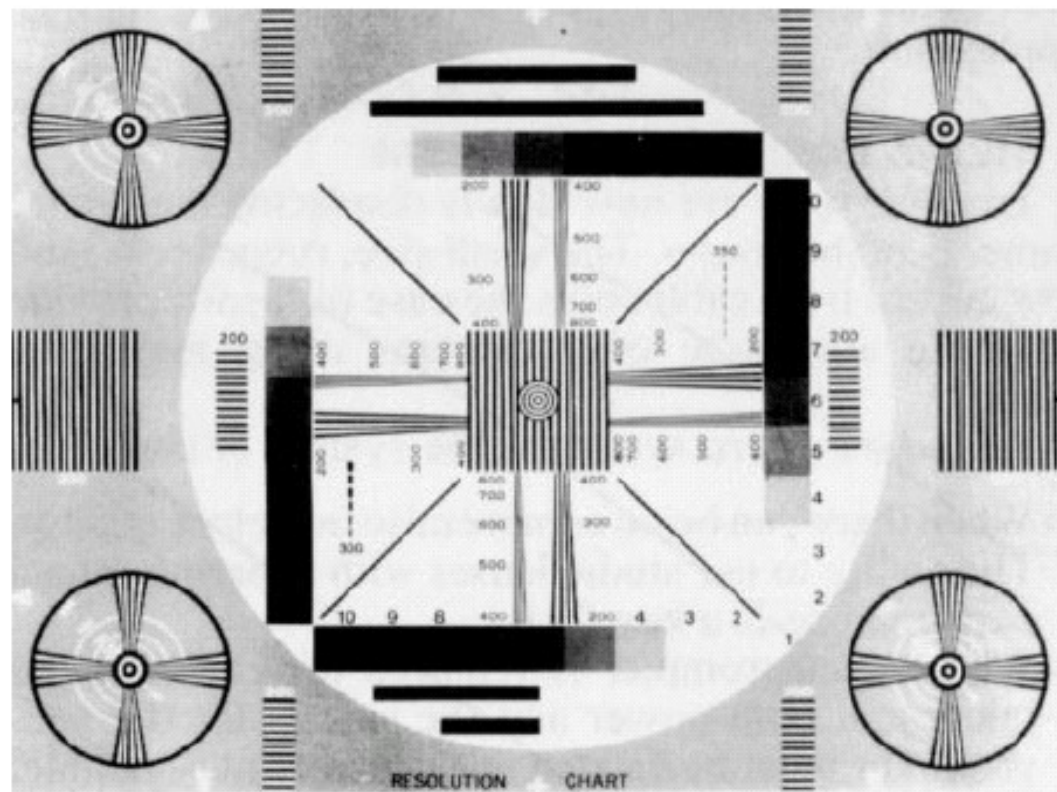
Função de Transferência de Contraste (CTF)



- Obtida da mesma forma que a CTF, quando o padrão de barras tem variação senoidal de luminância (ao invés de retangular)
- É a resposta em frequência espacial do sistema
- MTF de um sistema com elementos em série é o produto das MTF's dos elementos

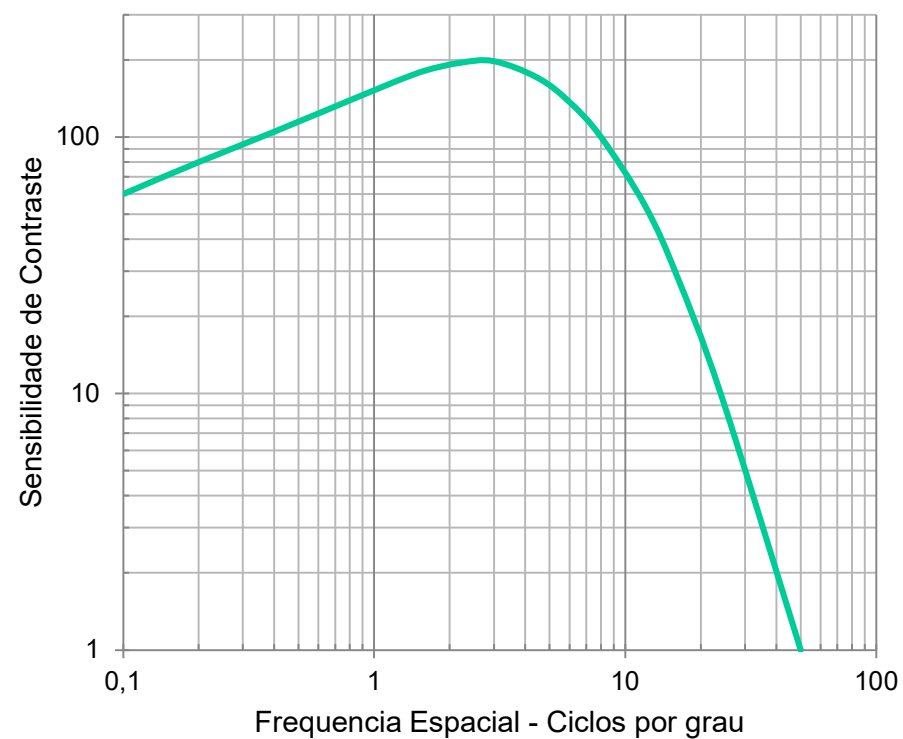
Padrão de Teste de Resolução Espacial

LCS
EPUSP

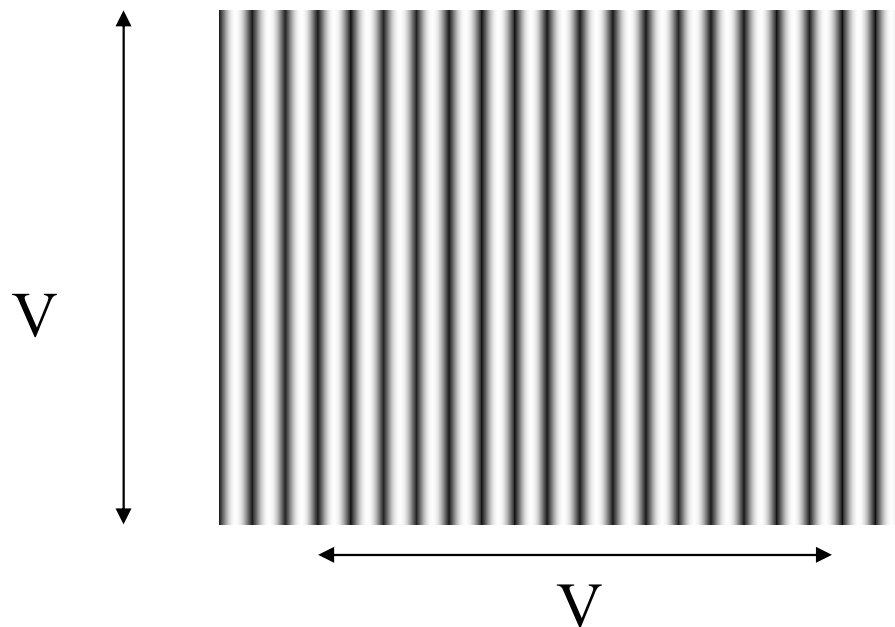


MTF da Visão Humana

LCS
EPUSP



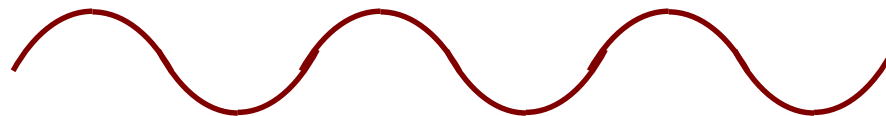
- Quantidade de linhas pretas + brancas contidas em uma distância igual à altura da imagem



- Acuidade Visual: $1/60$ de grau (1 ciclo = 2 linhas)
- Ângulo de visualização: 10×7.5 graus
- $\Rightarrow$ 600×450 elementos de imagem (*pixels*)
- SDTV = *Standard Definition Television*

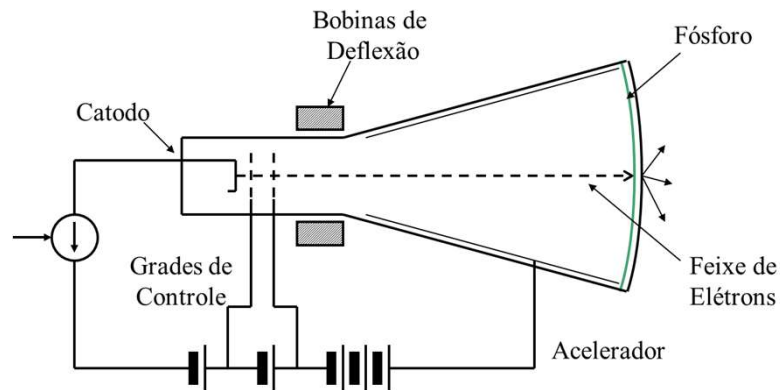
- 60 quadros por segundo, 600 x 450 pixels

$$B_w = \frac{1}{2} \times 600 \times 450 \times 60 = 8,1 MHz$$

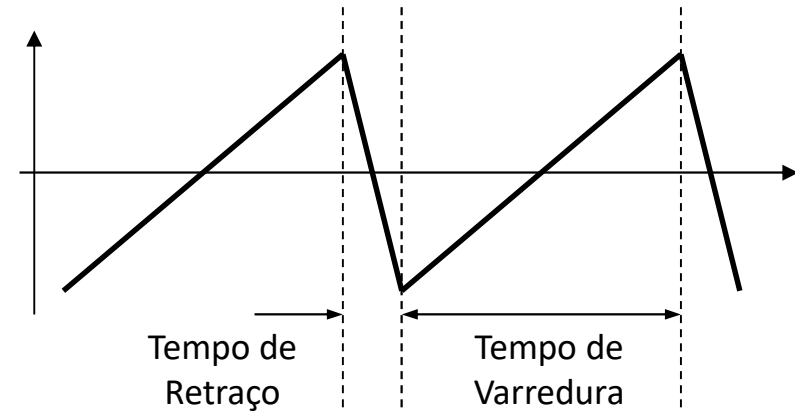


2 pixels = 1 ciclo da maior frequência necessária

Agravante: Tempo de Retraço



Tubo de Raios Catódicos
com deflexão magnética

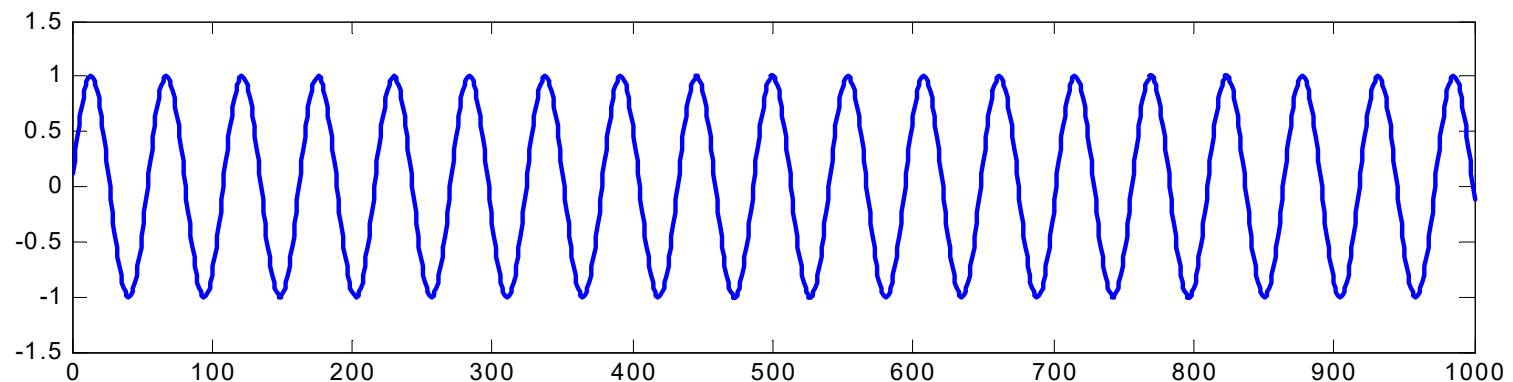


- Tempo de retraço: 20% na varredura horizontal e 9% na vertical

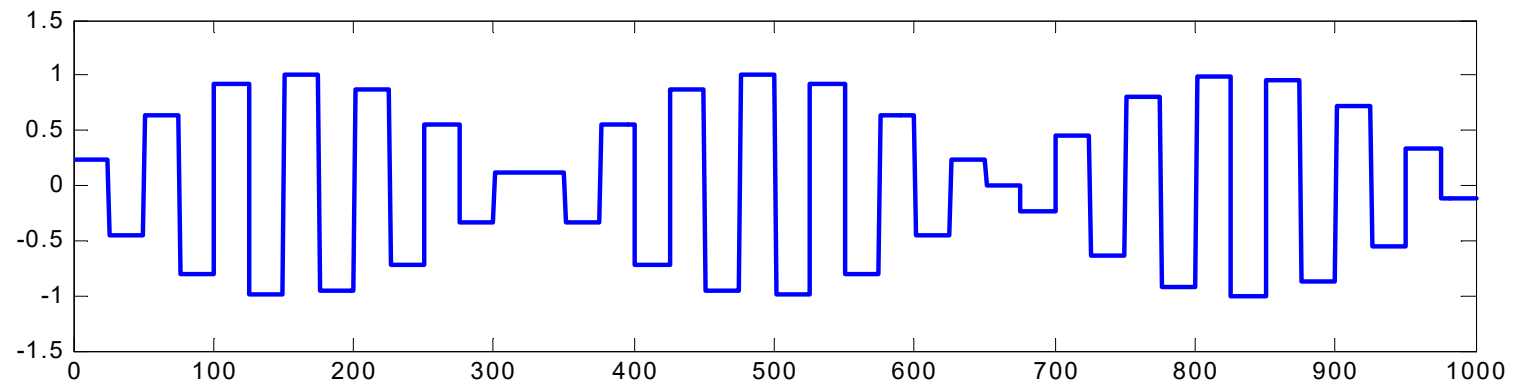
$$B_w = \left(\left(\frac{1}{2} \times 600 \right) \times 1,2 \right) \times (450 \times 1,09) \times 60 = 10,595 \text{ MHz}$$

- Teorema da Amostragem diz: número de linhas de varredura deve ser **maior** que o número de linhas (alternadas) a serem exibidas na imagem ($f_a > 2 \times f_s$)
- Fator de Kell = 0,7 (experimental) implicaria em $450 \div 0,7 = 643$ linhas de varredura na imagem visível.

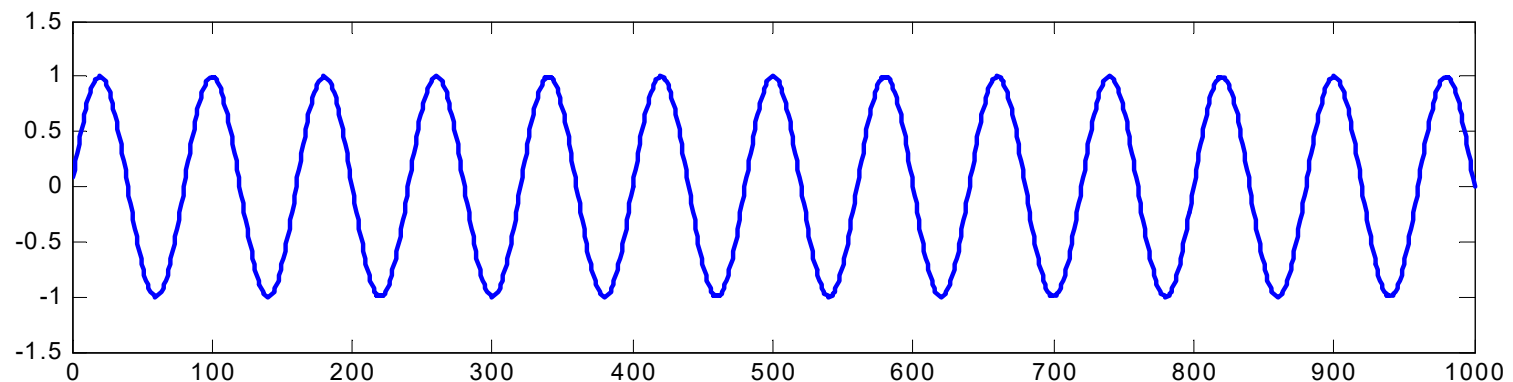
Reconstrução com Pulso Retangular (Obedecendo Critério de Nyquist)



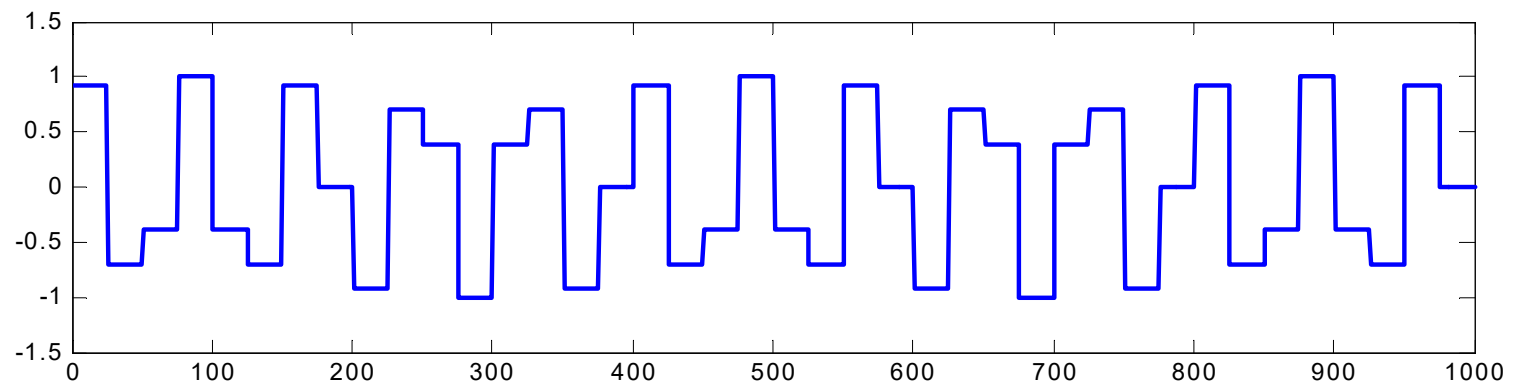
$$f_A = 2,2 f_M$$



Reconstrução com Pulso Retangular (Obedecendo Critério de Kell)



$$f_A = 3,3 f_M$$



- Considerando tempo de retraço e fator de Kell:

$$B_w = \left(\left(\frac{1}{2} \times 600 \right) \times 1,2 \right) \times (643 \times 1,09) \times 60 = 15,14 \text{ MHz}$$

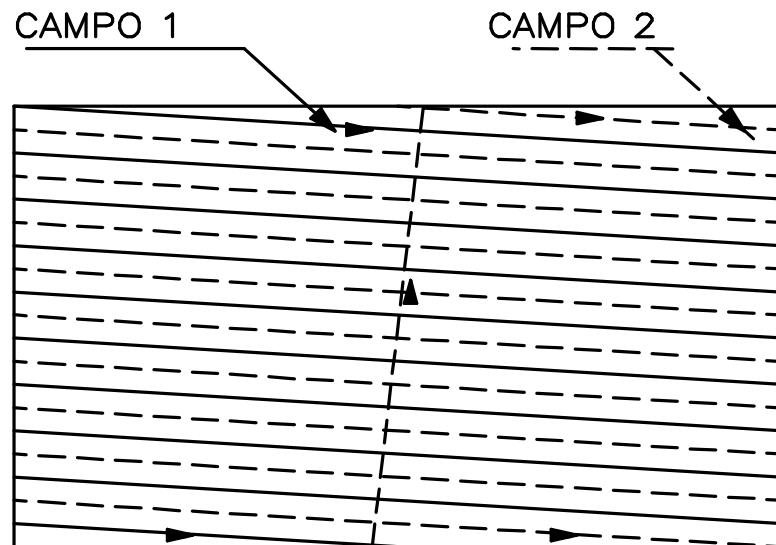
- Modulação AM exigiria $2 \times 15 = 30$ MHz de banda.

- Adotado Limite de Acuidade Visual como 1,33 minutos de grau
- Imagem visível passa para 450 x 340 elementos de resolução
- $340 \div 0,7 \cong 480$ linhas de amostragem
- Adotadas 525 linhas de varredura (incluindo retraço)

$$B_w = \left(\frac{1}{2} \times 450 \times 1.2 \right) \times (525) \times 60 = 8,4 \text{ MHz}$$

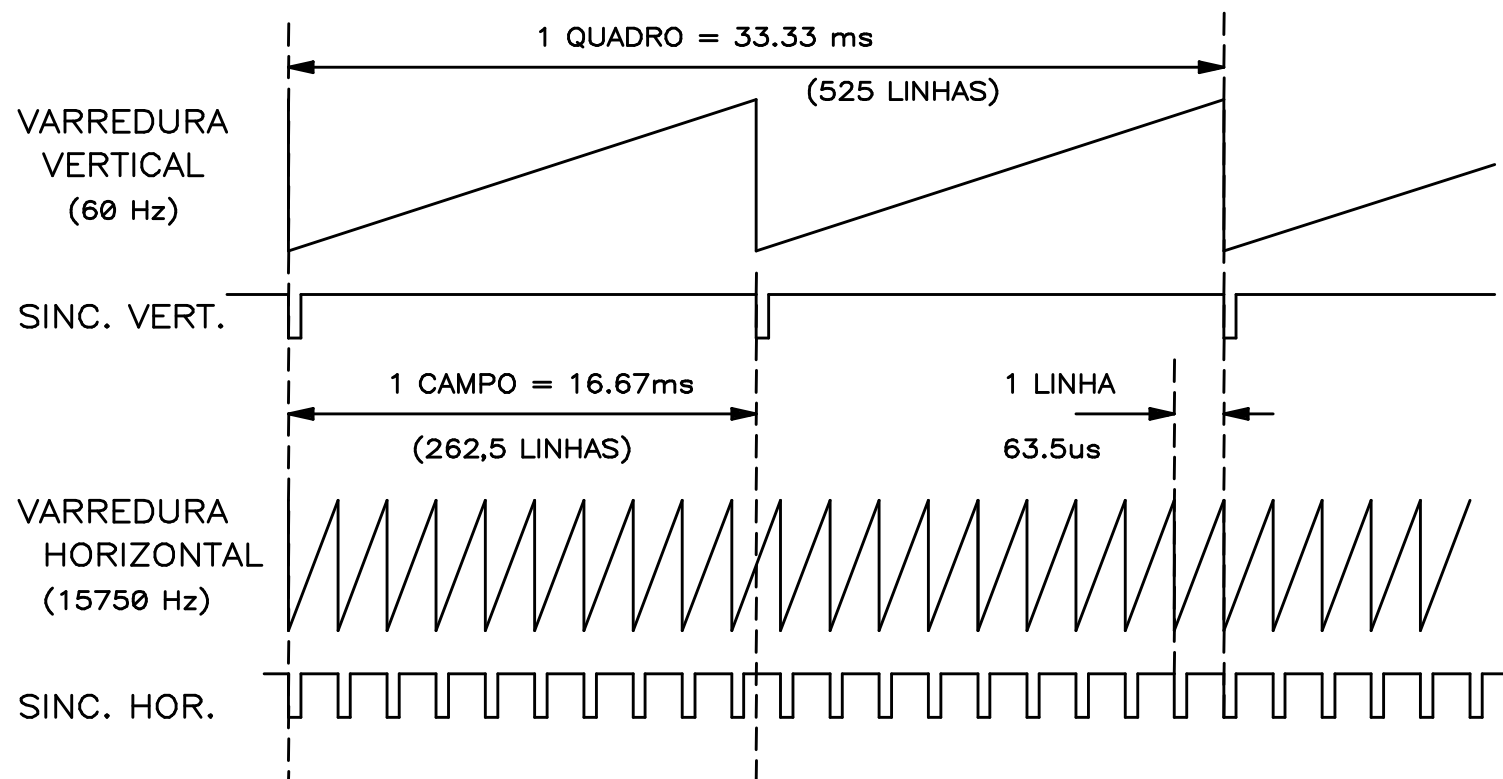
Atenuante: Entrelaçamento

- Frequência de Cintilação para objetos pequenos é muito menor
- Imagem é subdividida em 2 campos (par e ímpar)
- Banda Passante cai pela metade (4.2 MHz)

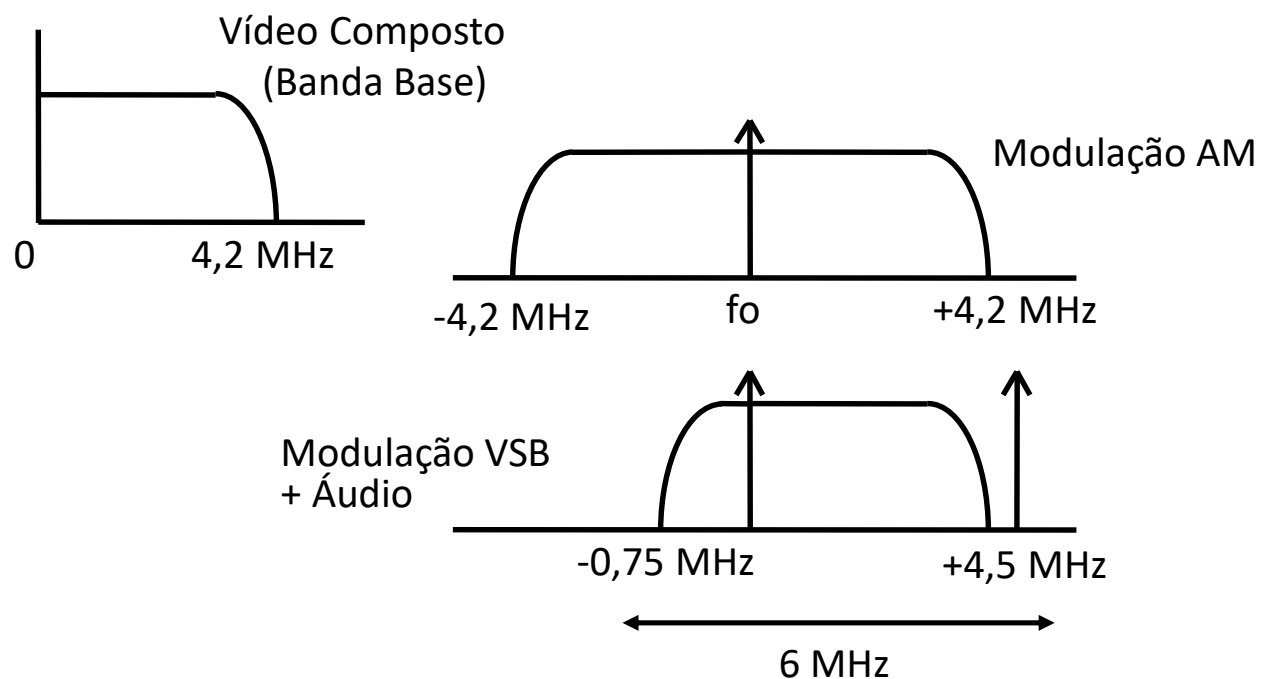


Varredura Entrelaçada - Padrão "M"

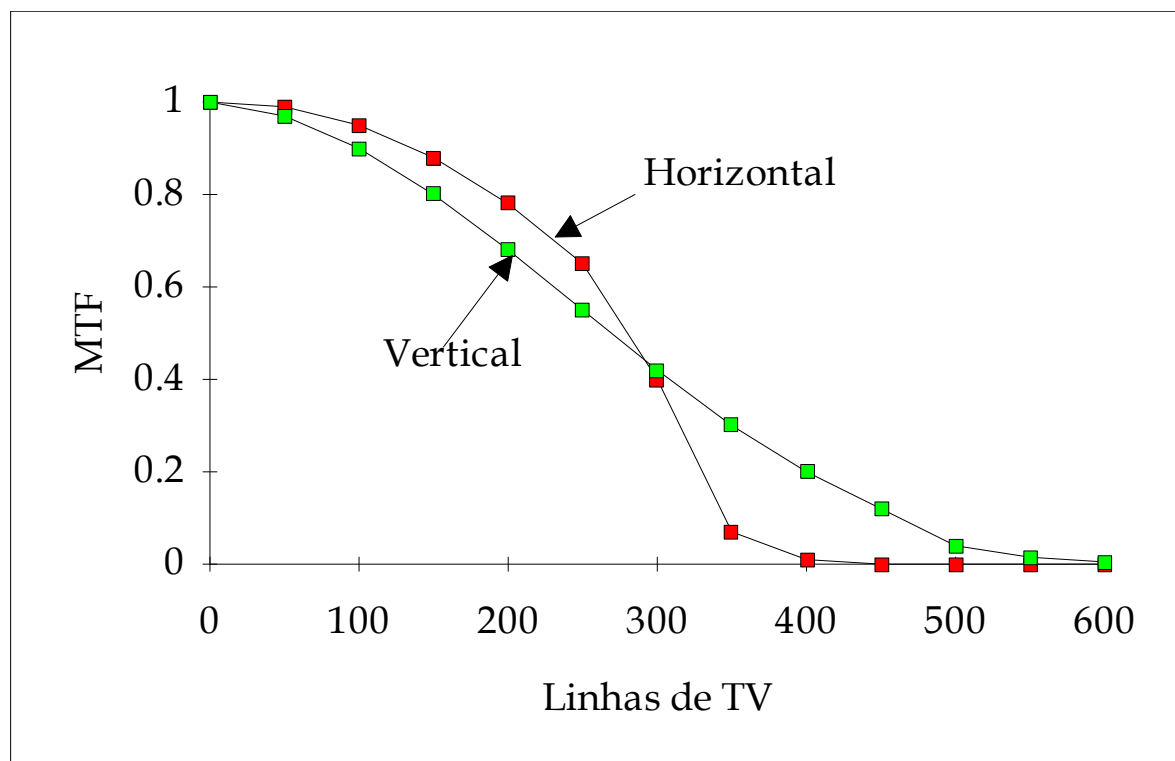
LCS
EPUSP



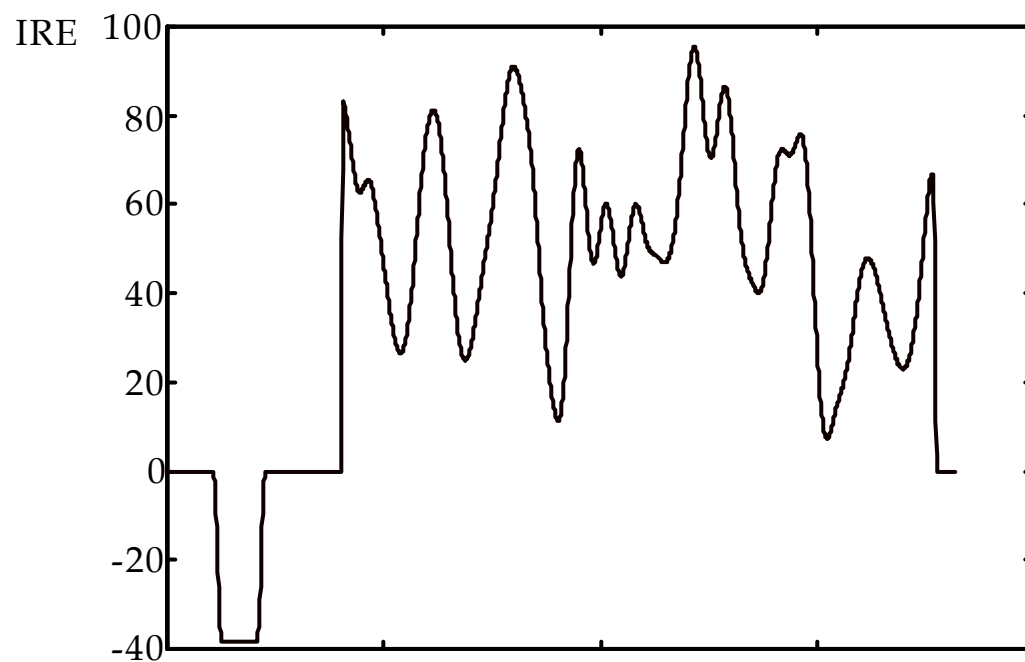
Atenuante: Modulação Vestigial (VSB)



MTF da Televisão Convencional



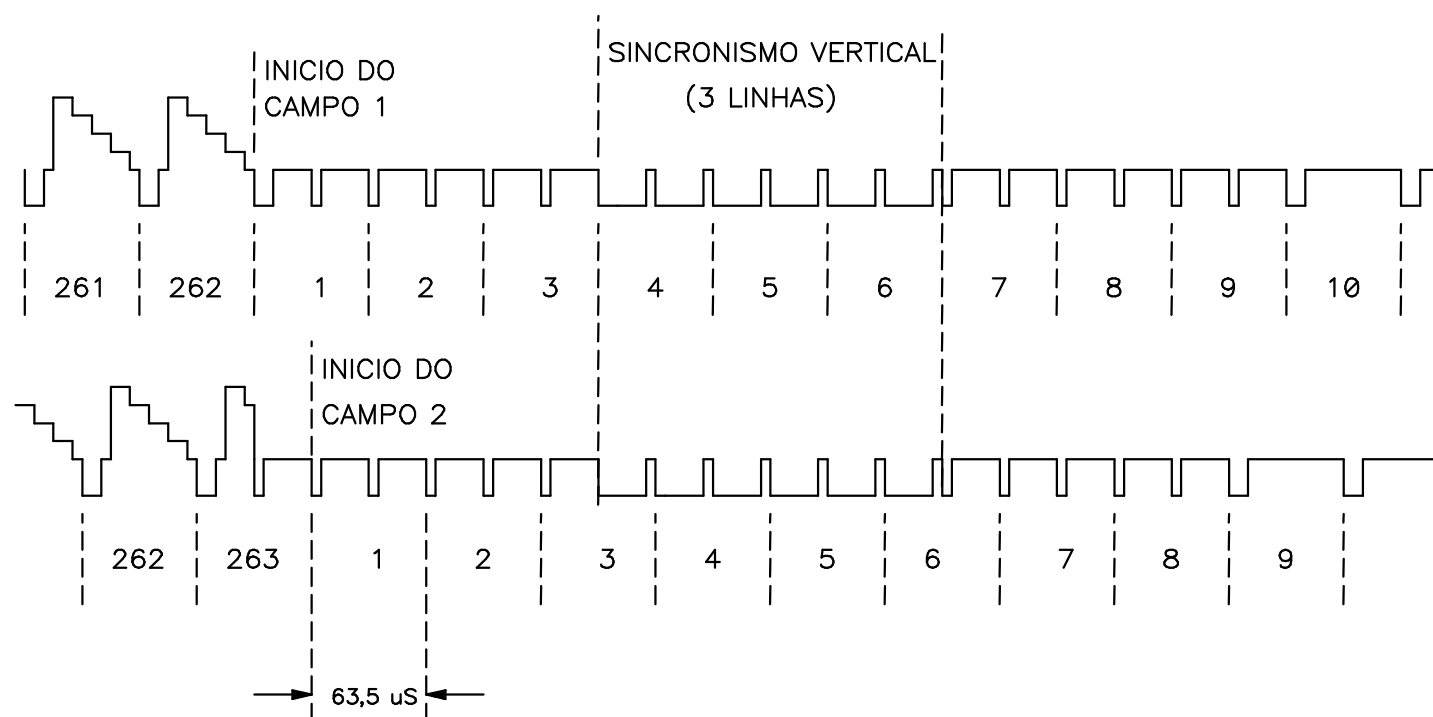
Sinal de Vídeo Composto RS-170



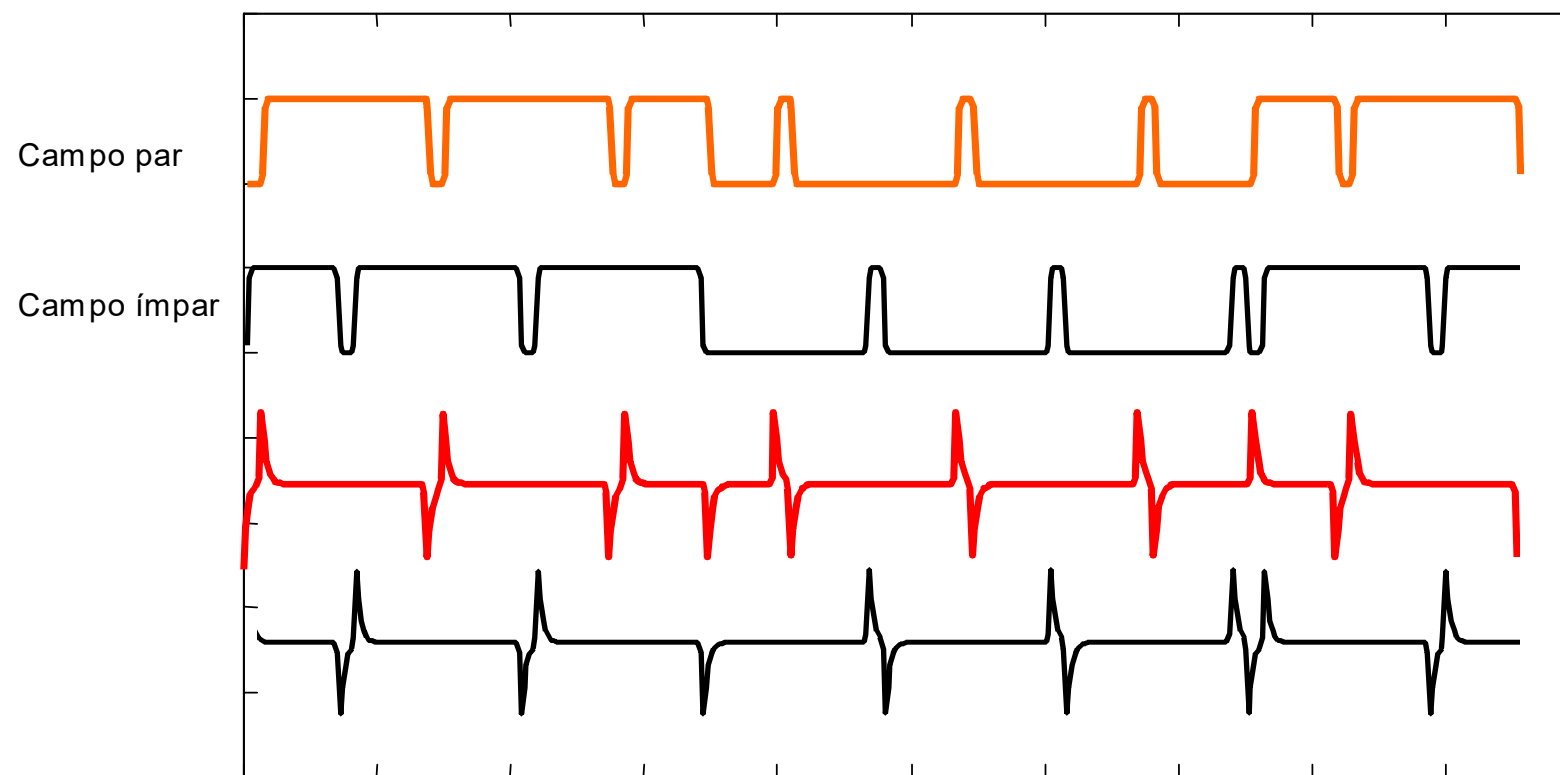
Período Horizontal: $1H = 63,56 \mu s$
Apagamento Horizontal: $10,9 \pm 0,2 \mu s$
Pulso de Sincronismo: $4,7 \pm 0,1 \mu s$
Pórtico Frontal: $0,02H = 1,3 \mu s$
Amplitude do Sinc.: 40 IRE (286 mV)
Amplitude Total do Sinal
de Vídeo : 140 IRE = 1 Volt

(1 unidade IRE = 7,14 mV)

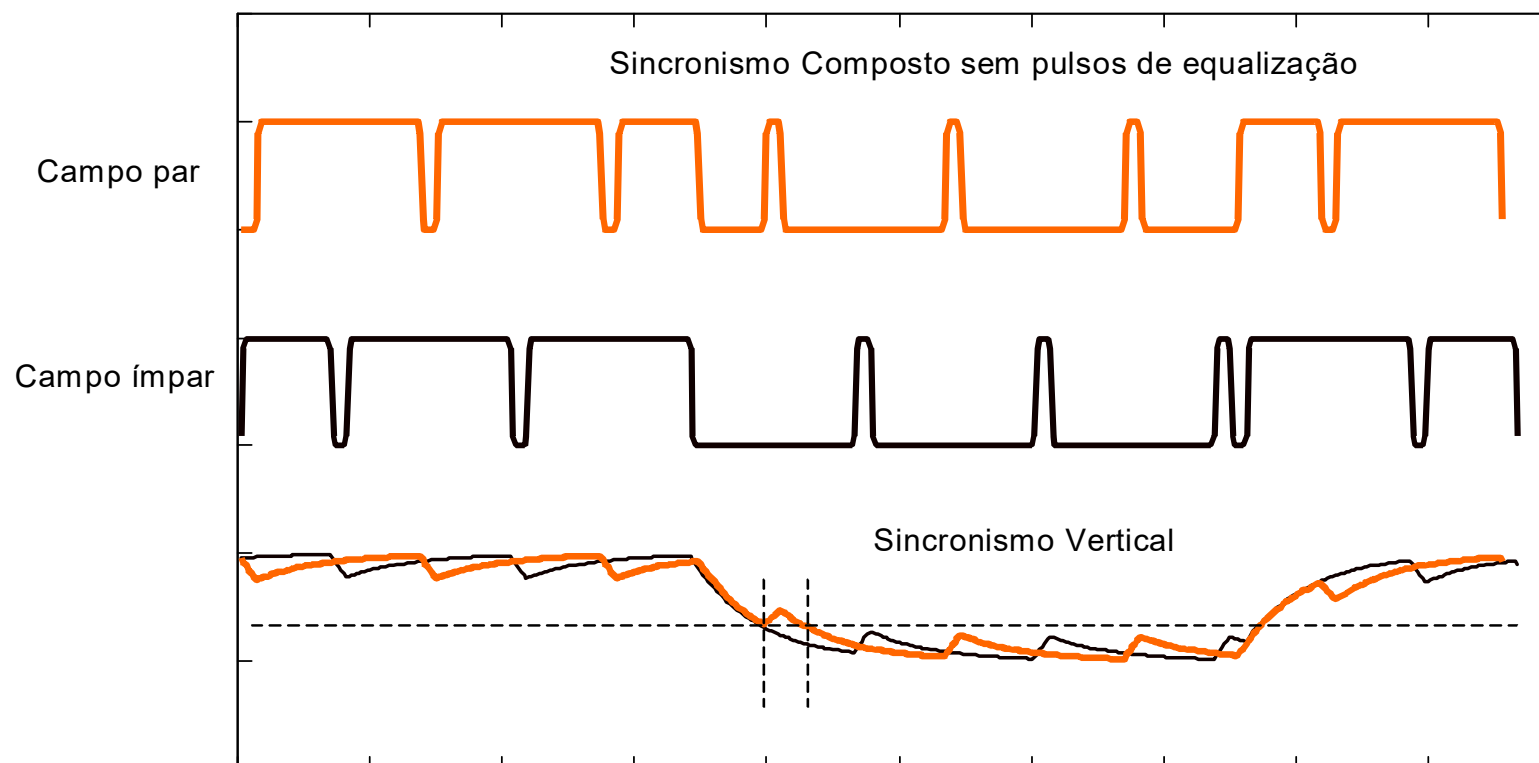
Sincronismo Composto com Entrelaçamento



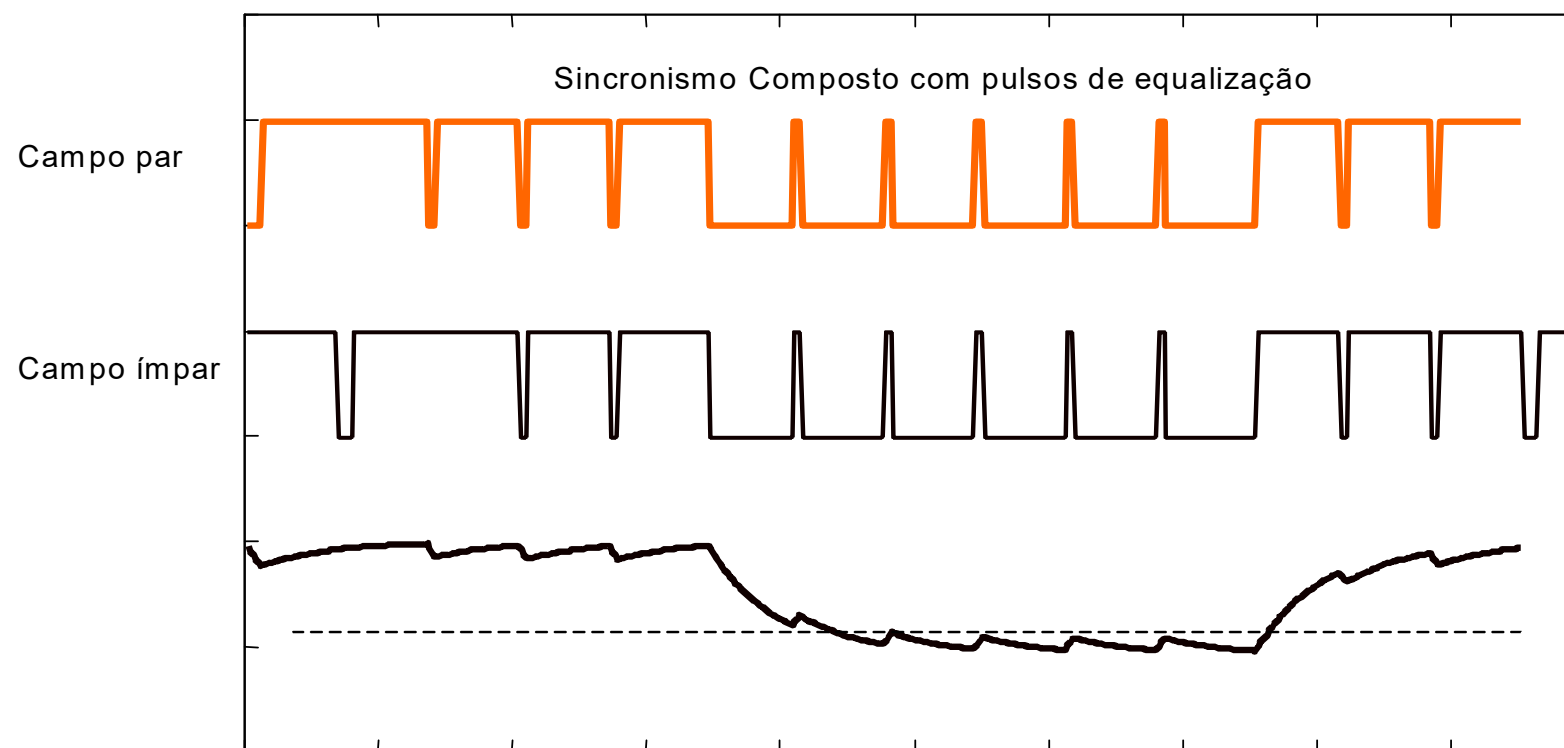
Separação do Sincronismo Horizontal



Separação do Sincronismo Vertical

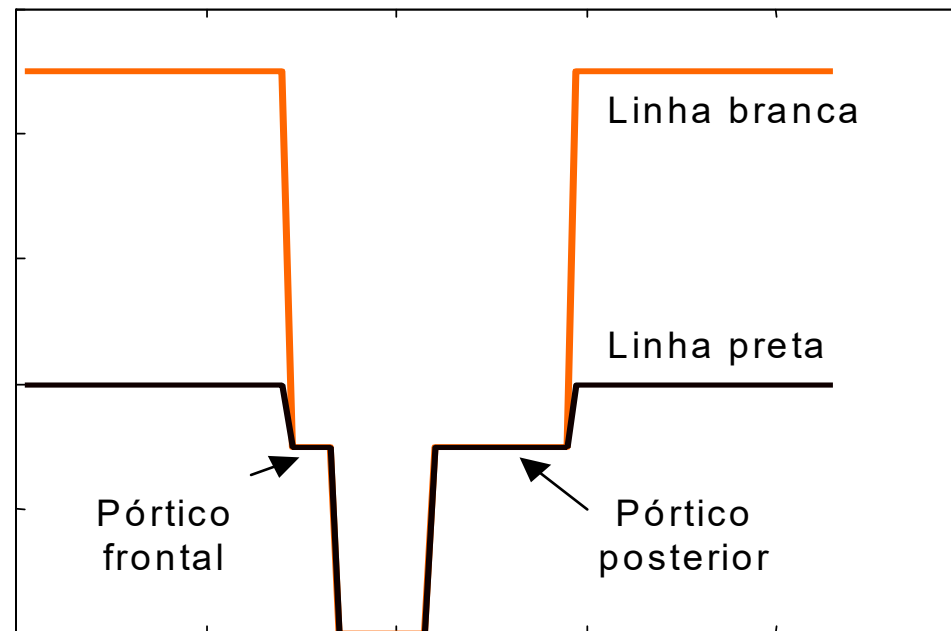


Efeito dos Pulsos de Equalização

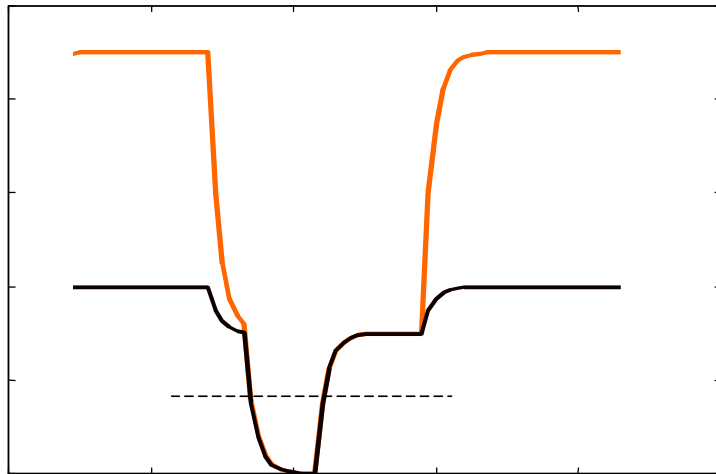


Pórticos (*Porch*) no Sincronismo Horizontal

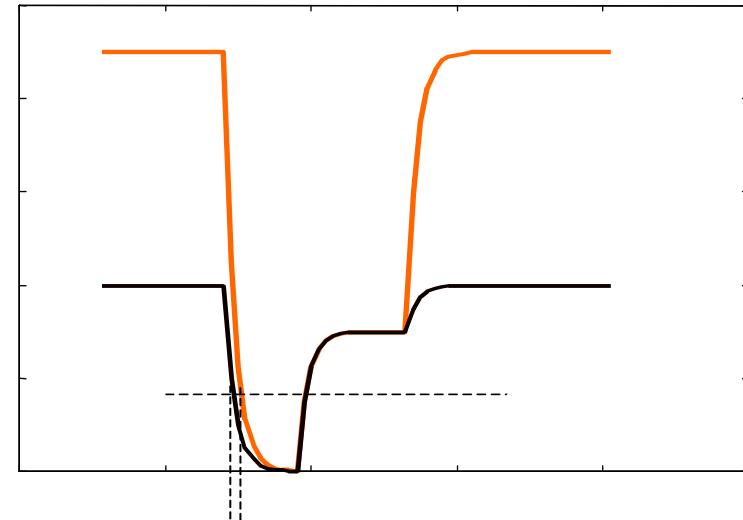
LCS
EPUSP



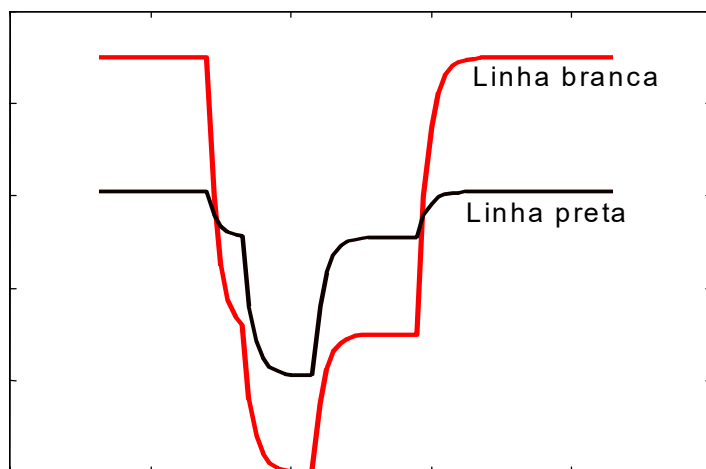
Efeito do Pórtico Frontal



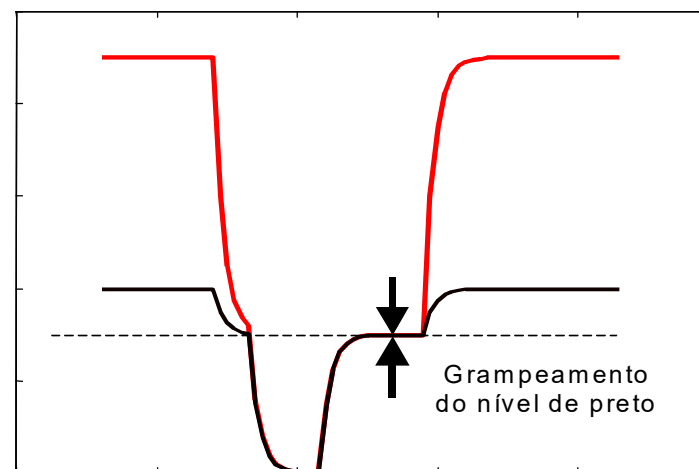
Sinal com Banda Limitada



Limitação de Banda sem
Pórtico Frontal



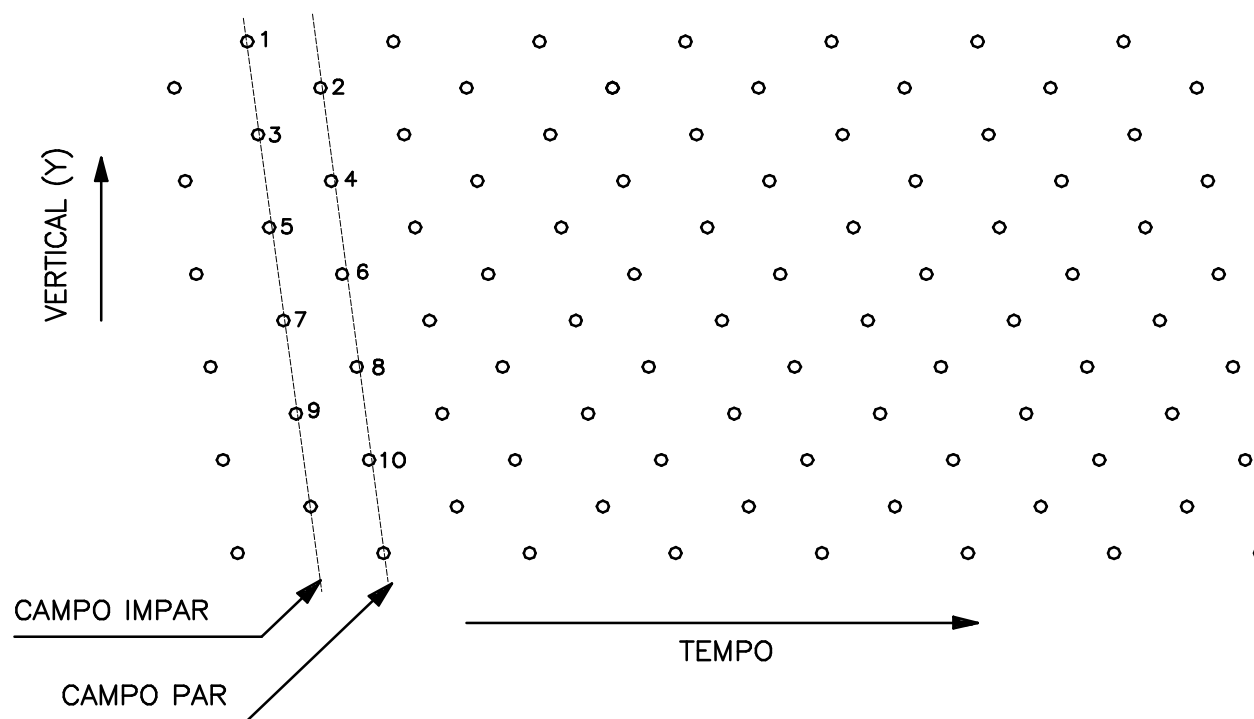
Acoplamento AC do Sinal
de Vídeo Composto



Sinal de Vídeo com
Grampeamento DC

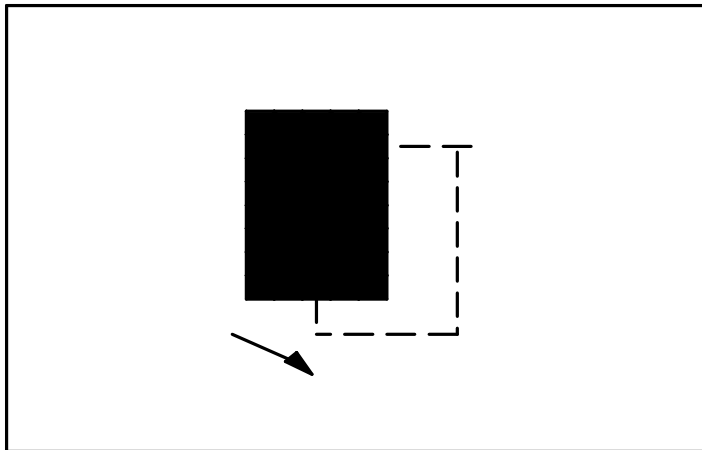
Estrutura de Amostragem Espacio-temporal

LCS
EPUSP

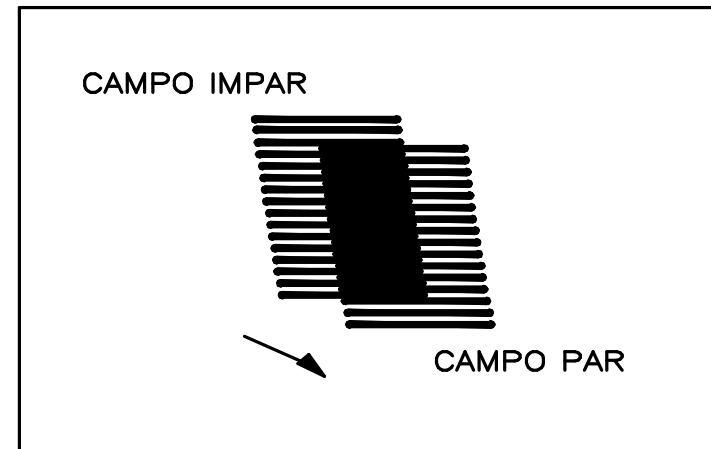


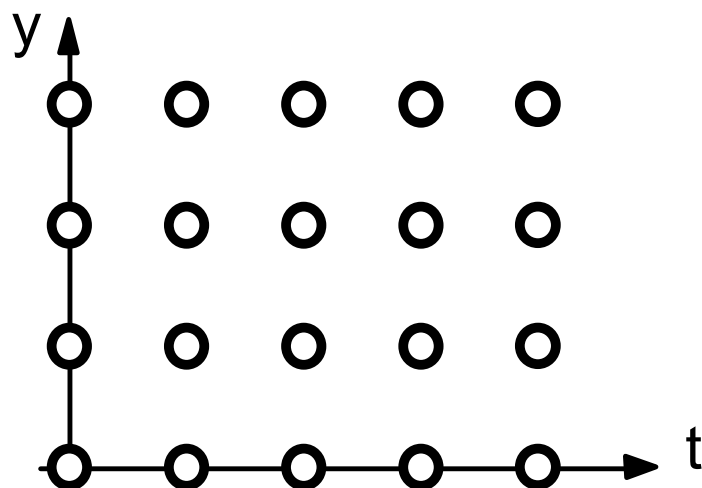
Amostragem Entrelaçada de um Objeto em Movimento

CENA COM MOVIMENTO

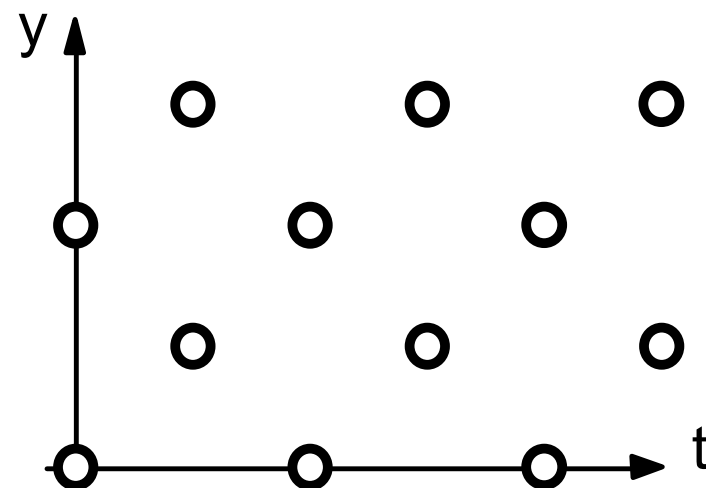


RESULTADO DA VARREDURA



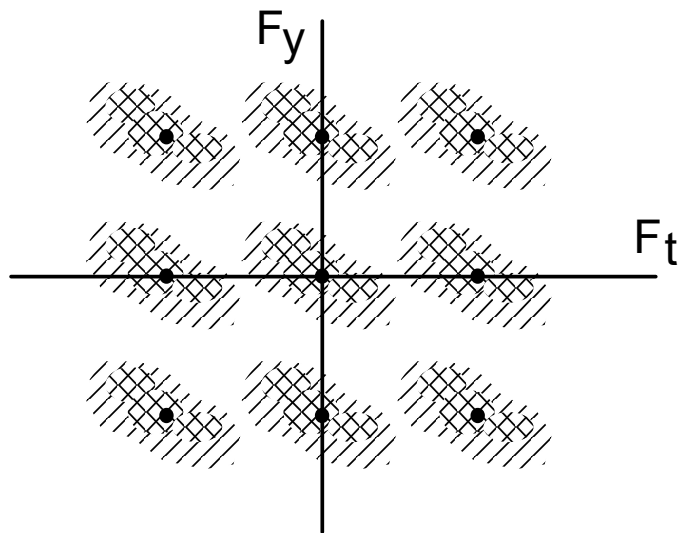


Varredura Progressiva

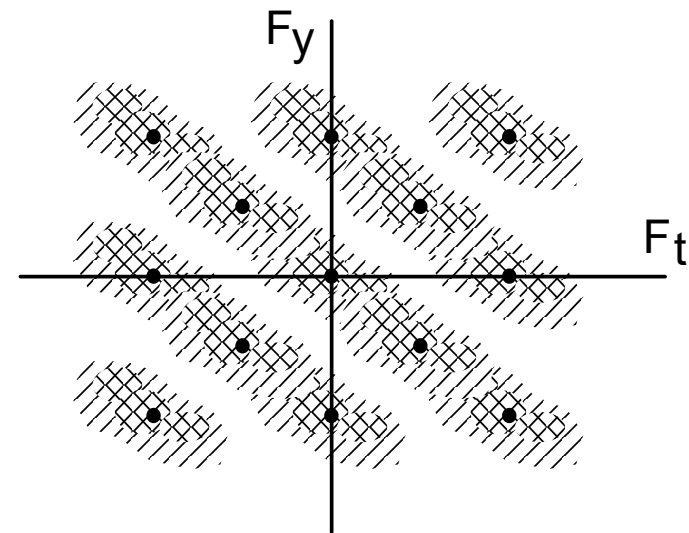


Varredura Entrelaçada

Espectros das Estruturas de Varredura



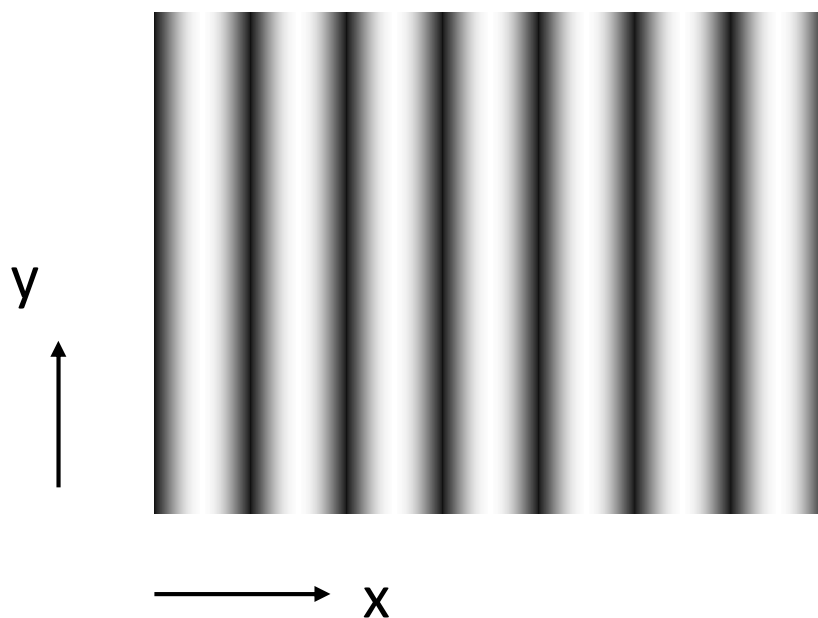
Varredura Progressiva



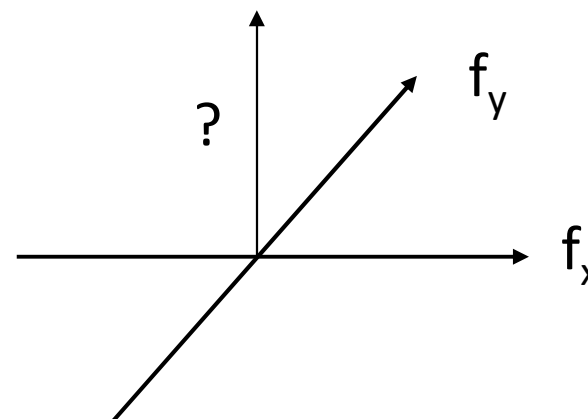
Varredura Entrelaçada

Espectro Bi-dimensional

LCS
EPUSP



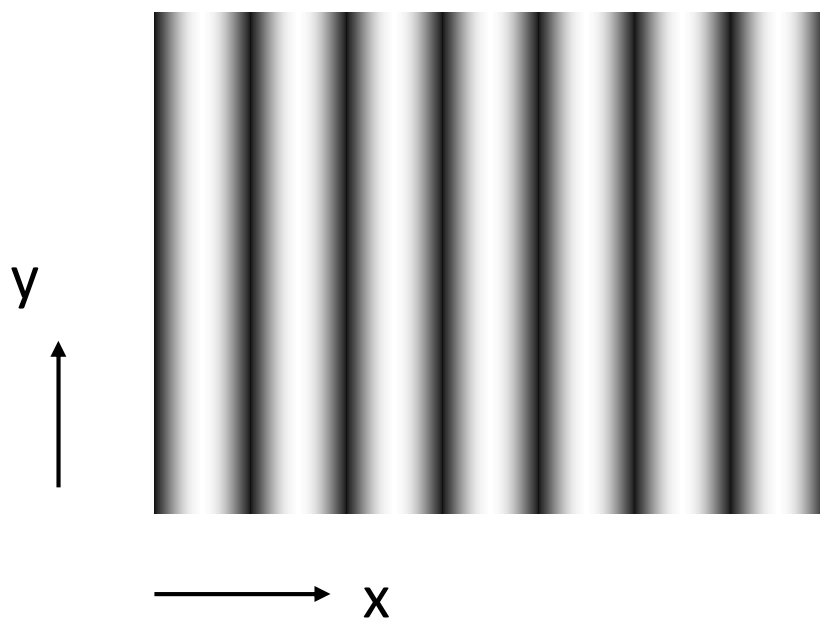
Domínio do Espaço



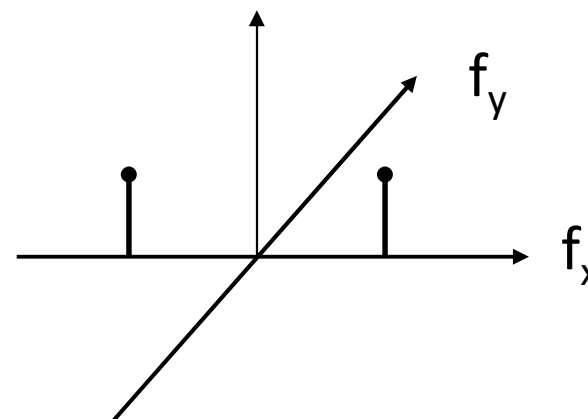
Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

LCS
EPUSP



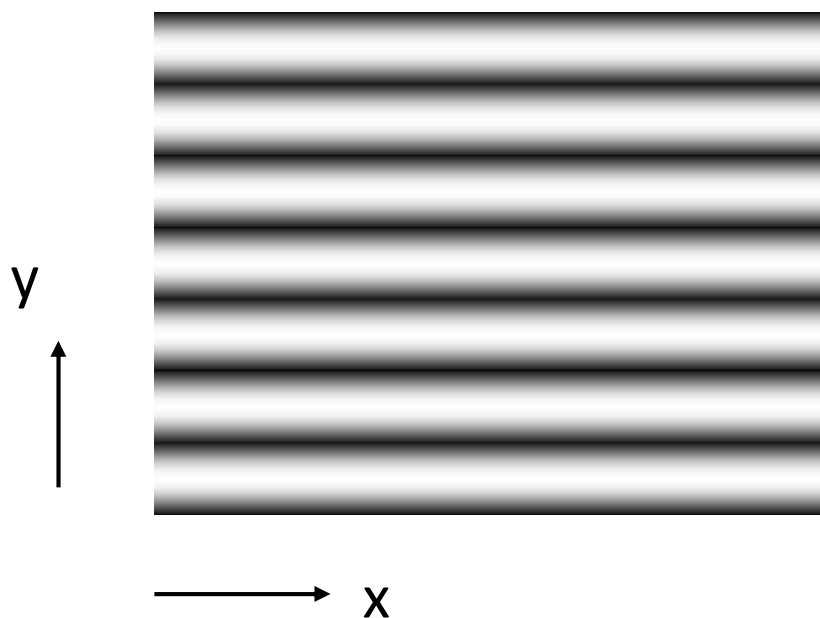
Domínio do Espaço



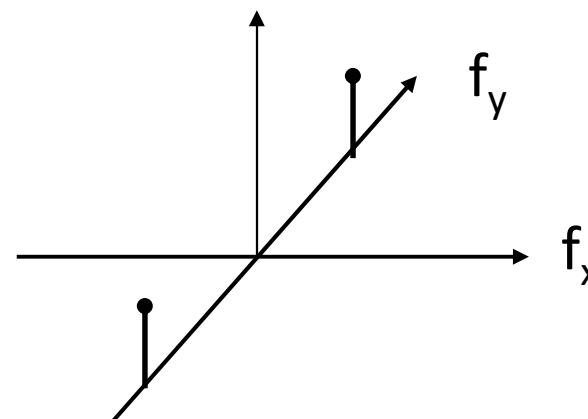
Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

LCS
EPUSP



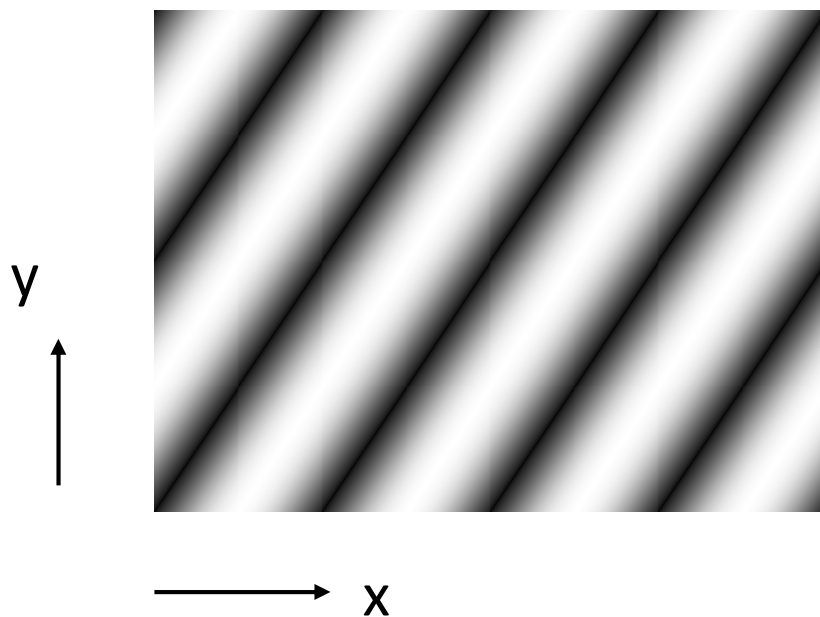
Domínio do Espaço



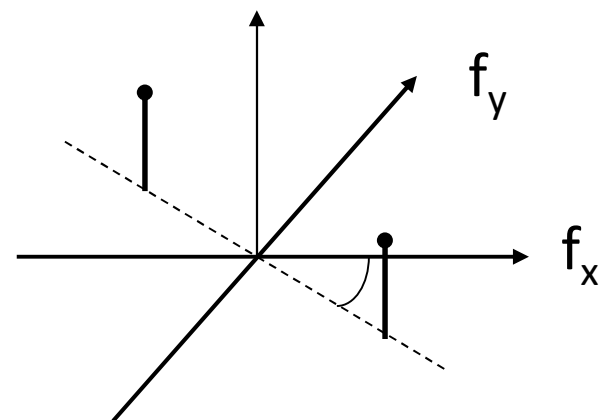
Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

LCS
EPUSP



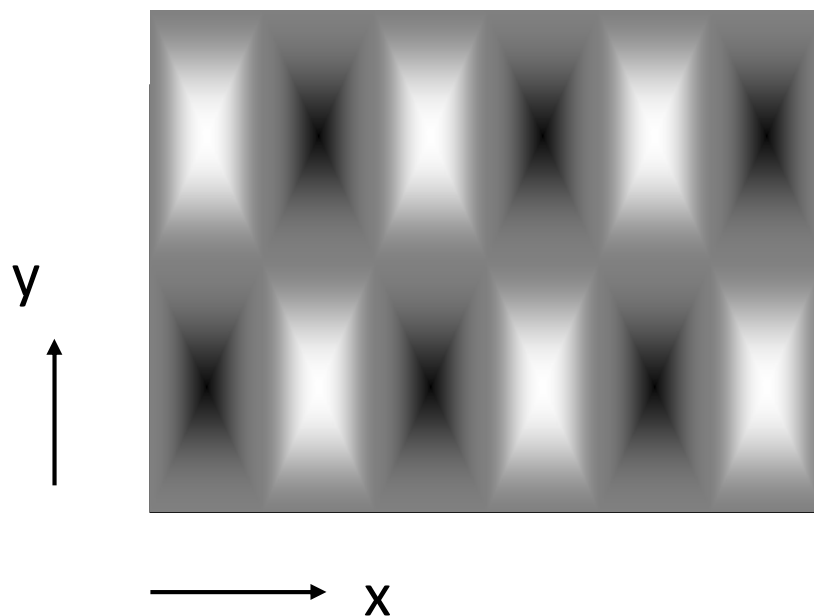
Domínio do Espaço



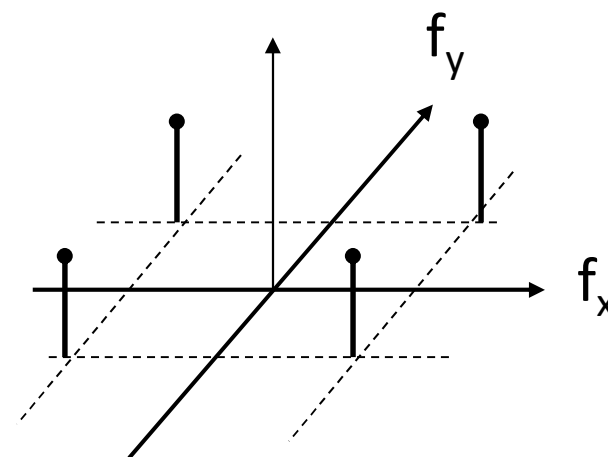
Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

LCS
EPUSP



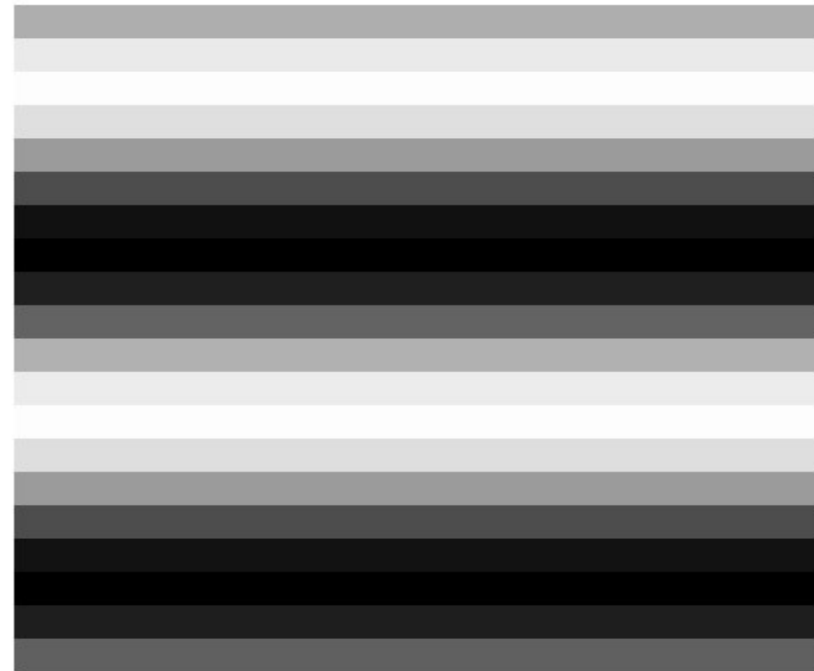
Domínio do Espaço



Domínio da Frequência Espacial

Critério de Kell x Nyquist

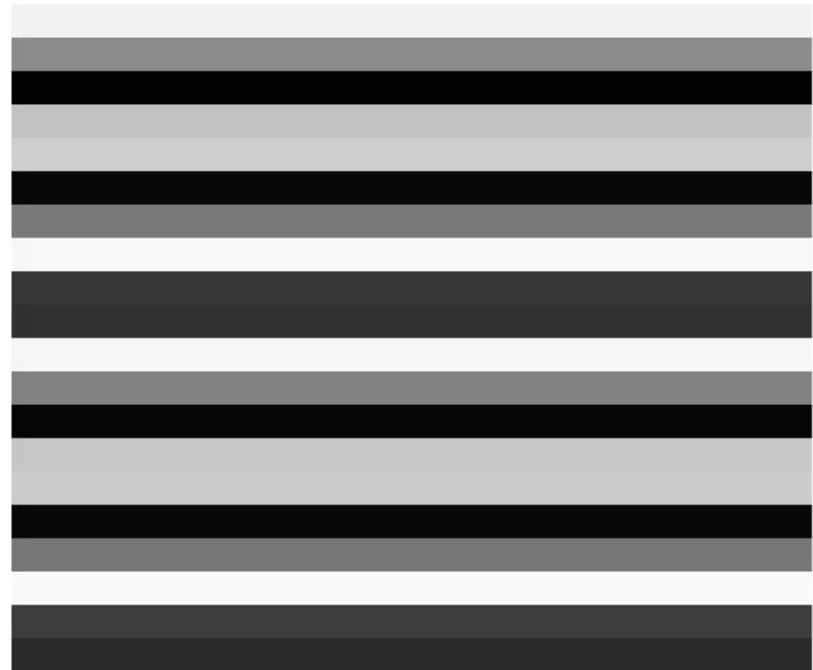
$$f_M / f_A = 0,1$$



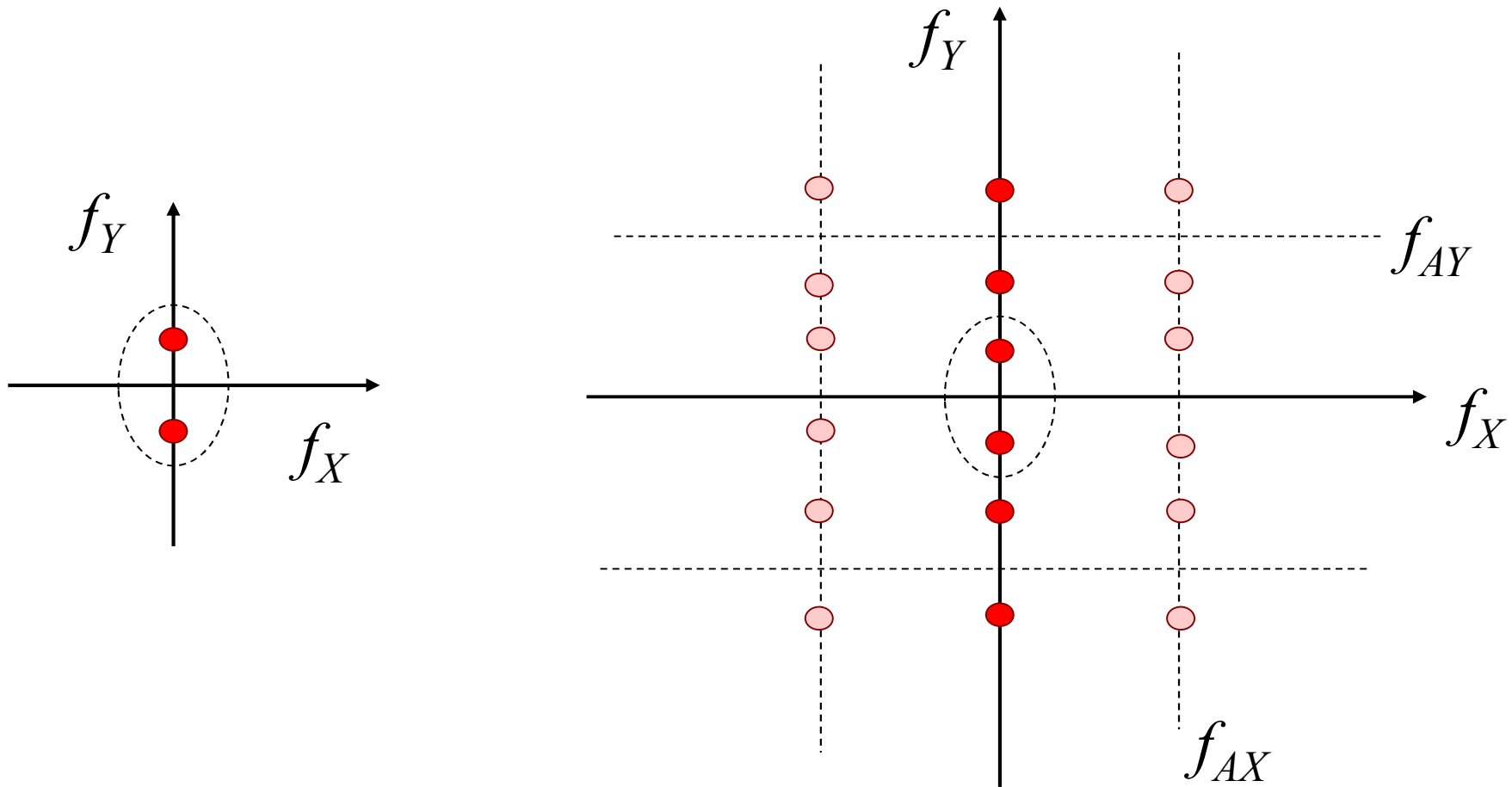
$$f_M / f_A = 0,2$$



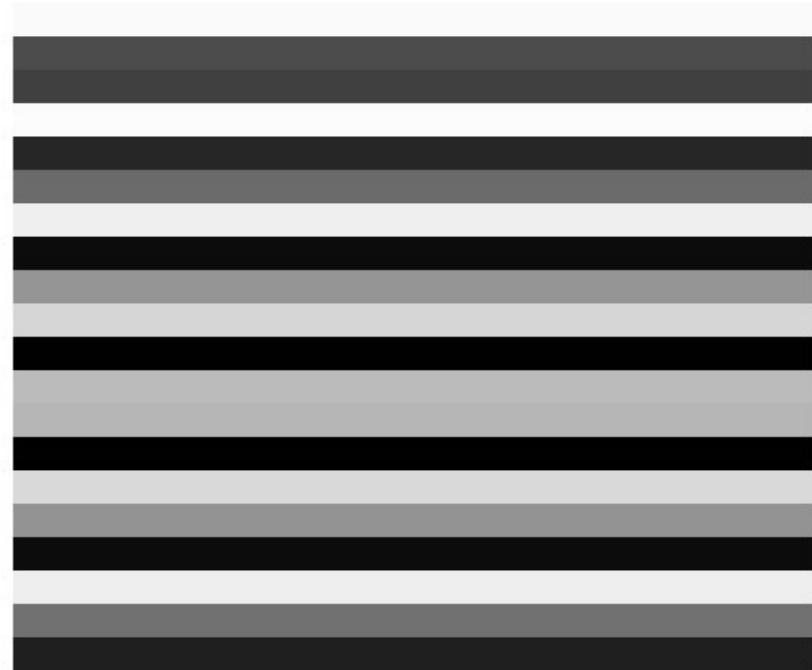
$$f_M / f_A = 0,3$$



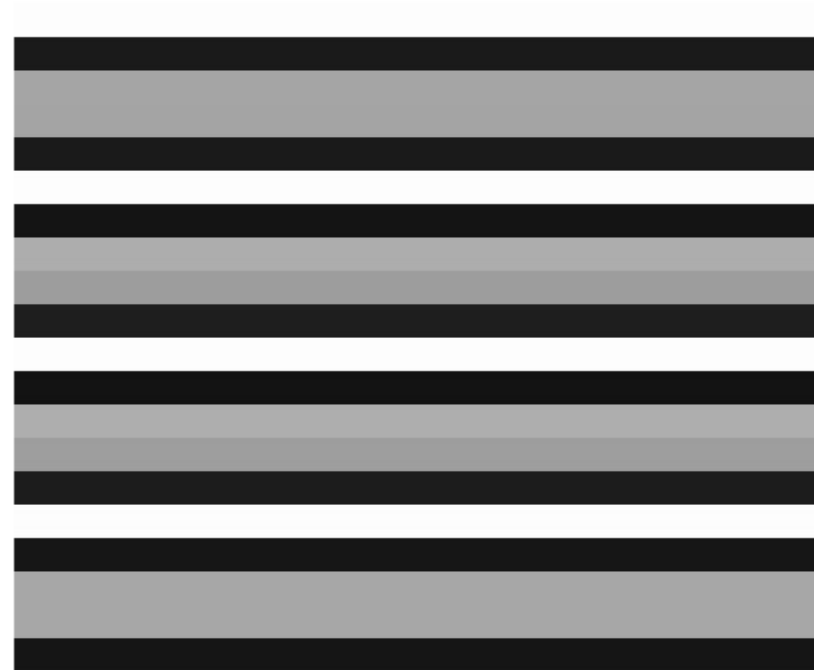
$$f_M / f_A = 0,3$$



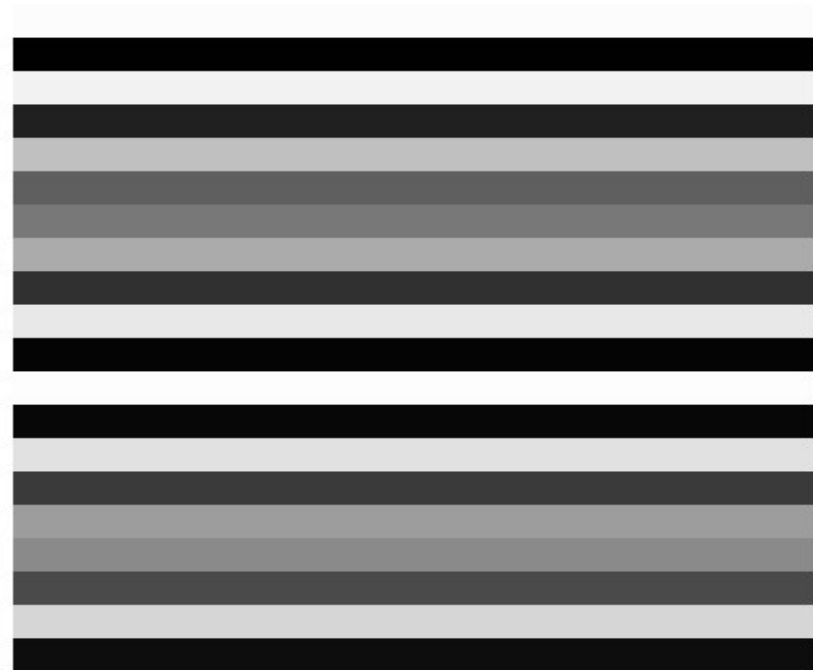
$$f_M / f_A = 0,35$$



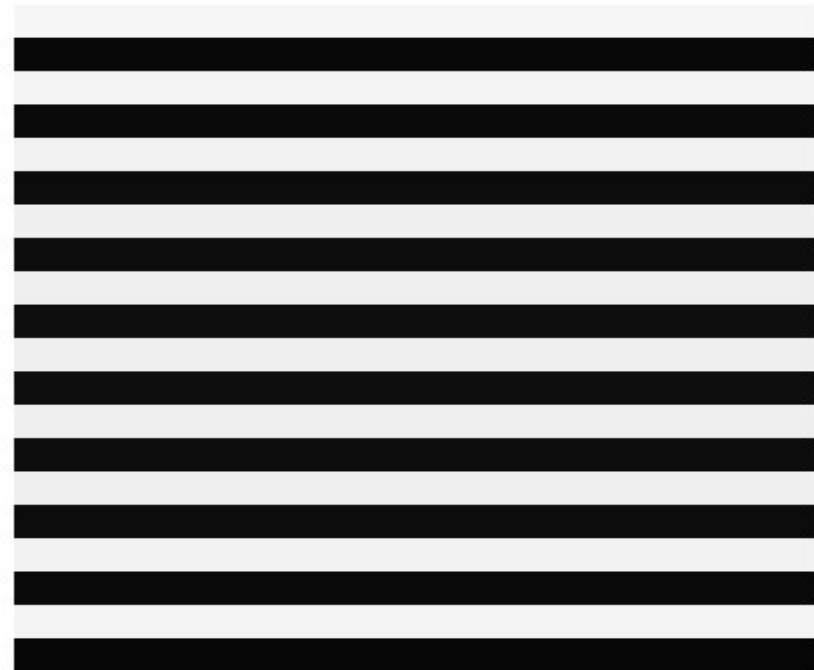
$$f_M / f_A = 0,4$$



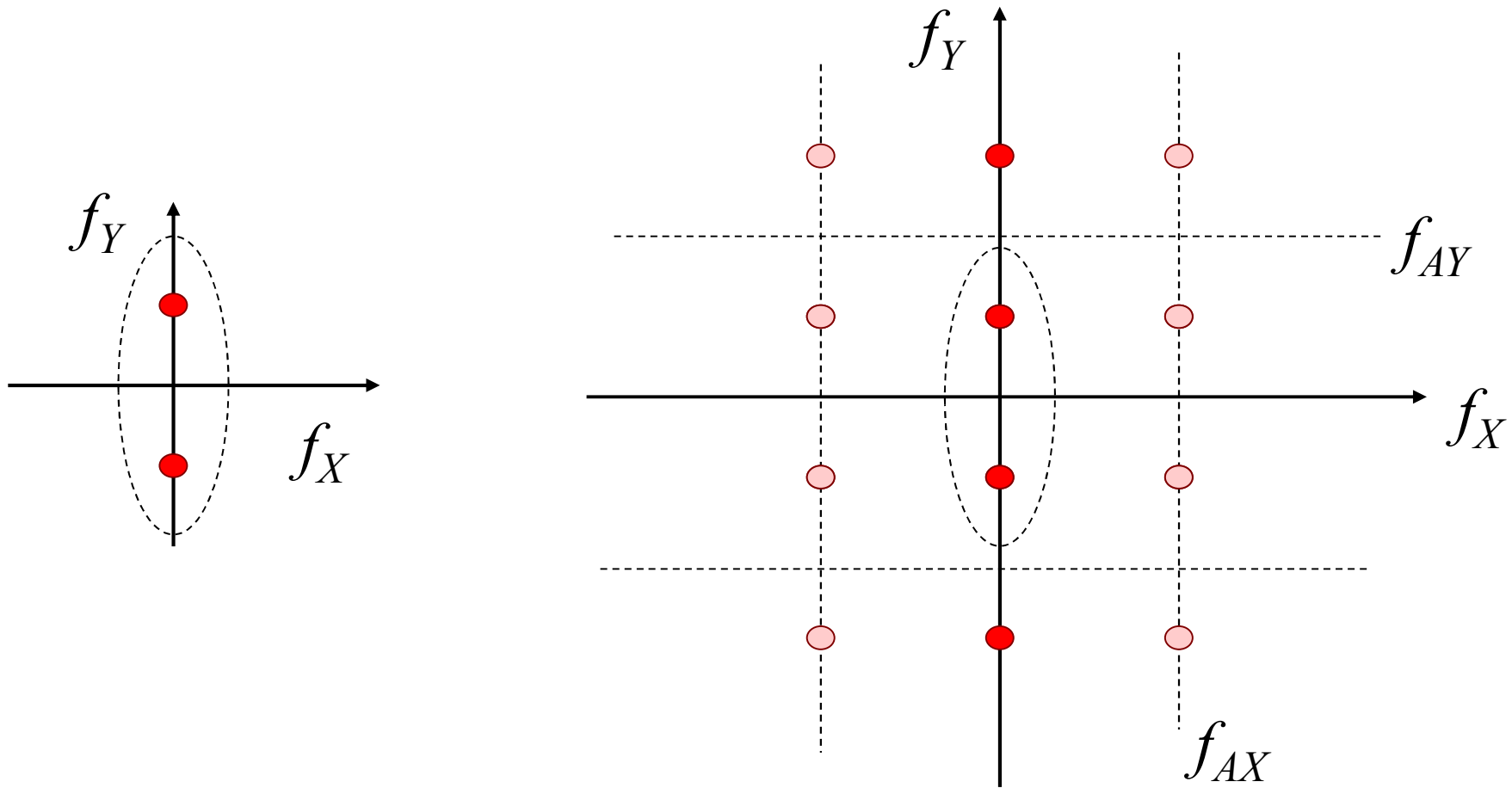
$$f_M / f_A = 0,45$$



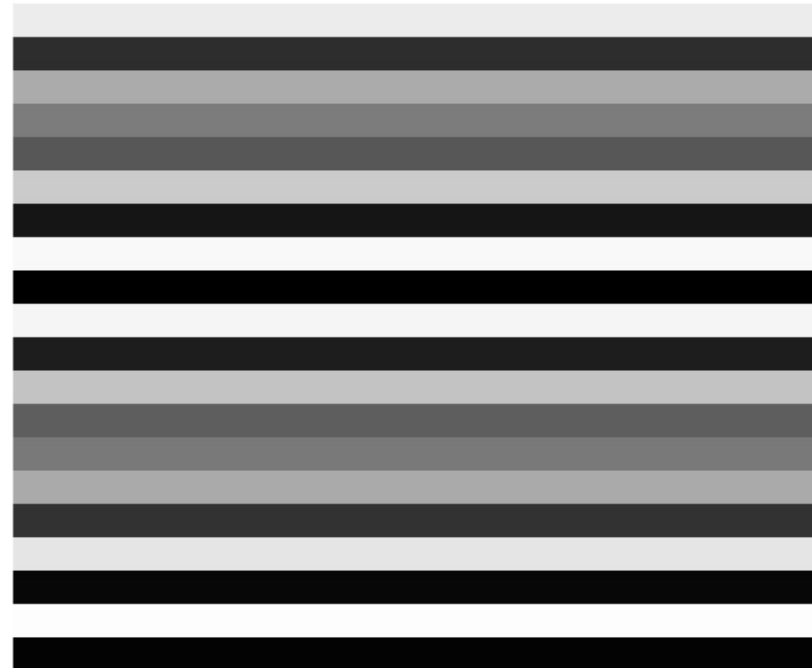
$$f_M / f_A = 0,5$$



$$f_M / f_A = 0,5$$



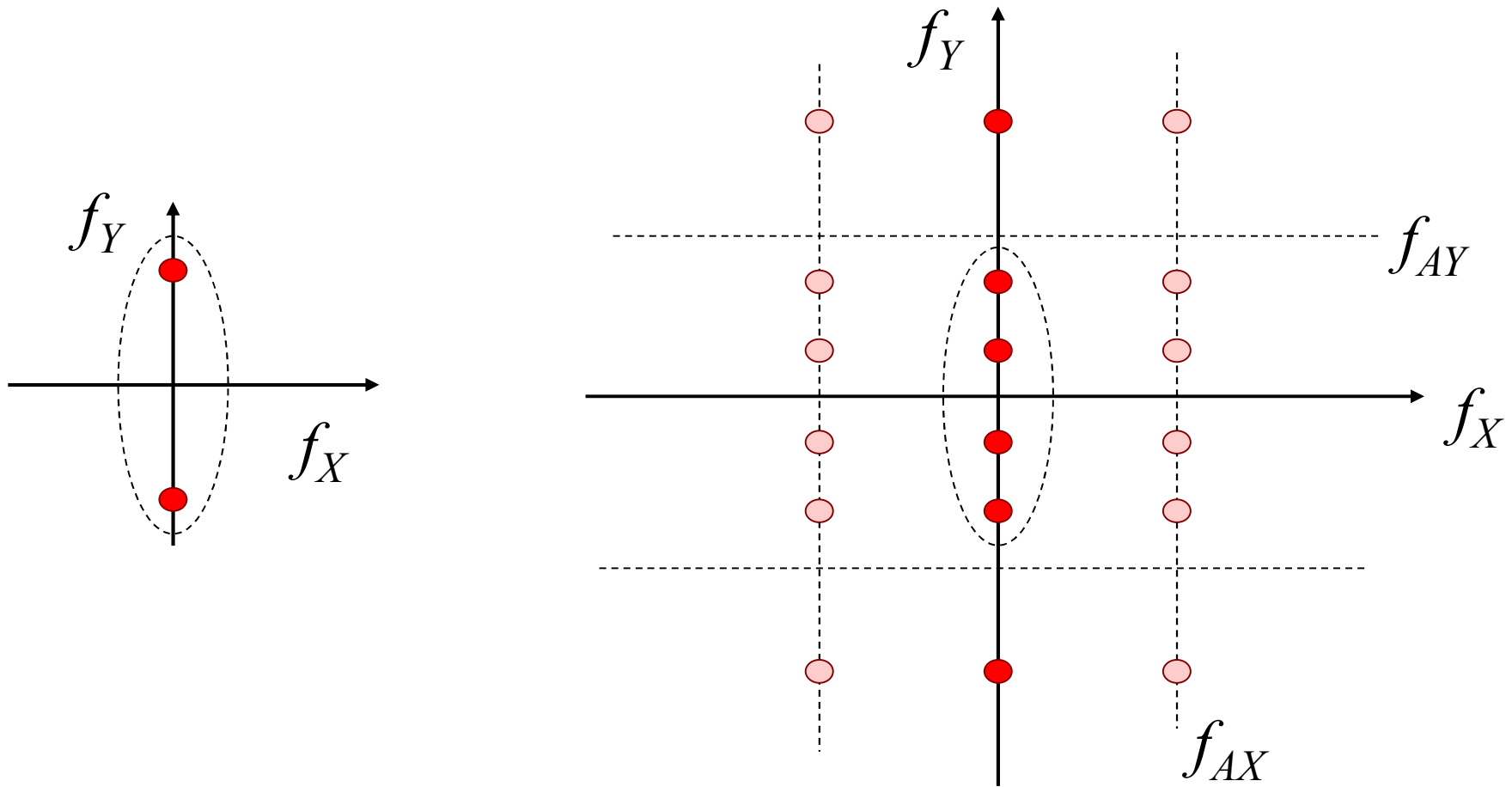
$$f_M / f_A = 0,55$$



$$f_M / f_A = 0,8$$



$$f_M / f_A = 0,8$$



$$f_M / f_A = 0,95$$

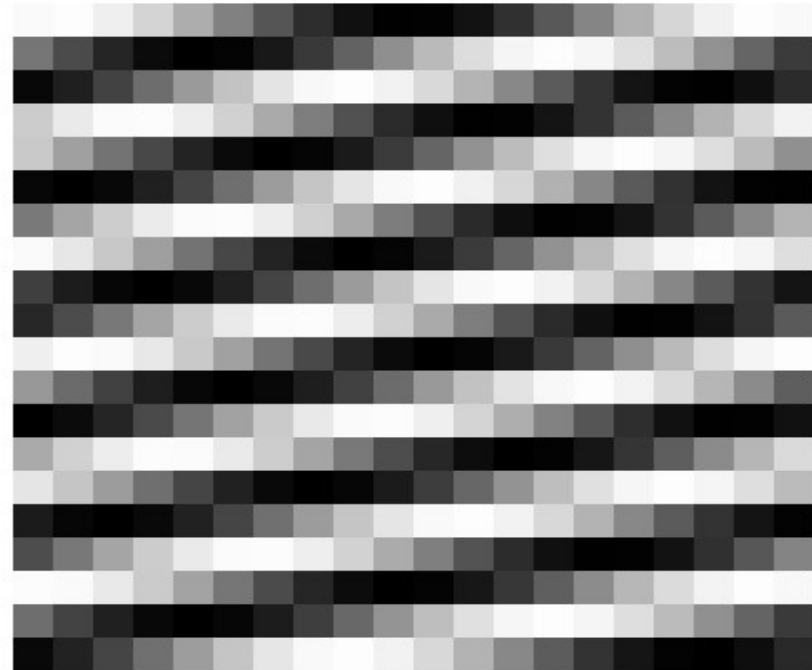
LCS
EPUSP



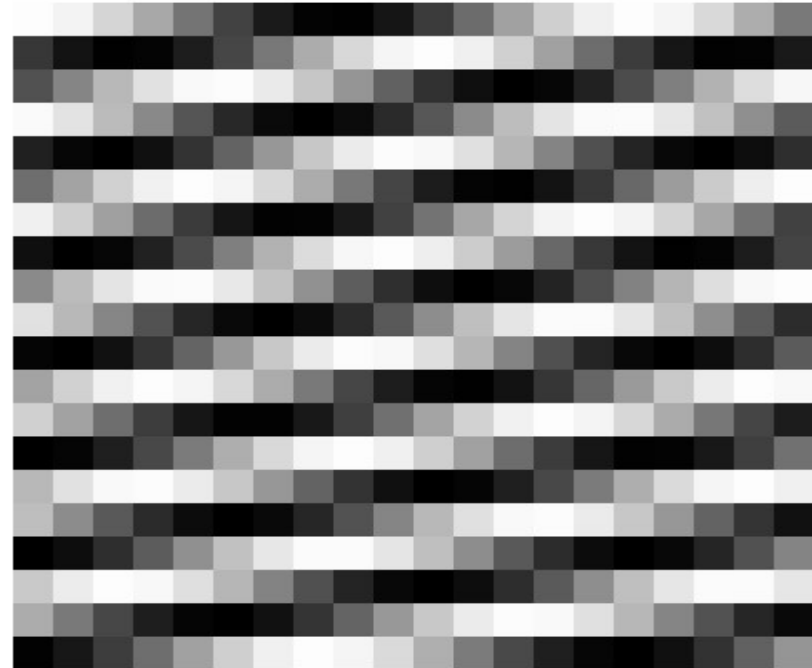
$$f_M / f_A = 0,2$$



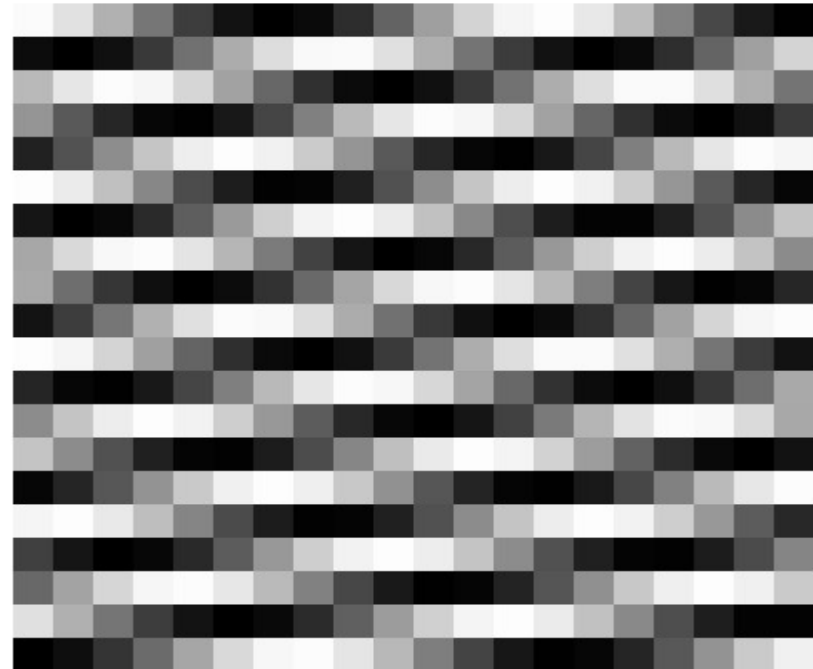
$$f_M / f_A = 0,3$$



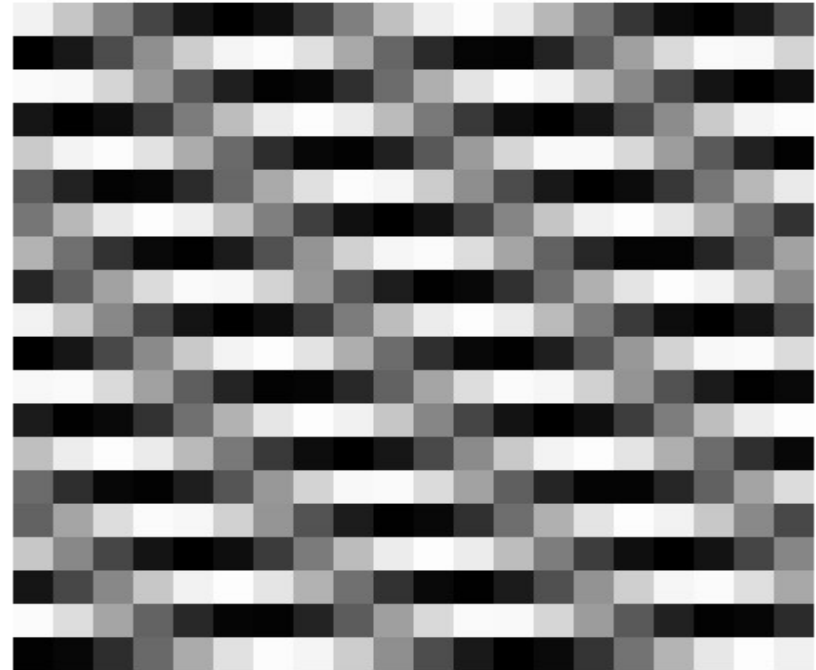
$$f_M / f_A = 0,35$$



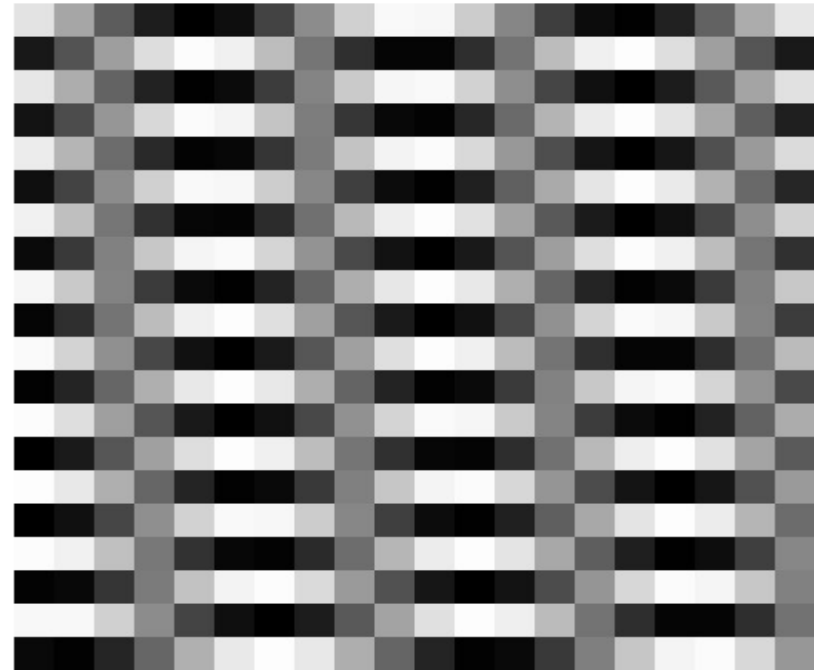
$$f_M / f_A = 0,4$$



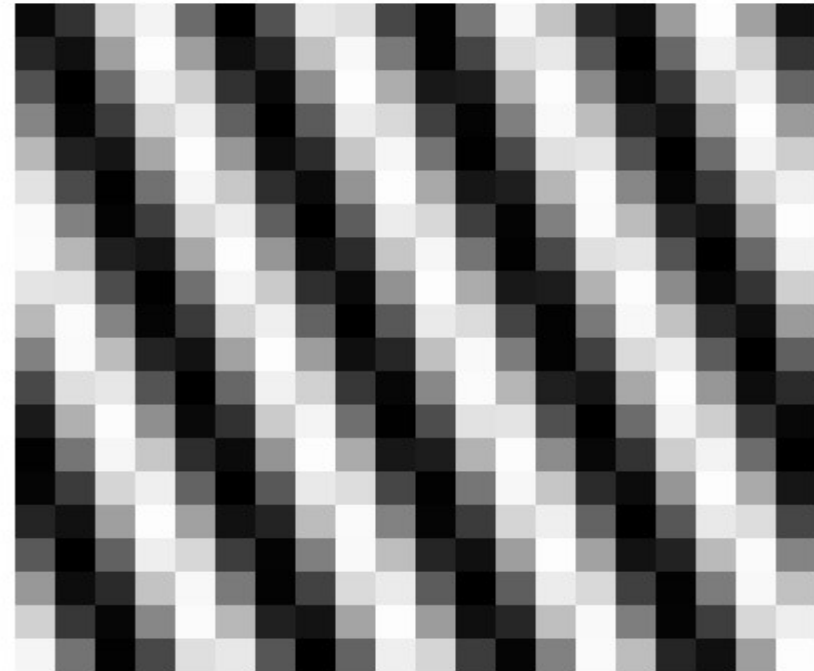
$$f_M / f_A = 0,45$$



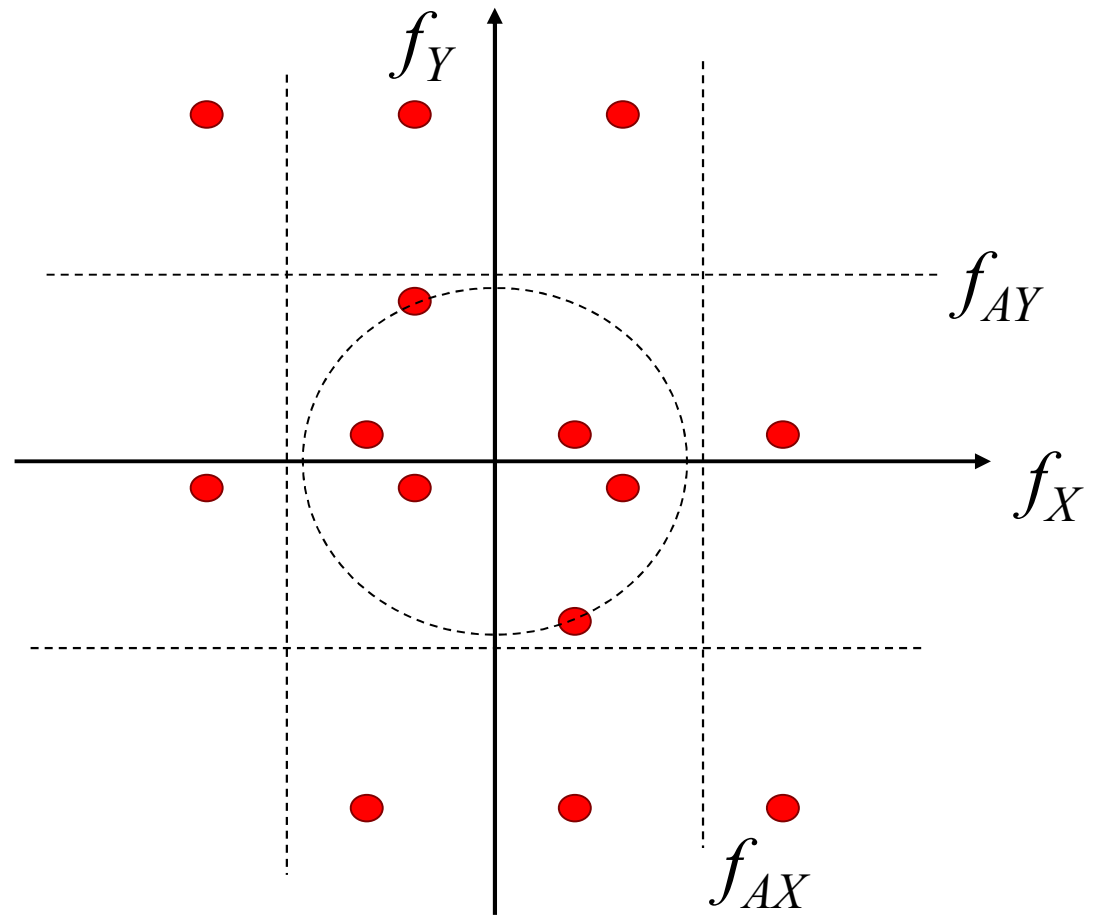
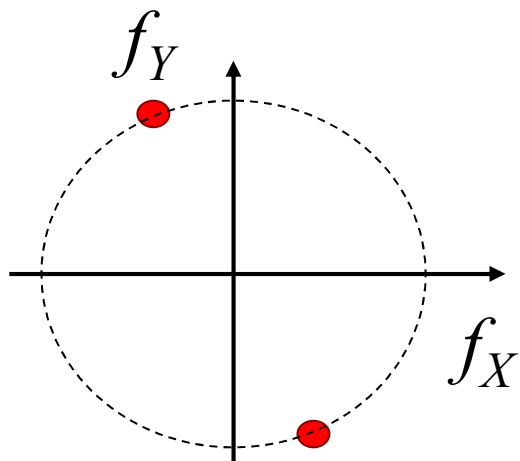
$$f_M / f_A = 0,5$$



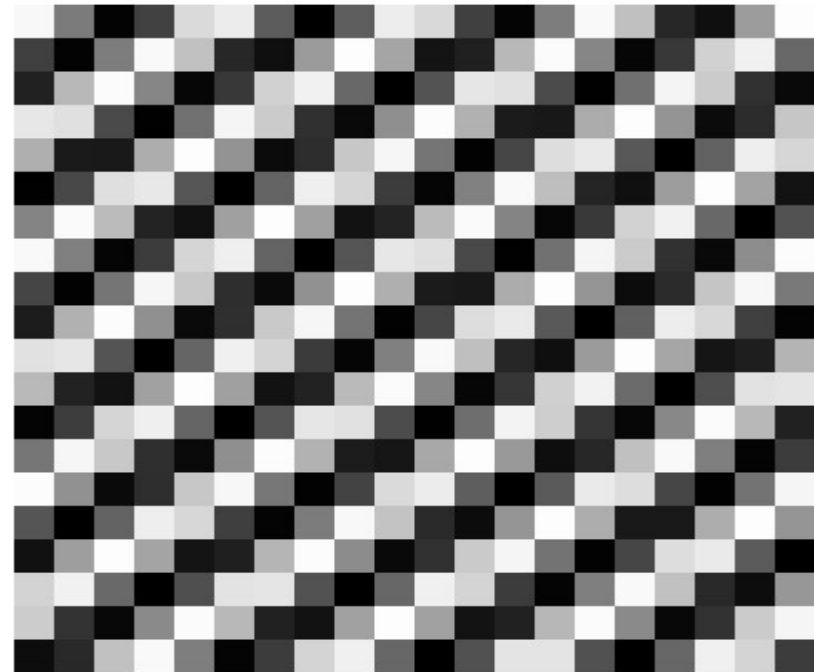
$$f_M / f_A = 0,95$$



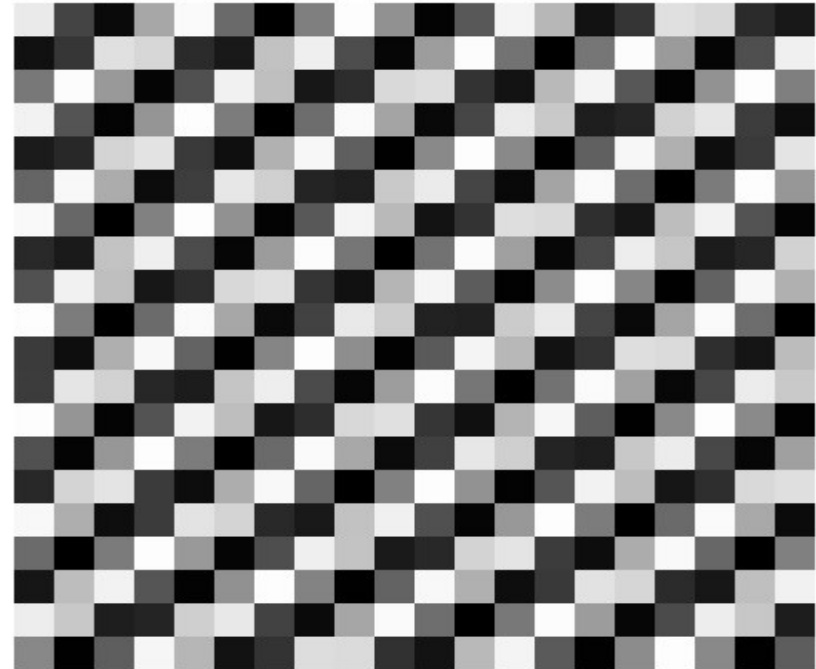
$$f_M / f_A = 0,95$$



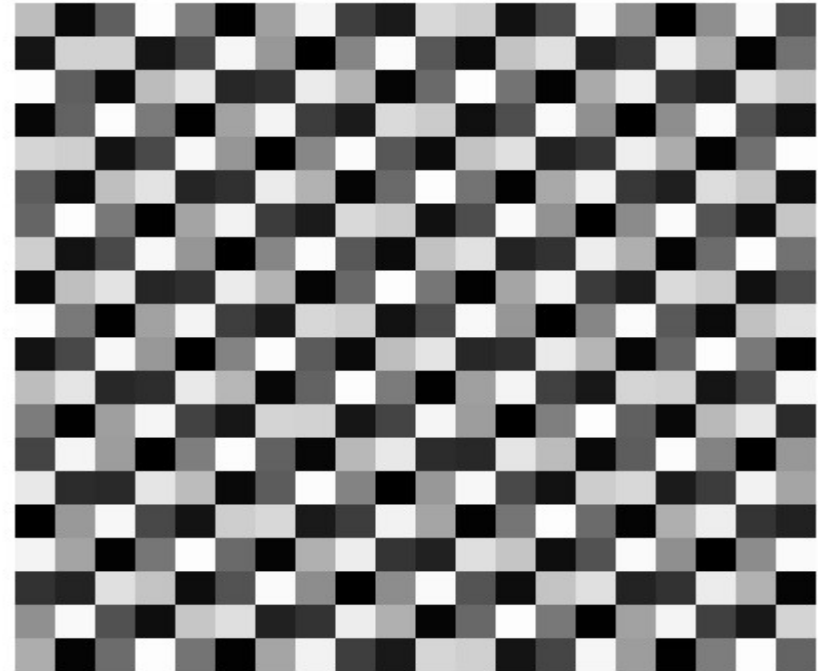
$$f_M / f_A = 0,35$$



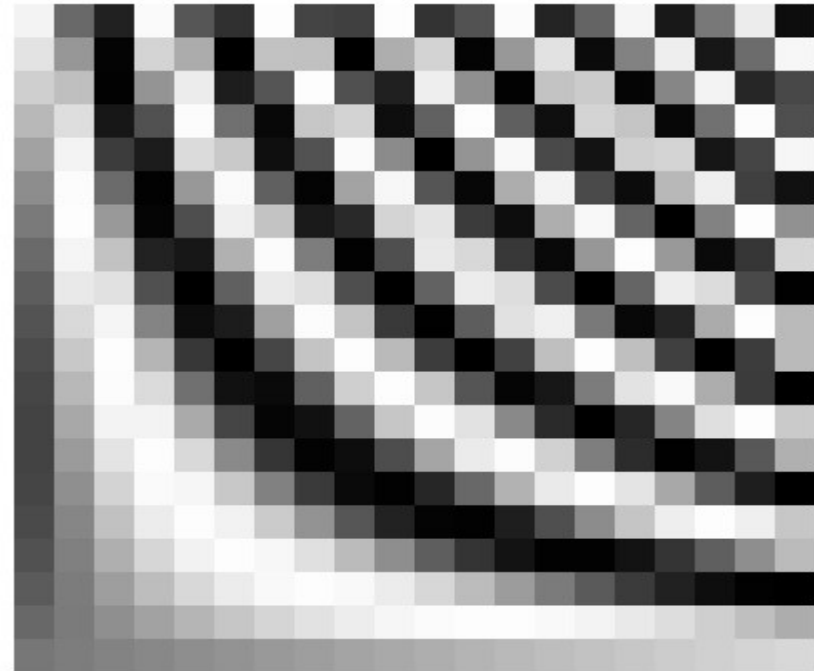
$$f_M / f_A = 0,4$$



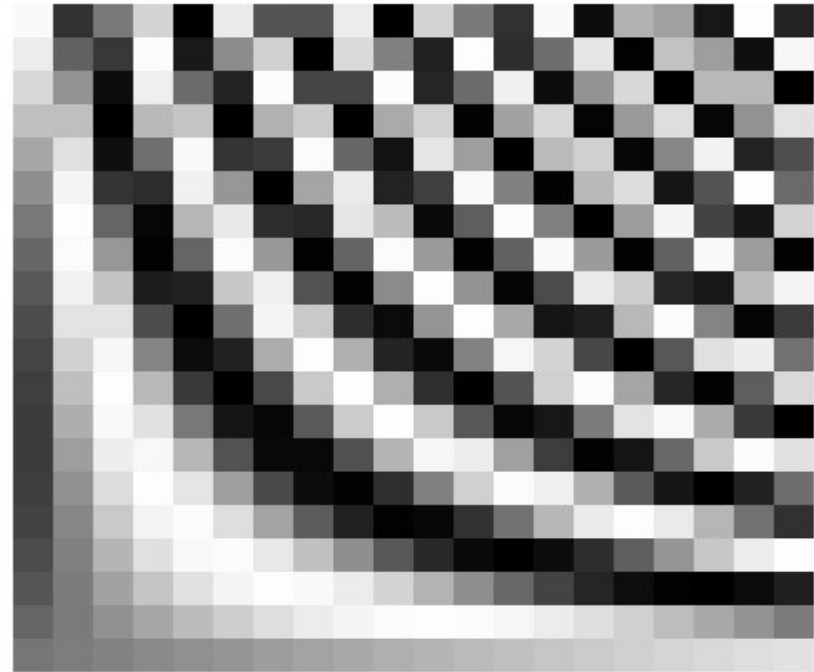
$$f_M / f_A = 0,5$$



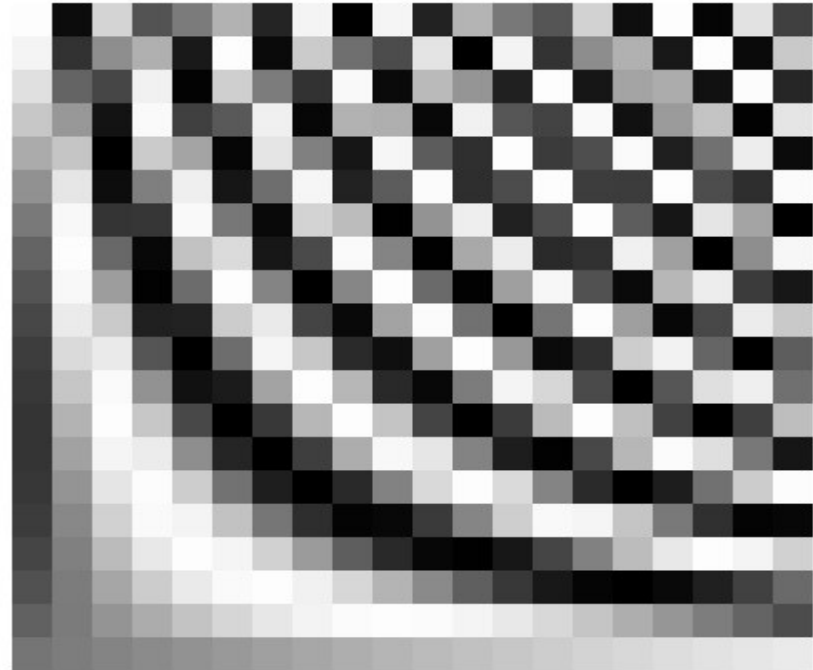
$$f_M / f_A = 0,35$$



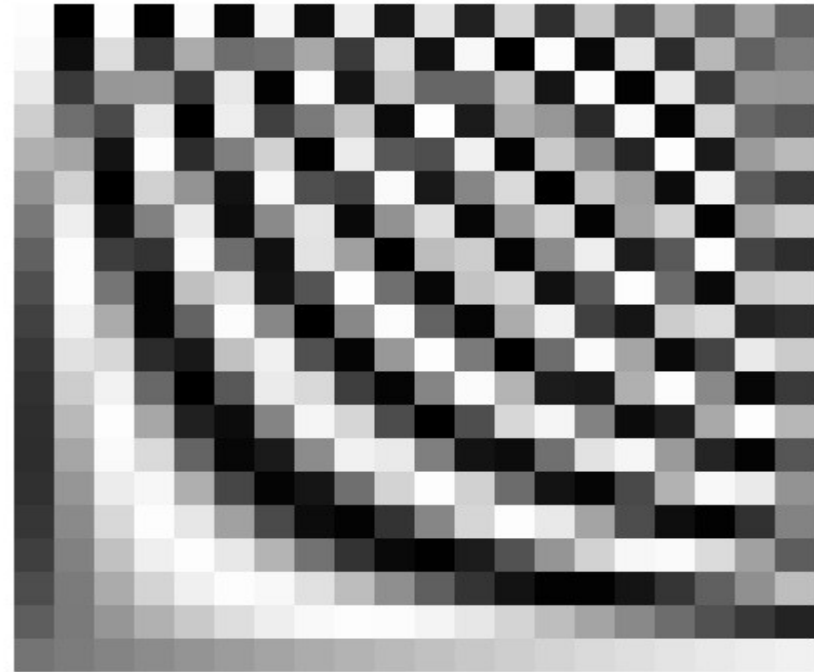
$$f_M / f_A = 0,4$$



$$f_M / f_A = 0,45$$



$$f_M / f_A = 0,5$$

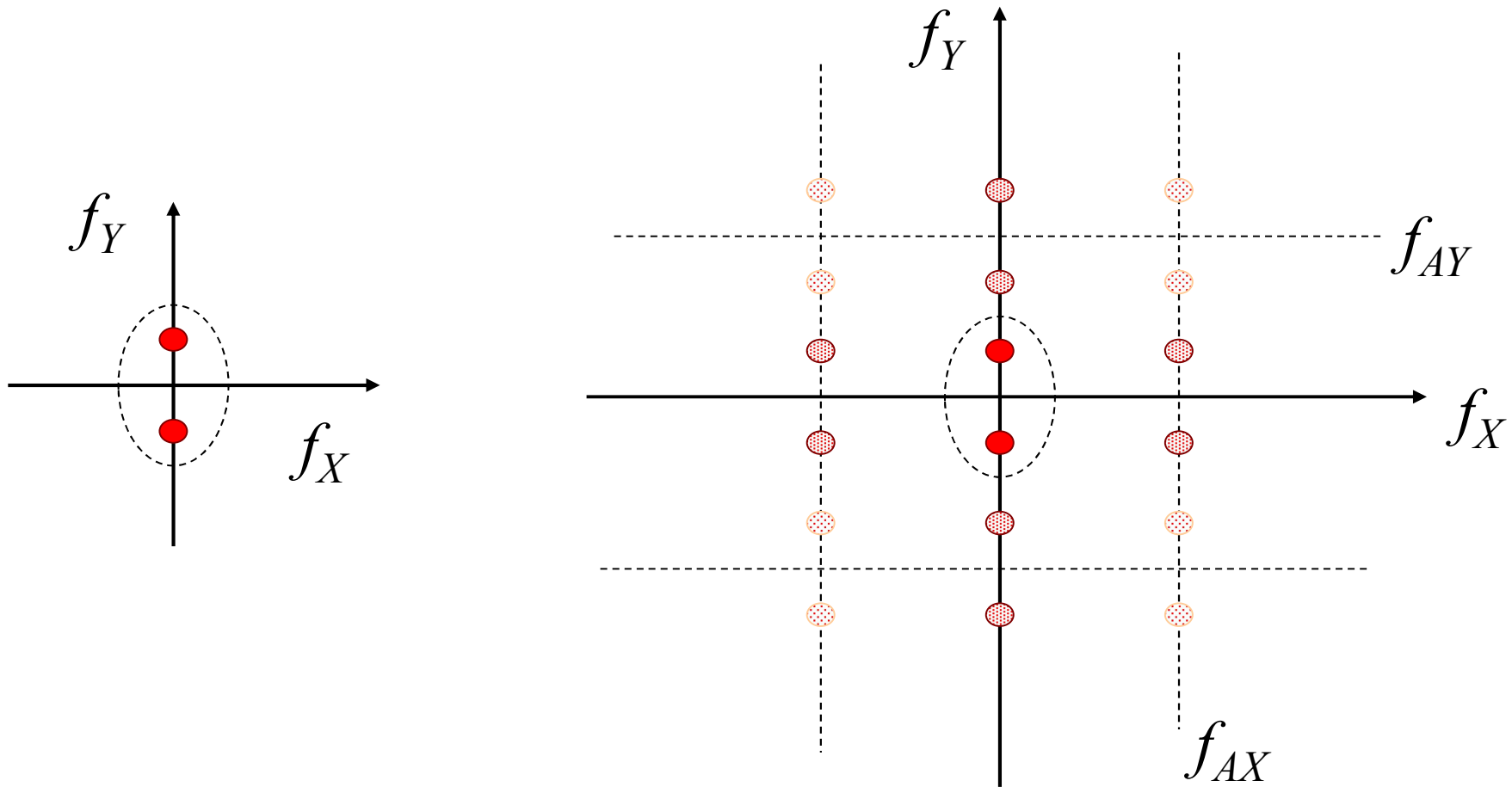


Amostragem com Função de Reconstrução Triangular

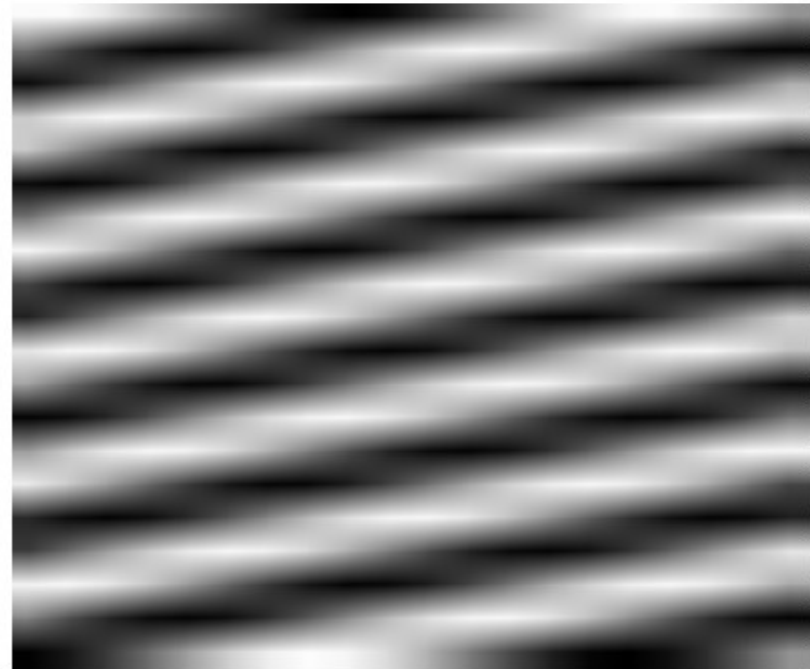
$$f_M / f_A = 0,35$$



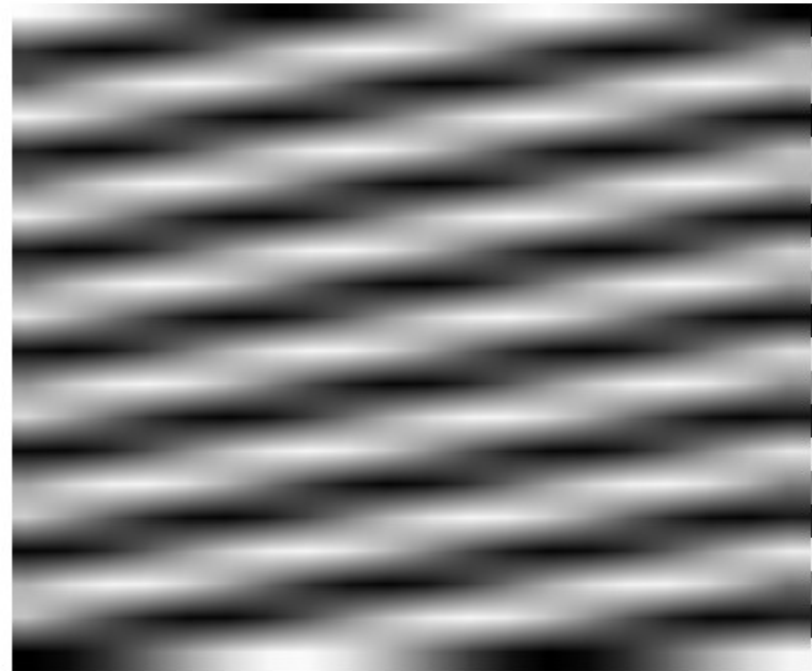
$$f_M / f_A = 0,35$$



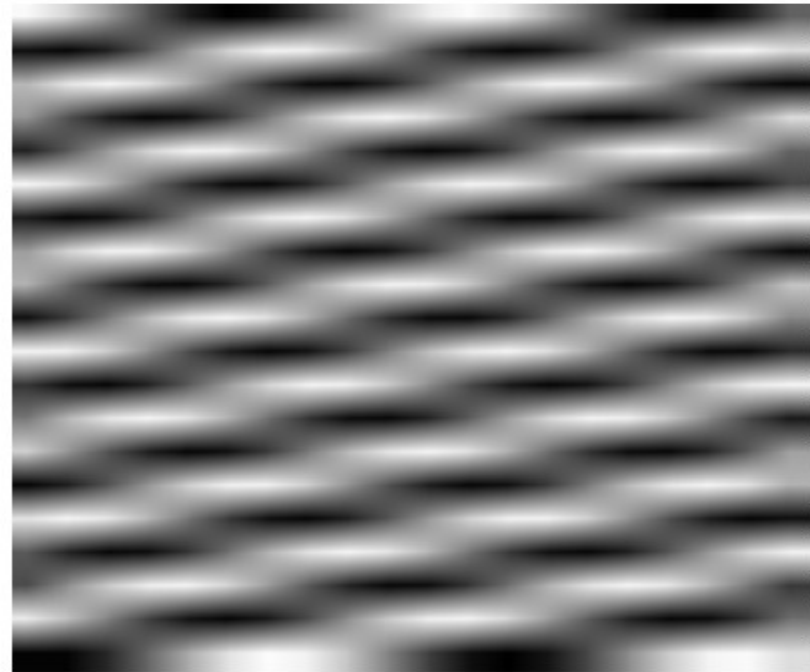
$$f_M / f_A = 0,3$$



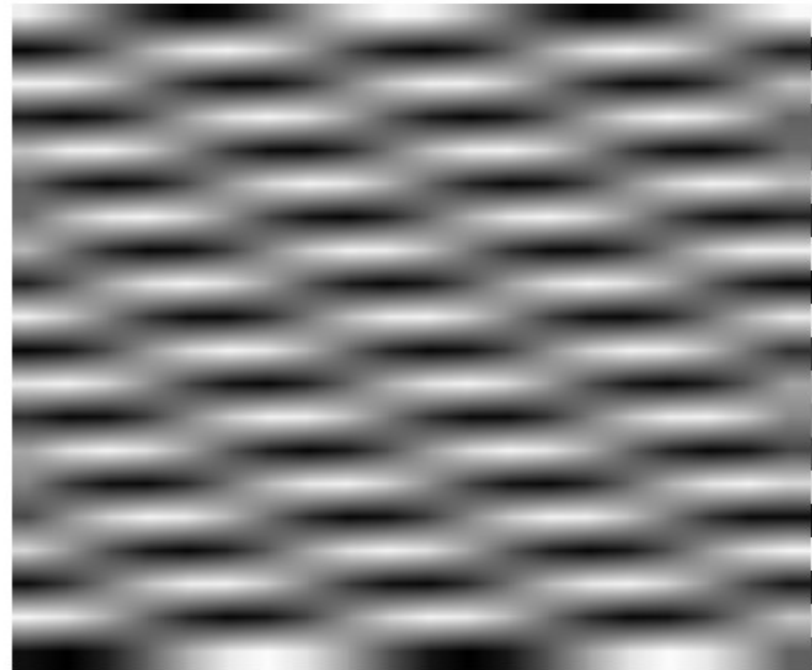
$$f_M / f_A = 0,35$$



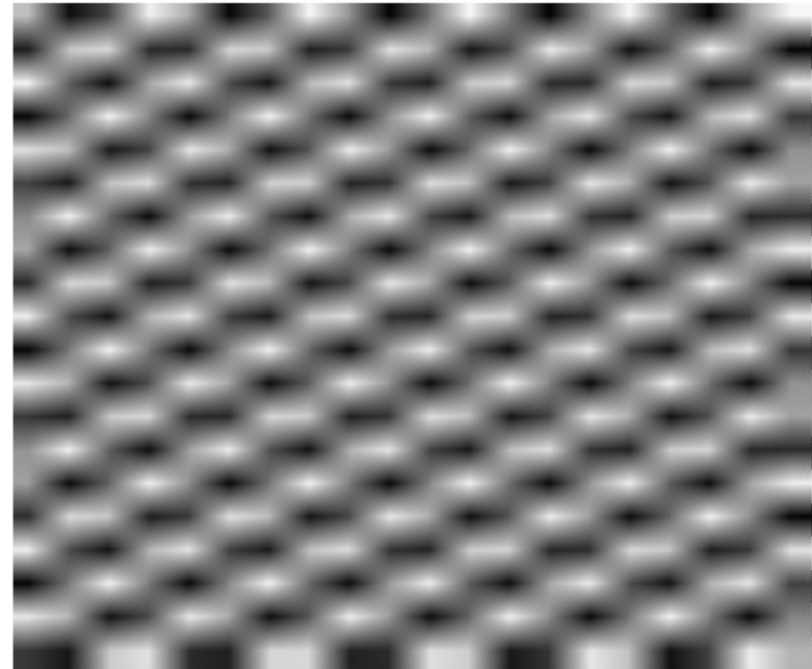
$$f_M / f_A = 0,4$$



$$f_M / f_A = 0,45$$



$$f_M / f_A = 0,5$$



“Aliasing” Espacial: Efeito “Moirée”

LCS
EPUSP



Imagem Original



Imagem Amostrada

“Aliasing” Espacial: Efeito “Moirée”

LCS
EPUSP



Imagem Original

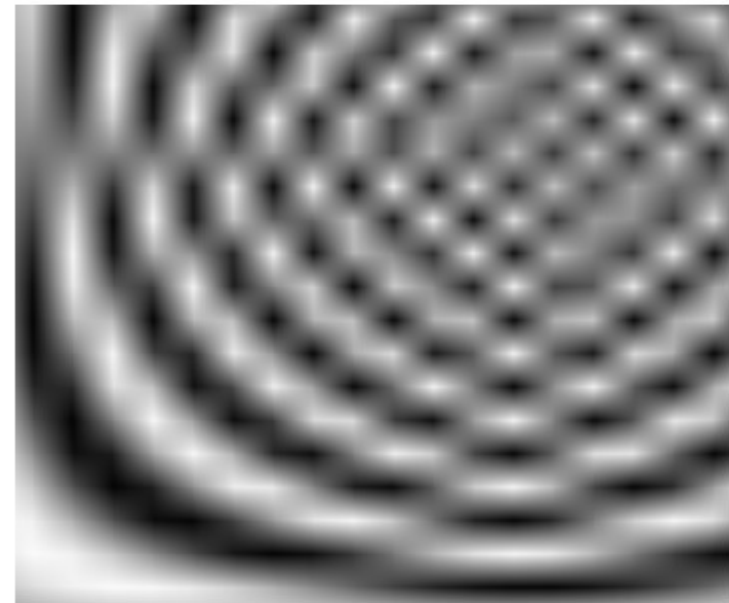
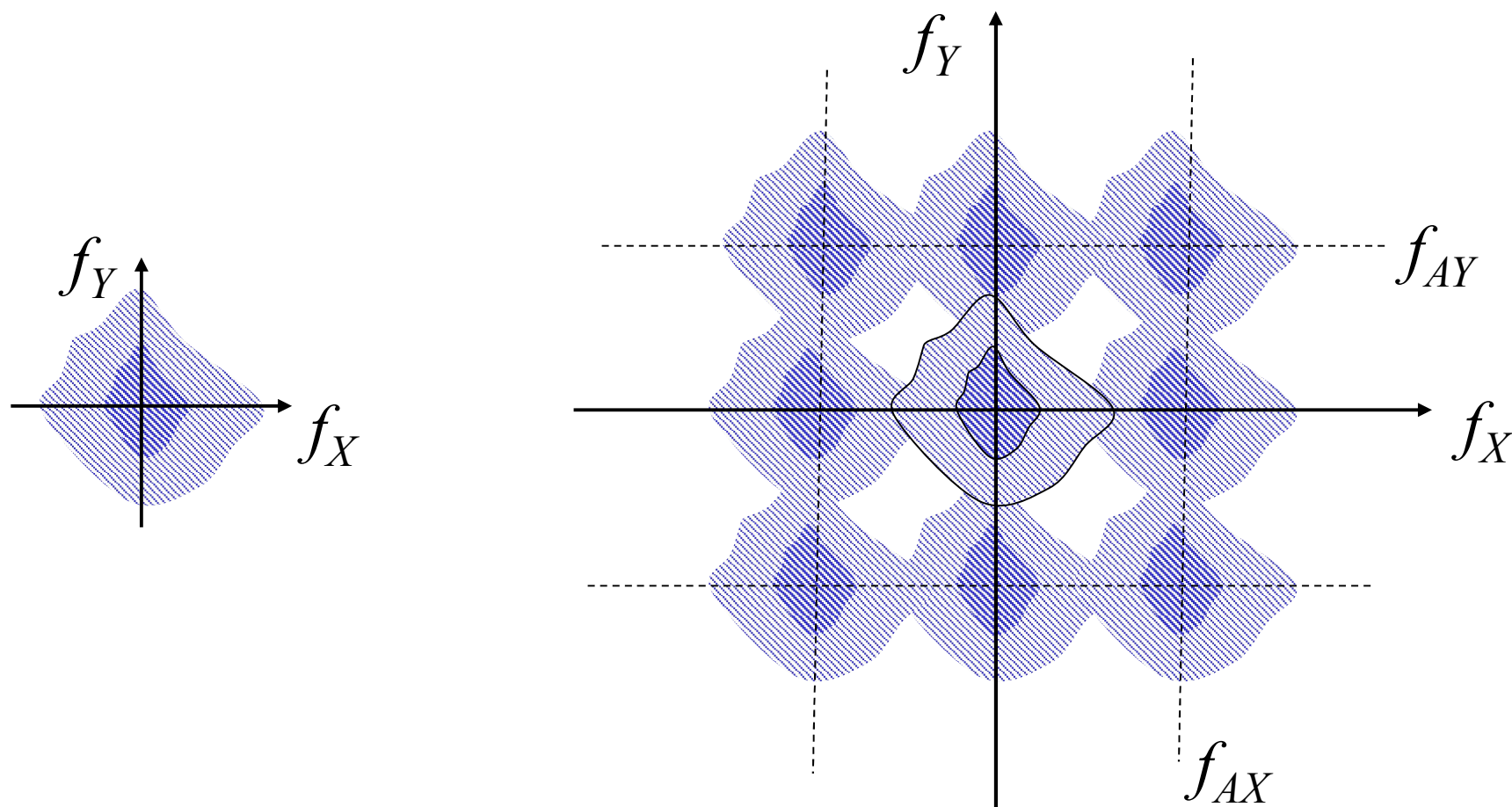


Imagem Amostrada
e reconstruída

Espectro 2-D da Imagem Amostrada

LCS
EPUSP



Redução do “Aliasing” Espacial por Filtragem

LCS
EPUSP

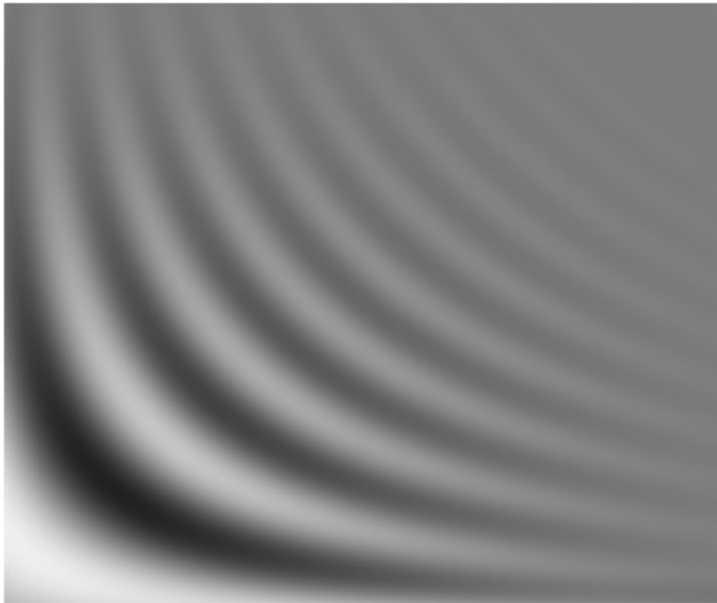
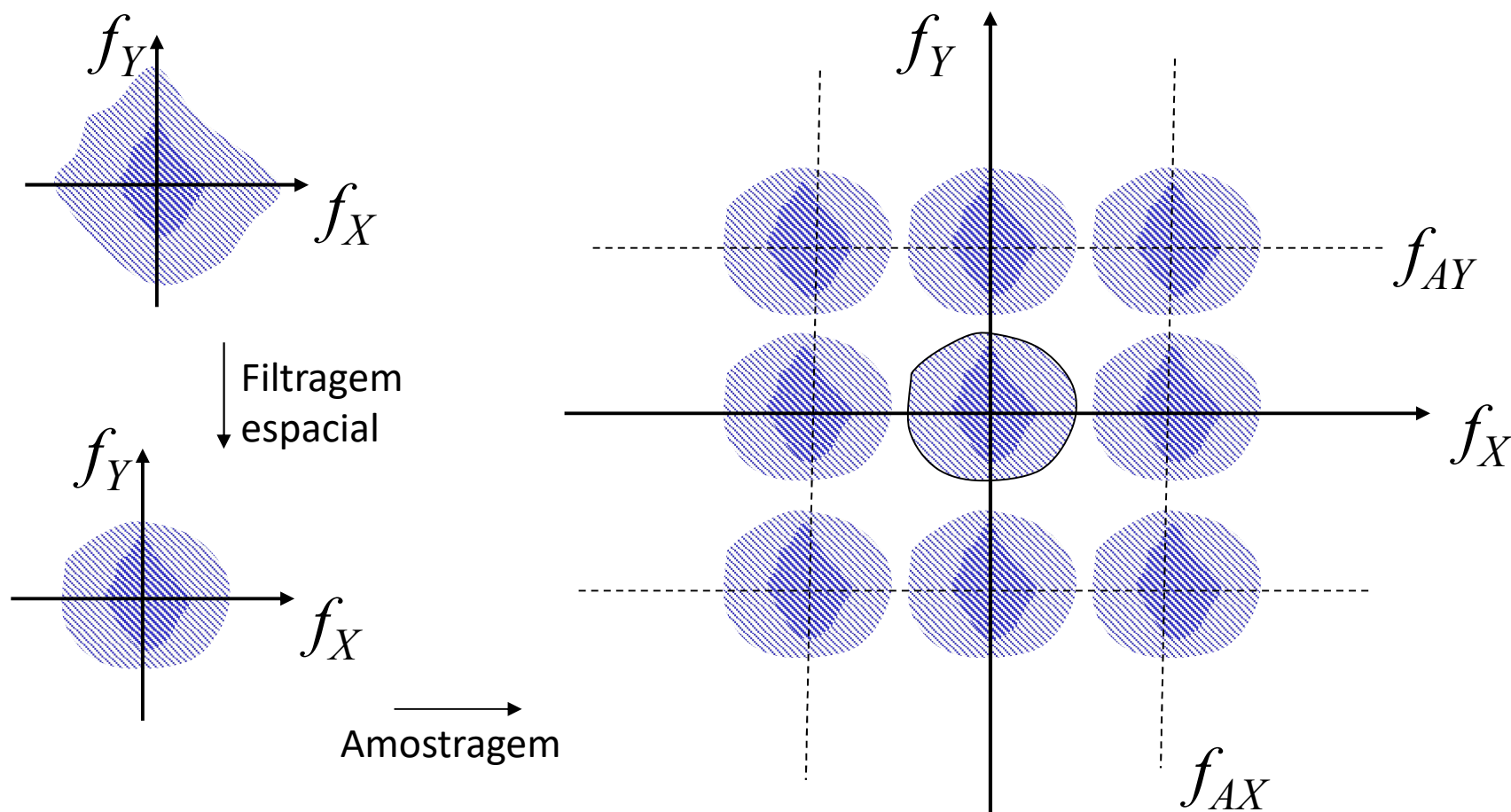


Imagem Filtrada por
abertura equivalente

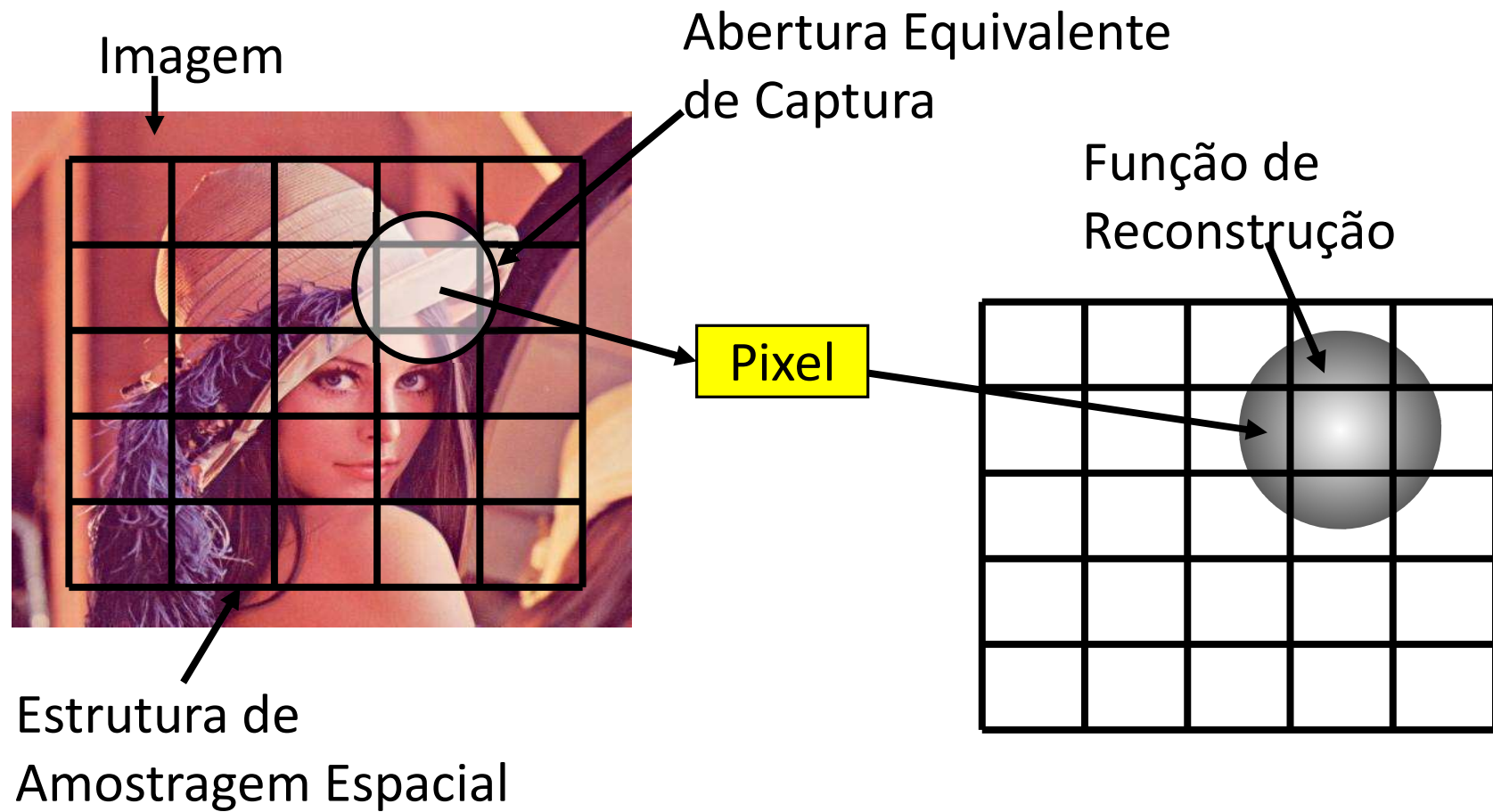


Imagem Amostrada
e reconstruída

Espectro 2-D da Imagem Filtrada



Amostragem e Reconstrução



- No domínio Espacial:
 - Convolução da imagem com a abertura equivalente de captura
 - Amostragem
 - Convolução da amostra com a função de Reconstrução
- No domínio da Frequência:
 - Filtragem pela MTF do processo de captura
 - Amostragem (translação e replicação espectral)
 - Filtragem pela MTF do processo de reconstrução

Imagem com Função de Reconstrução Quadrada

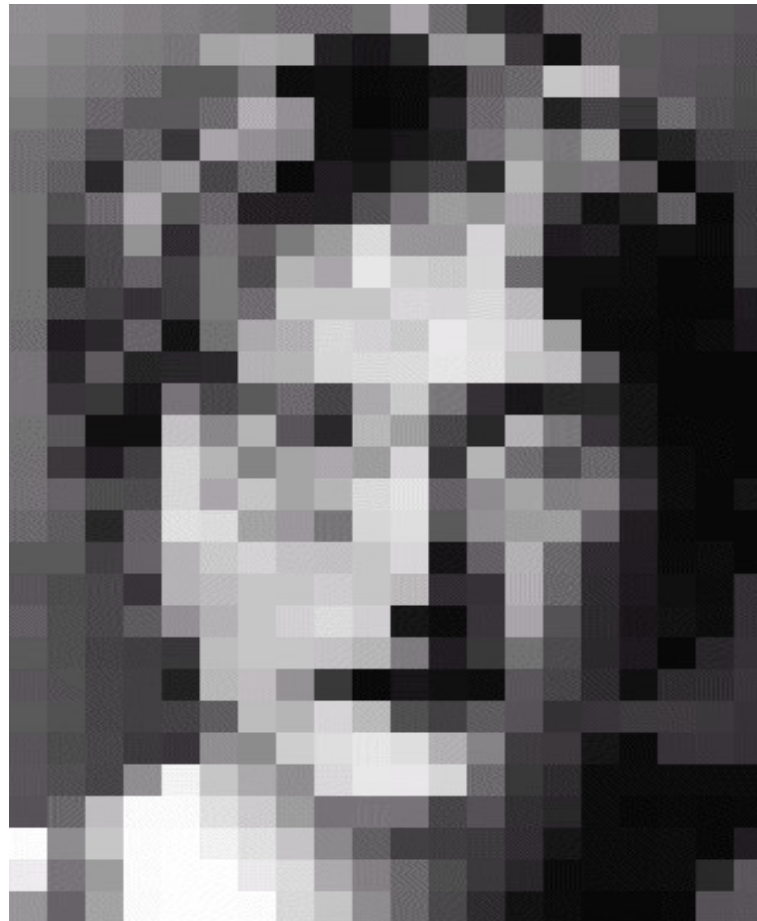


Imagem com Função de Reconstrução Gaussiana

LCS
EPUSP



John Lennon

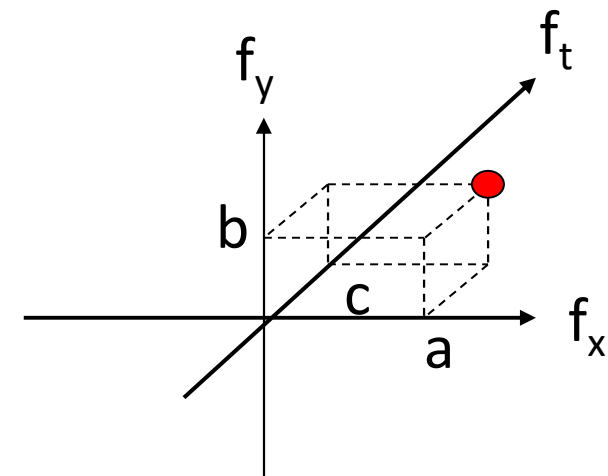
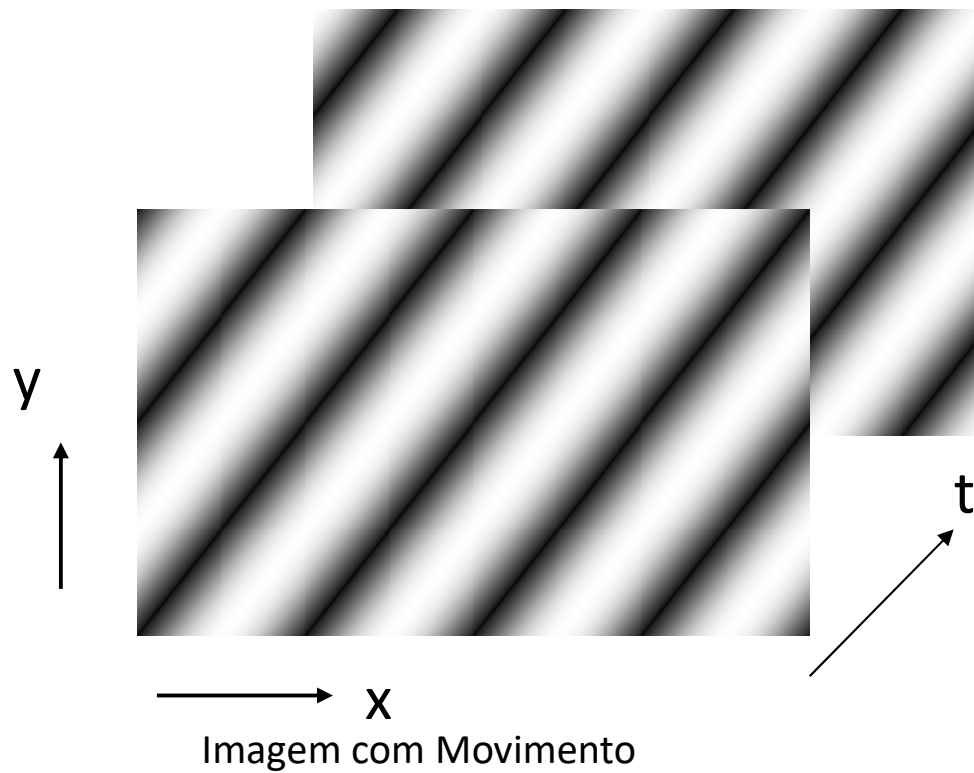
LCS
EPUSP



Amostragem Temporal

Espectro Tri-dimensional (Espaço / Tempo)

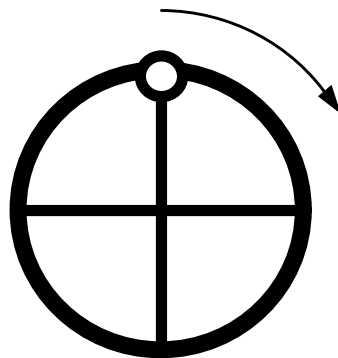
LCS
EPUSP



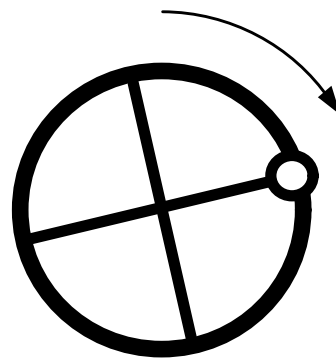
Espectro Tri-dimensional

“Aliasing” Temporal: Efeito “Roda de Carroça”

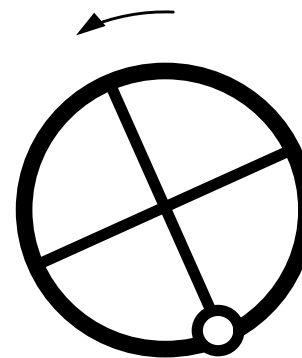
LCS
EPUSP



Uma Rotação de 85 graus
em sentido Horário...

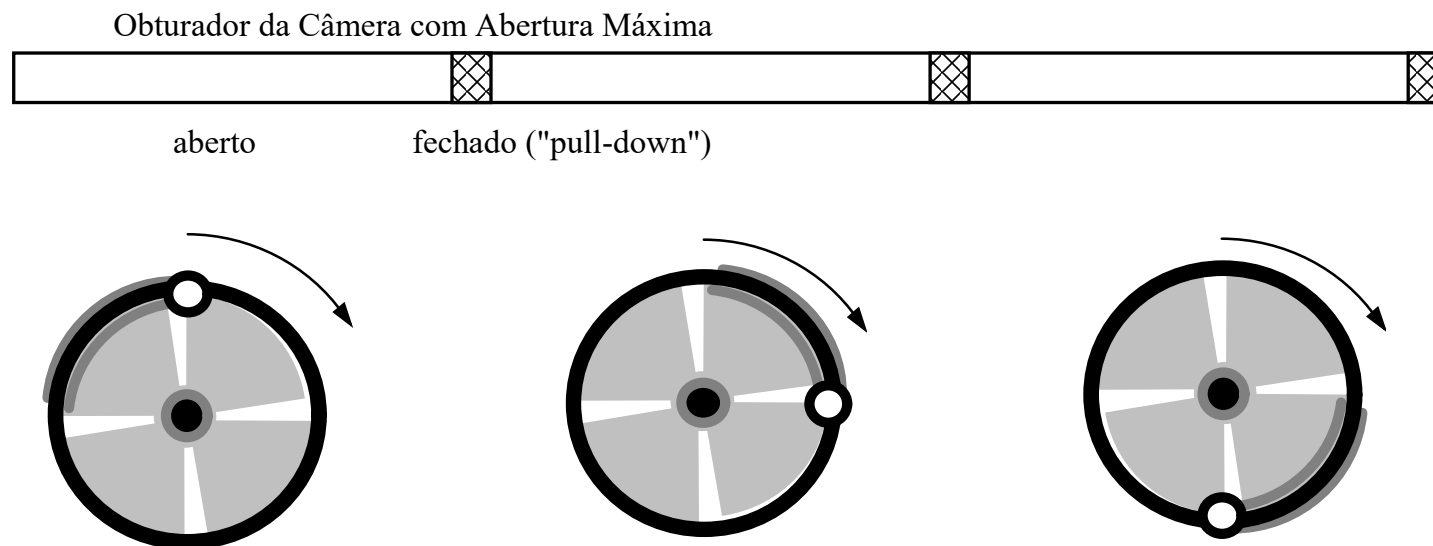


...confunde-se com uma
rotação de 5 graus...



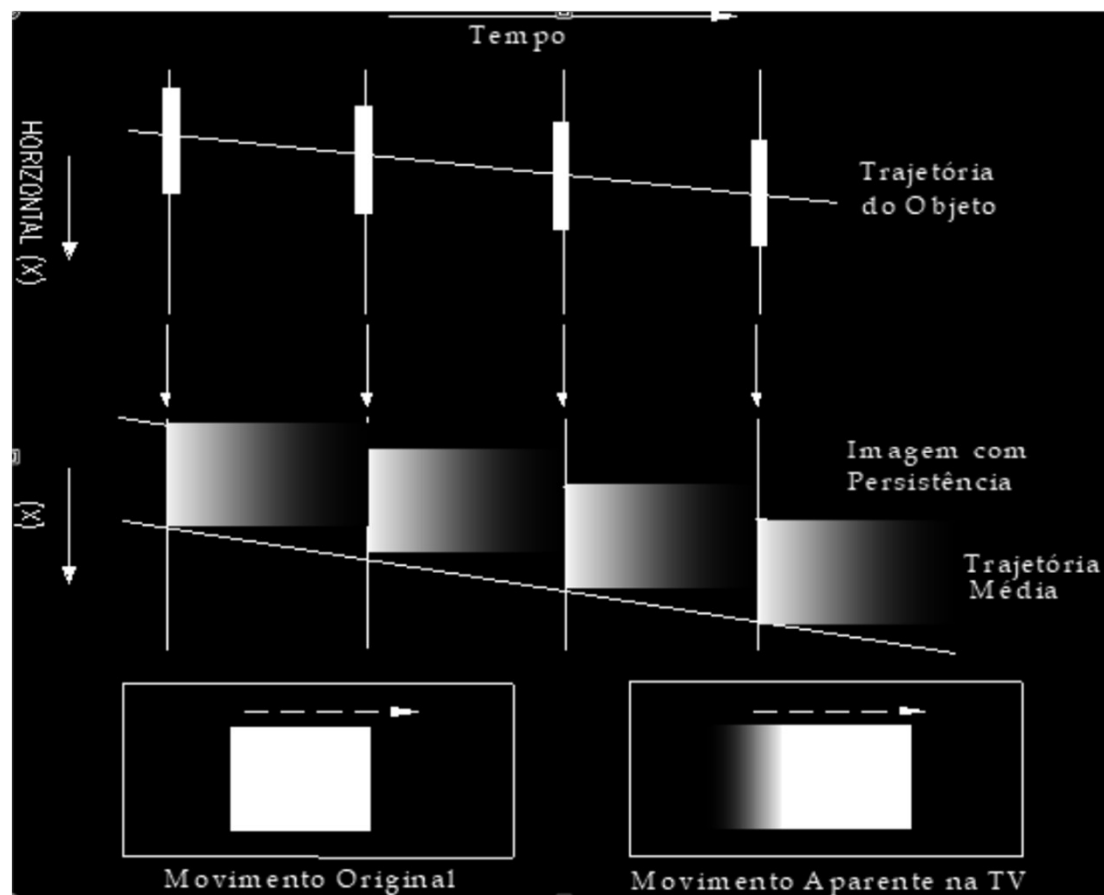
...em sentido
anti-horário.

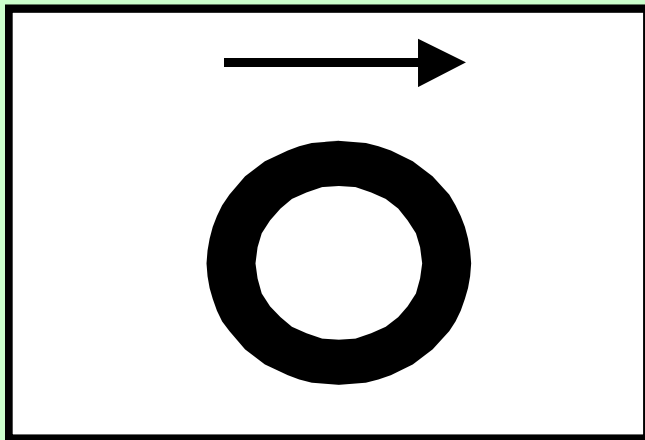
Redução do “Aliasing” Temporal pelo Tempo de Exposição



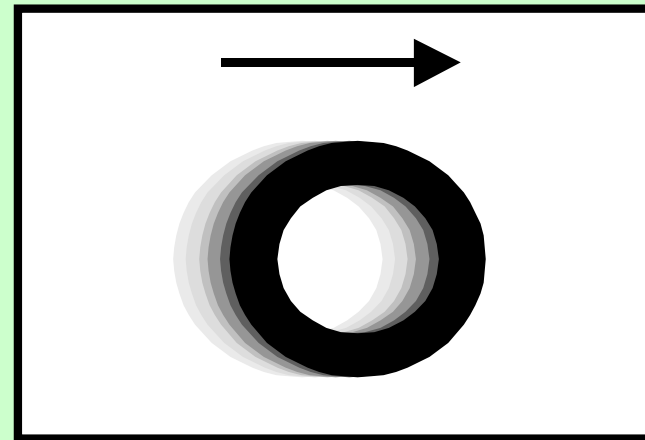
Persistência Luminosa da Imagem

LCS
EPUSP



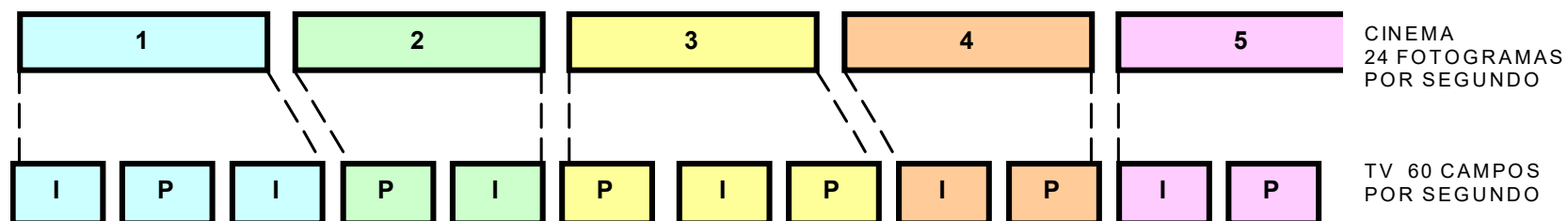


Movimento Original



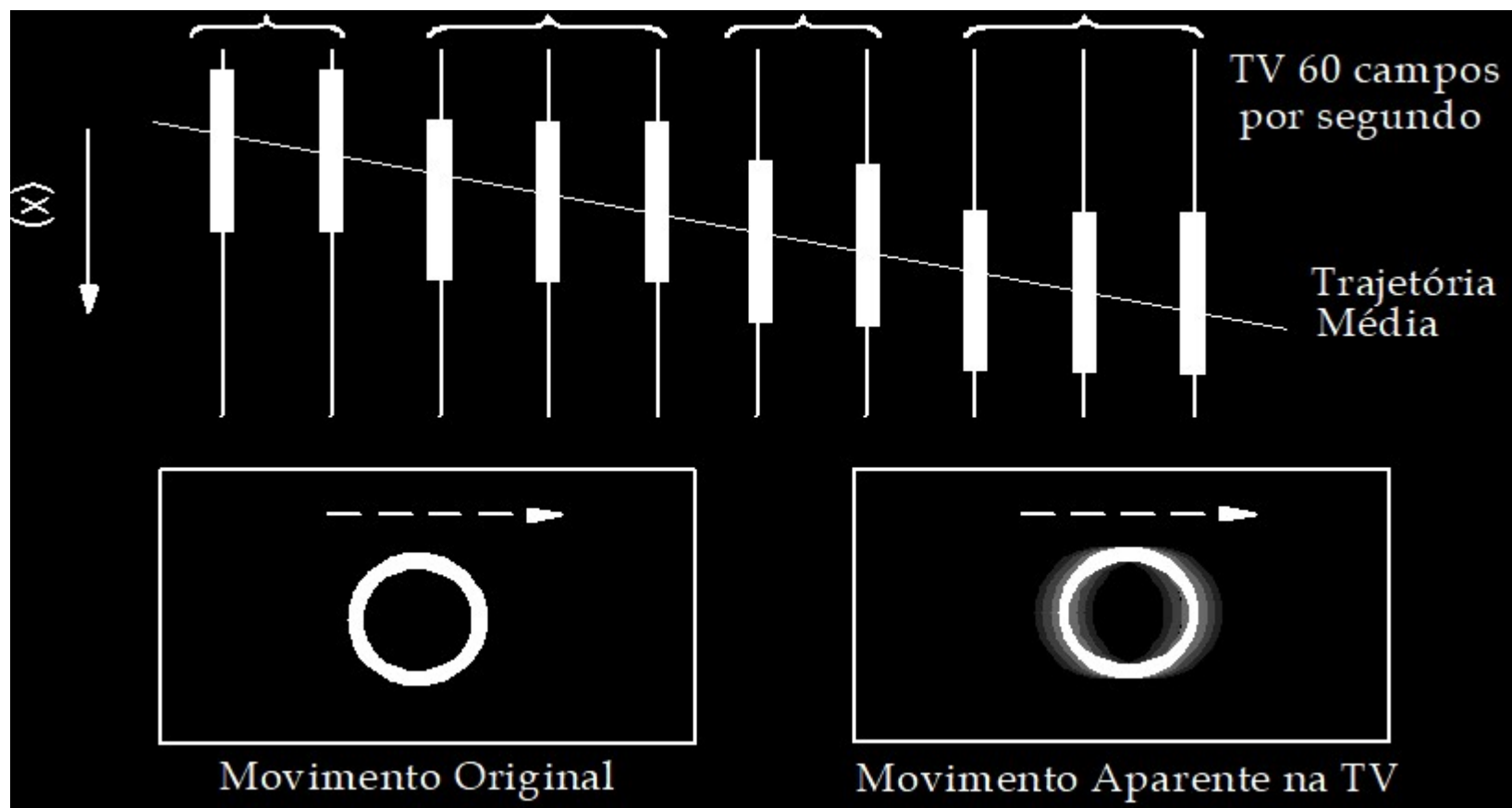
Movimento Aparente na TV

Telecinagem com Pull-down 3:2



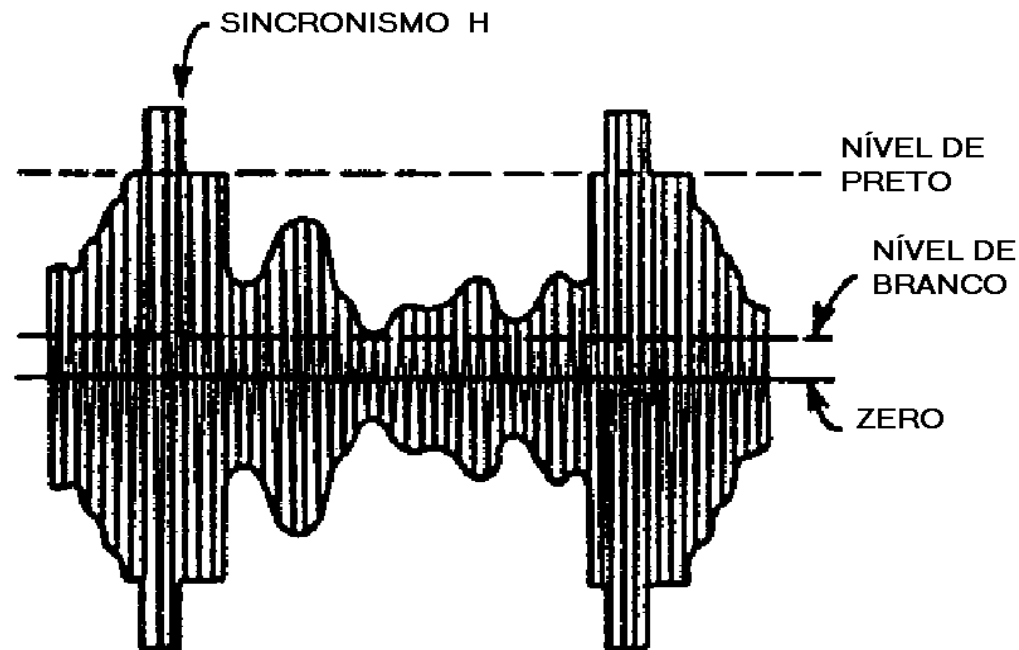
Efeito da Telecinagem 3:2

LCS
EPUSP



- Processos diferentes de limitação de banda nas dimensões T , x e y
- Características perceptuais diferentes para essas dimensões
- “Aliasing” pode ser aceitável em relação à perda de definição espacial ou temporal

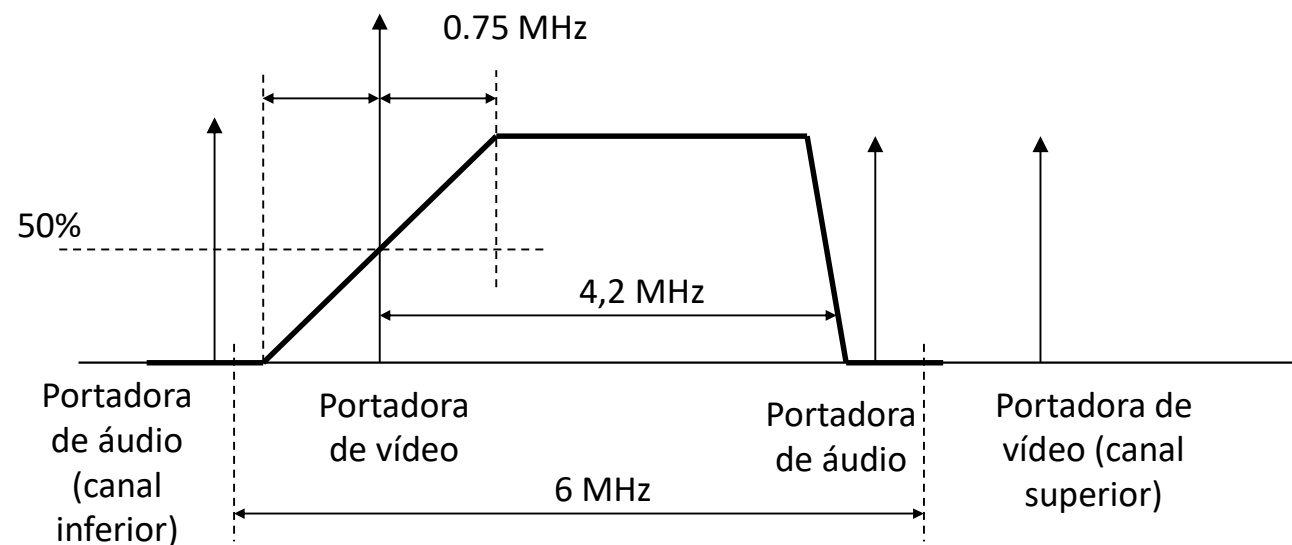
Radiodifusão de TV Monocromática (Padrão “M”) LCS EPUSP



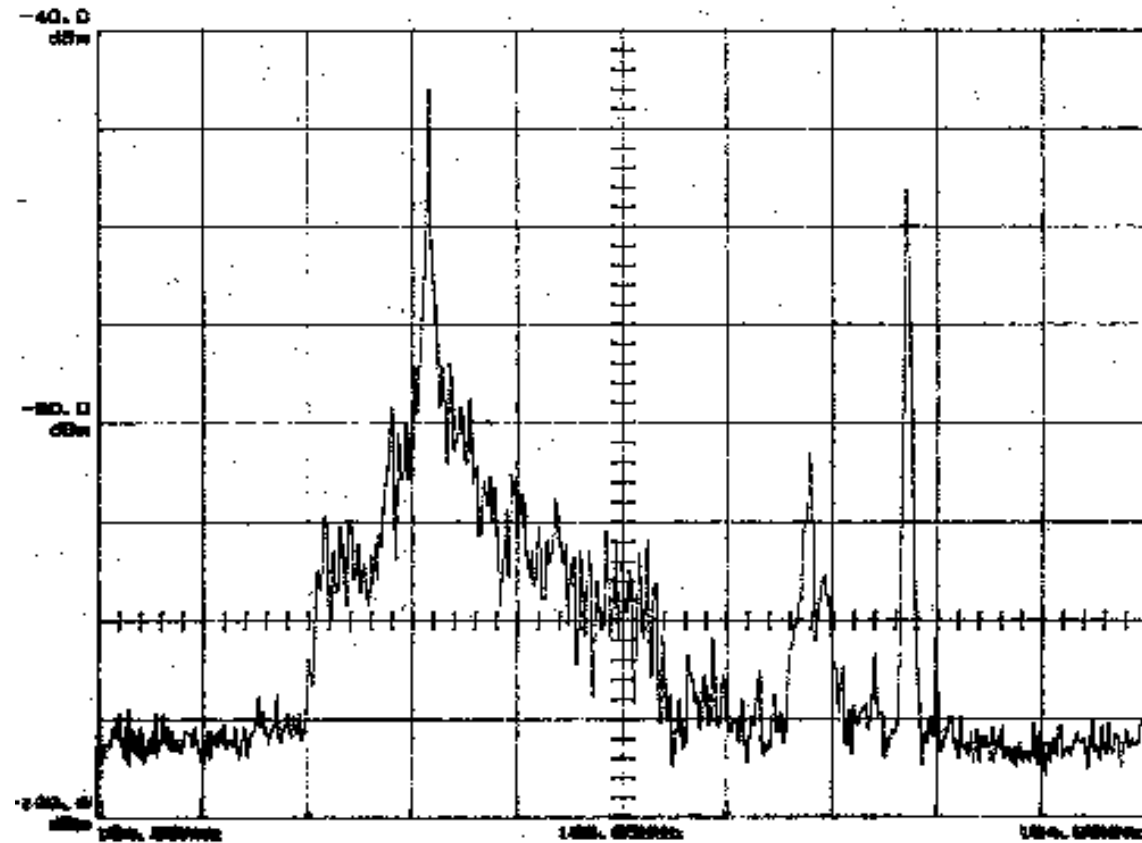
Modulação AM Vestigial Negativa

Resposta em Frequência Ideal do Receptor de TV

LCS
EPUSP



Espectro de um Sinal de TV Analógica



- Padrão: Banda passante, disposição das portadoras dentro do canal, frequências nominais dos canais
 - B, D, G, H, I, K, K1, L, M, N
- Sistema: Formato de varredura e codificação da Cor
 - NTSC, SECAM, PAL

Padrão	Banda do Canal (MHz)	Portadora de Vídeo	Portadora de Áudio	Banda do Vídeo	Banda Vestigial	Fator Gama
B	7,0	1,25	+5,5	5,0	-0,75	2,8
D, K	8,0	1,25	+6,5	6,0	-0,75	2,8
G	8,0	1,25	+5,5	5,0	-0,75	2,8
H	8,0	1,25	+5,5	5,0	-1,25	2,8
I	8,0	1,25	+5,5	5,5	-1,25	2,8
K1, L	8,0	1,25	+6,5	6,0	-1,25	2,8
M, N	6,0	1,25	+4,5	4,2	-0,75	2,2

M= 60 Hz; demais padrões = 50 Hz

Padrões e Sistemas Analógicos no Mundo

País	Padrão	Sistema	Fv (Hz)
Brasil, Vietnã	M	PAL	60
Argentina, Paraguai, Uruguai	N	PAL	50
Chile, Peru, Venezuela, Equador, Colômbia	M	NTSC	60
EUA, Canadá, México, Coreia do Sul	M	NTSC	60
China, Coreia do Norte, Congo	D	PAL	50
Rússia, Ucrânia, Bulgária	D	SECAM	50
França	L	SECAM	50
Itália, Áustria, Alemanha, Dinamarca, Líbano, Israel, Hungria, Bósnia, Kuwait, Portugal	B/G	PAL	50
Grécia	B/G	SECAM	50
Inglaterra, Hong Kong, Angola, África do Sul, Irlanda	I	PAL	50
Gabão, Guiana, Taiti, Nigéria, Ruanda	K	SECAM	50

Alguns Formatos de Varredura para Monitores de Vídeo

Padrão	Resolução V x H	Freq. Vert. (Hz)	Freq. Hor. (kHz)	Varredura	Bw (MHz)
CGA	320 200	60	15.75	progress.	3.2
VGA	640 480	60	31.5	progr.	13
VESA	640 480	72	37.8	progr.	16
SVGA	800 600	75	46.8	progr.	25
XGA	1024 768	87	35.5	entrelac.	23
SVGA	1280 1024	71	76.0	progr.	63
SVGA	1280 1024	86	45.8	entrelac.	40
Mac II	1152 870	75	68.7	progr.	50
UXGA	1600 1200	75	93,6	progr.	100

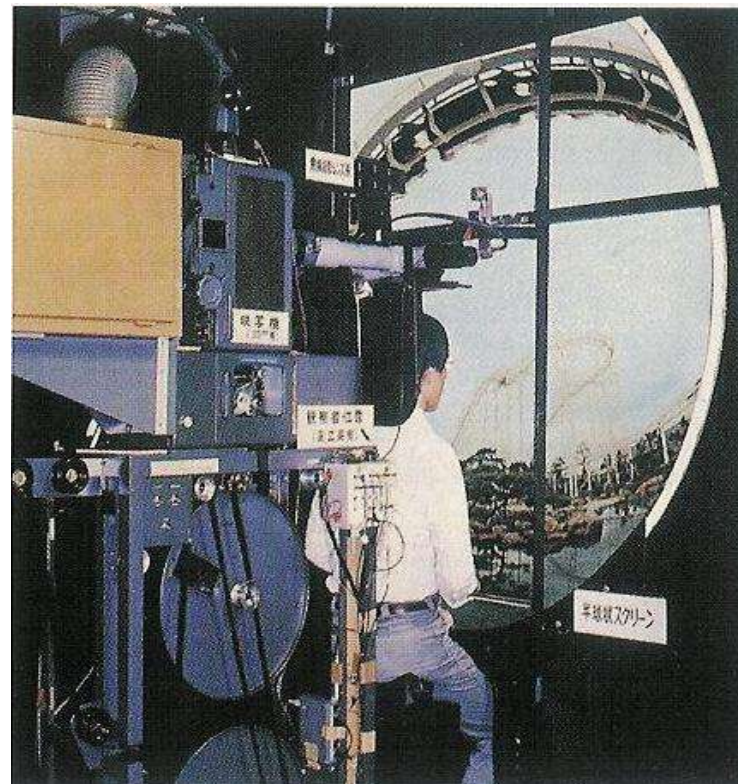
TV de Alta Definição: “Hi-Vision”

LCS
EPUSP



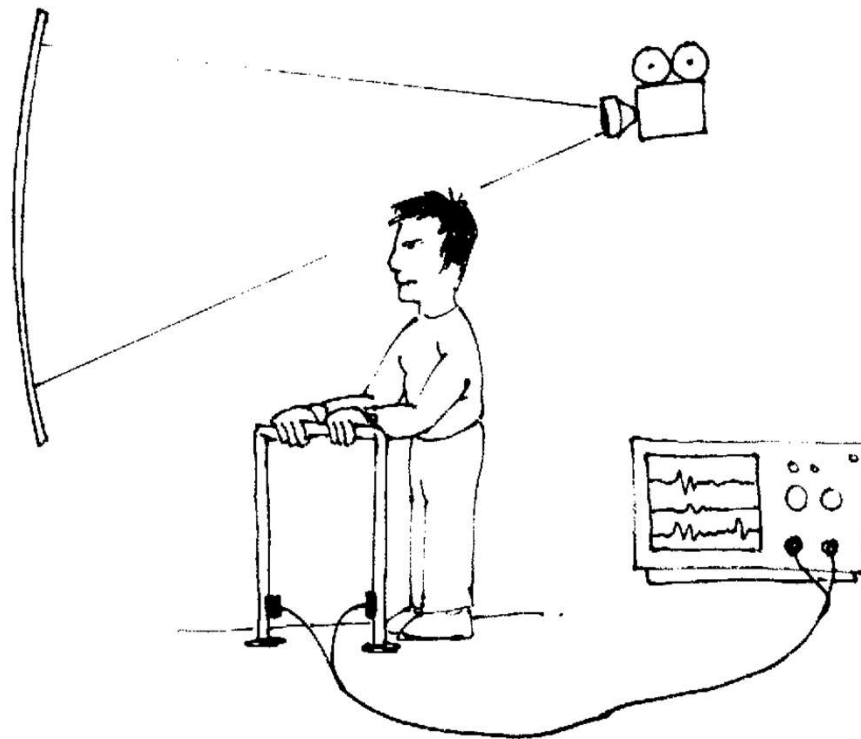
Dimensionamento do Ângulo de Visualização para a “Hi-Vision”

LCS
EPUSP

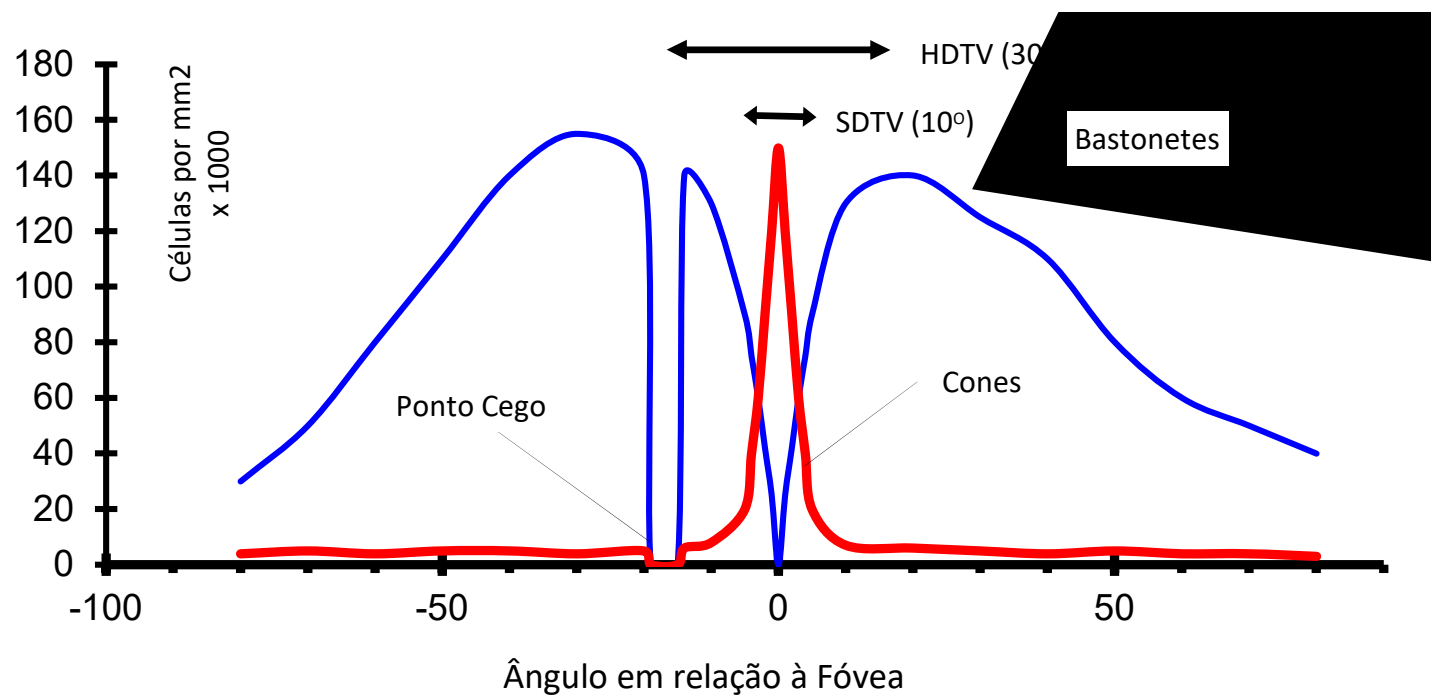


Dimensionamento do Ângulo de Visualização para a “Hi-Vision”

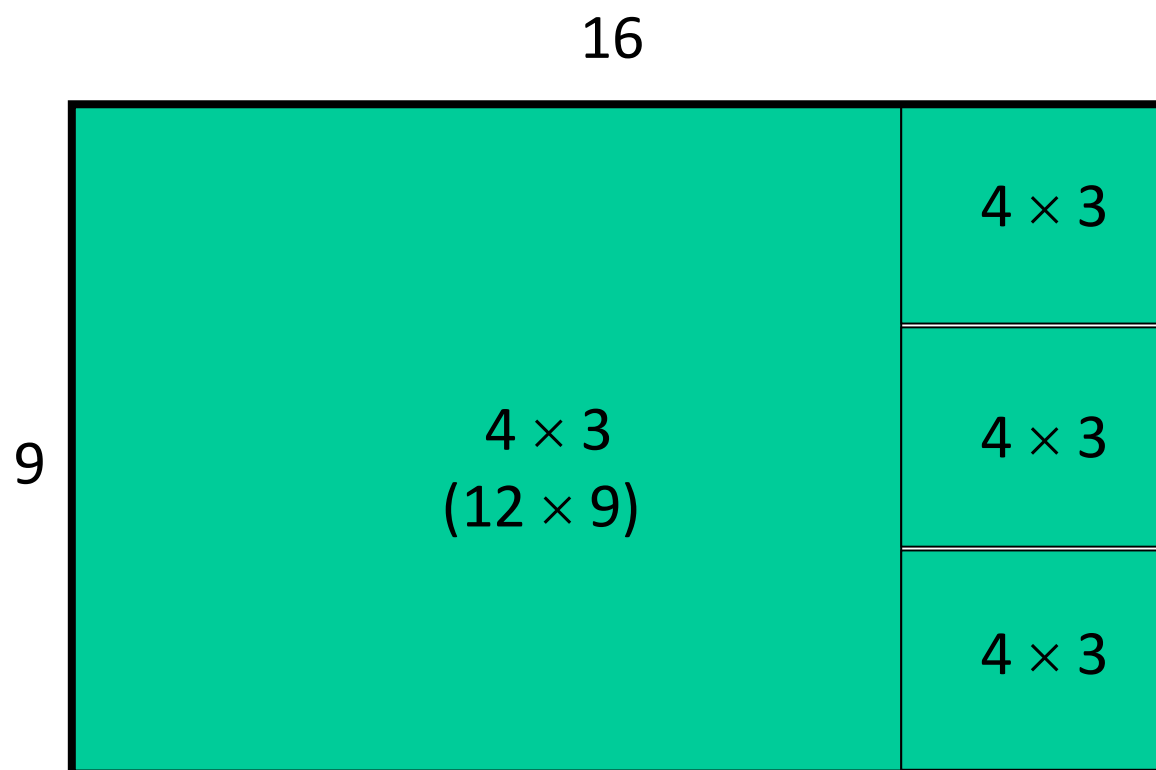
LCS
EPUSP



Ocupação do Campo Visual

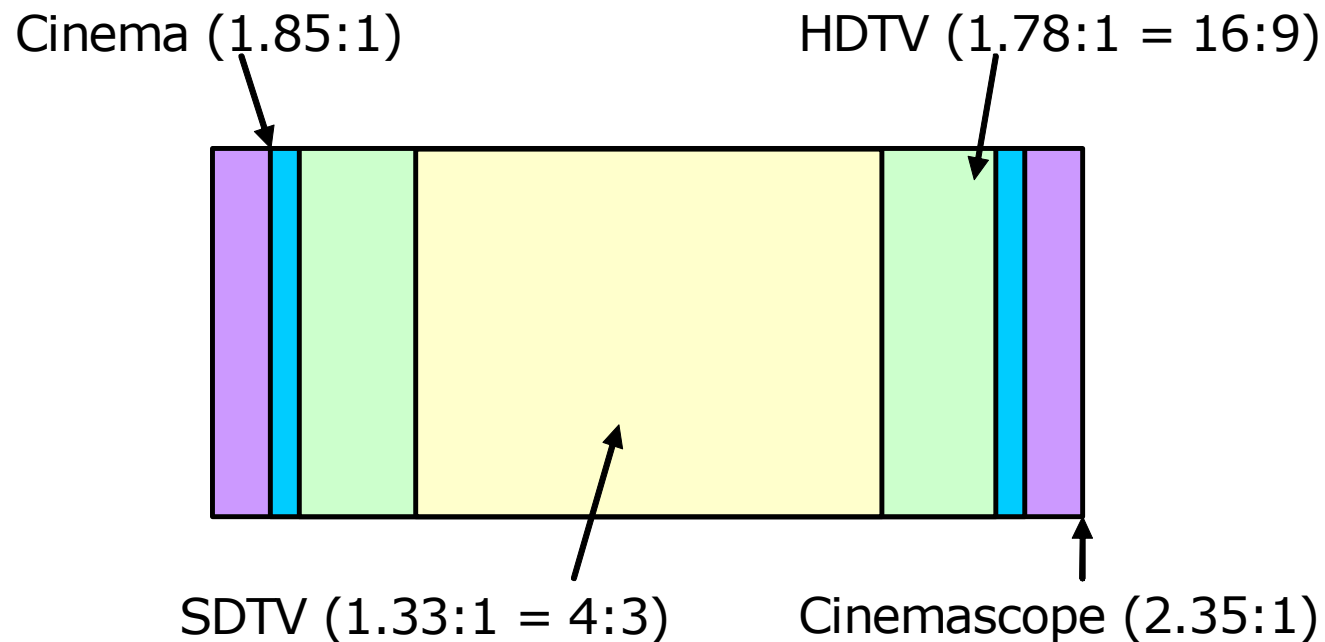


- Compatibilidade com imagens 4:3 (SDTV)



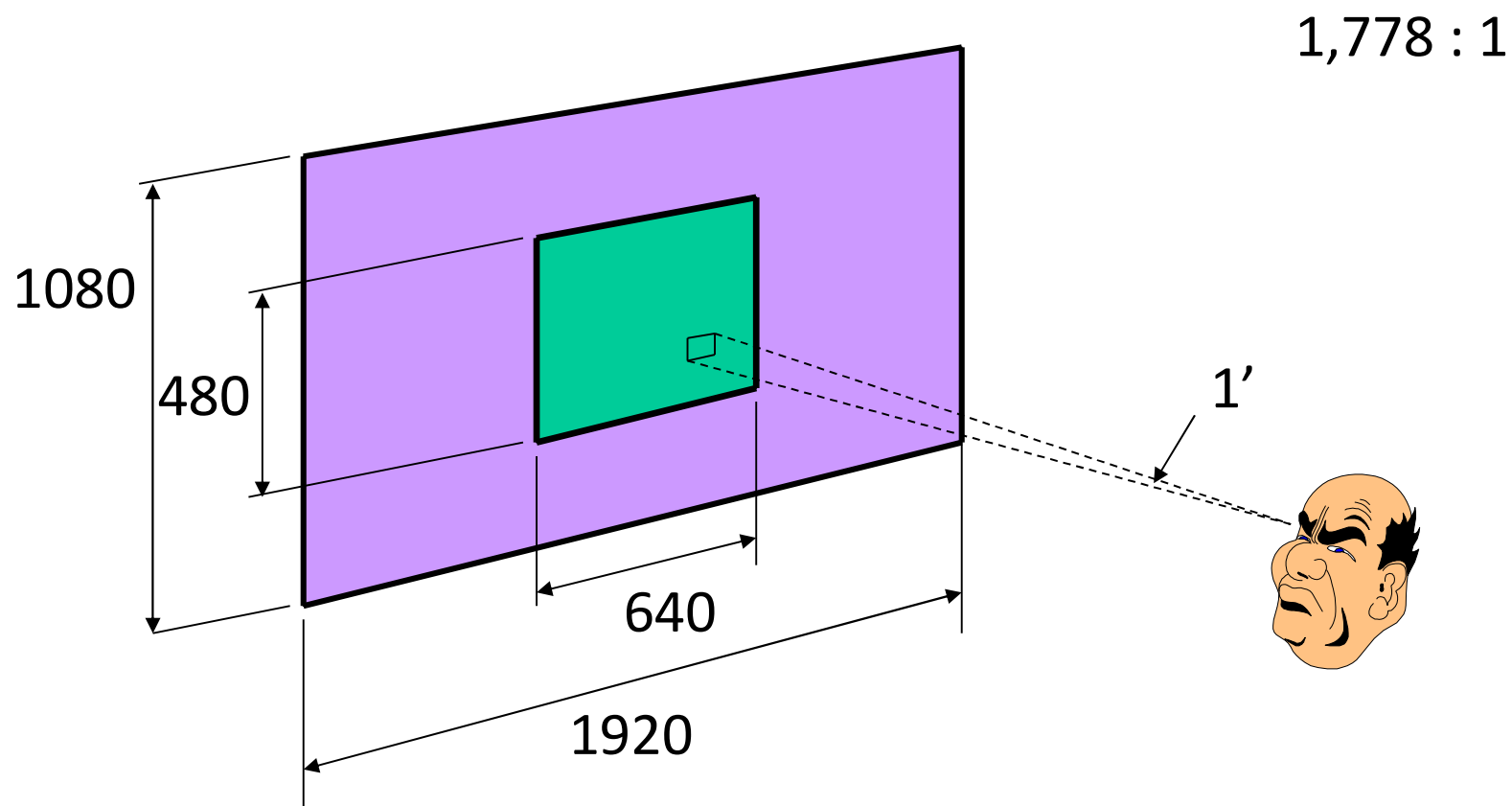
Relação de Aspecto da TV de Alta Definição

- Compatibilidade com formatos de Cinema



TV de “Mesma Definição”

LCS
EPUSP



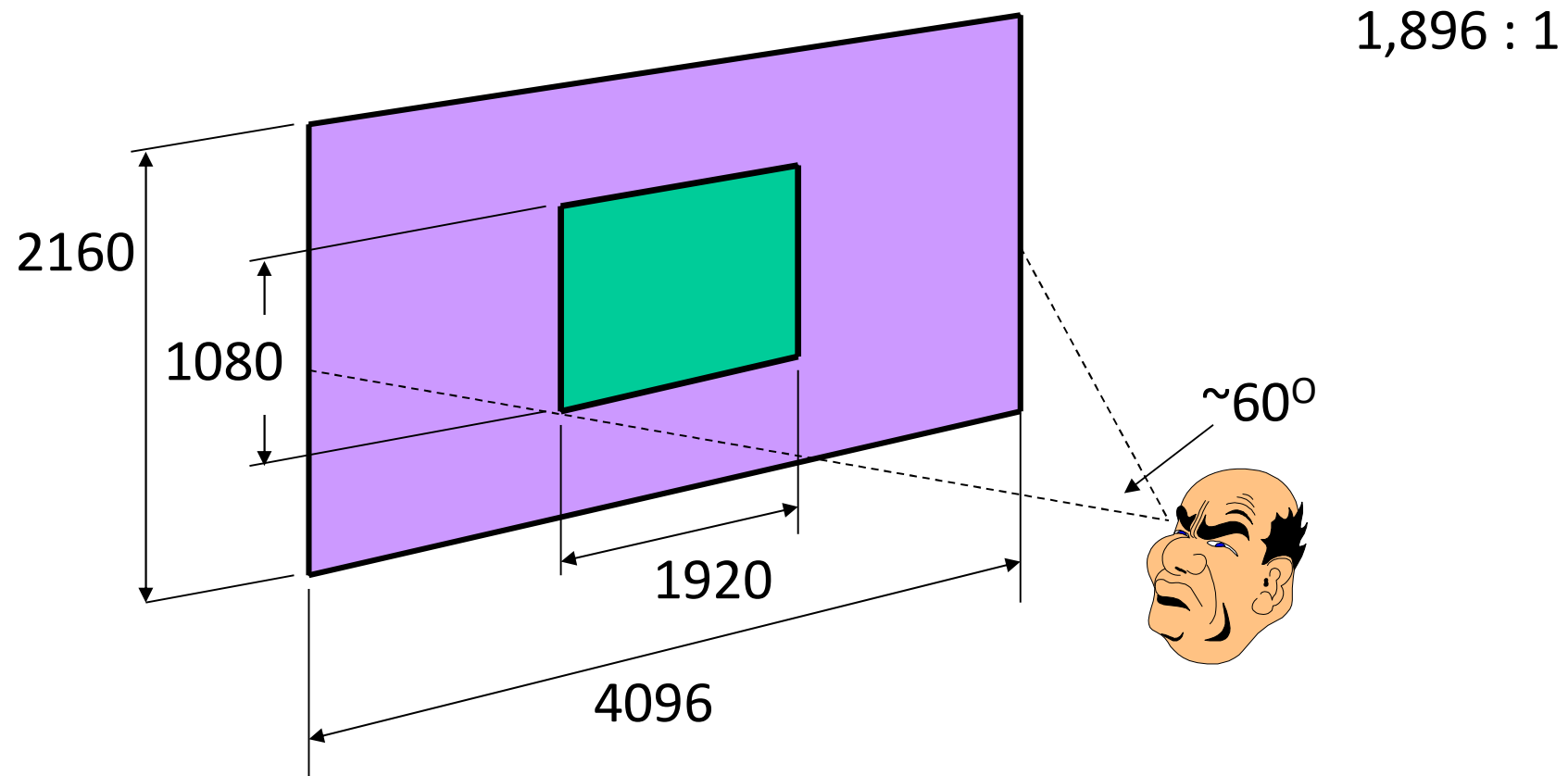


ハイビジョンが映す日本のこころ
さくら ~2003年・春~
放送: BS11/BS2 4月29日(祝・火)

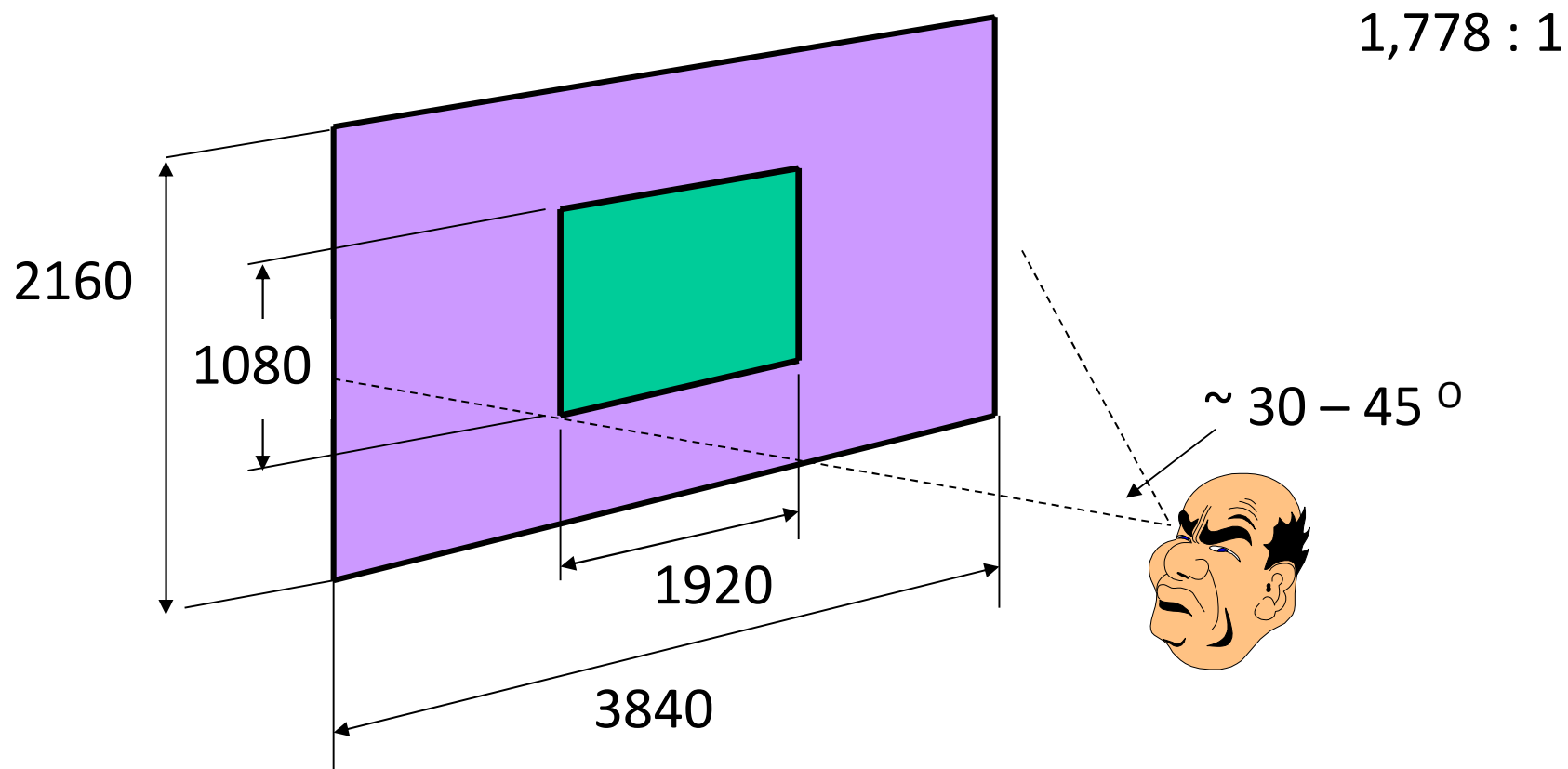
わたしとさくら さくらマップ 出演者情報

最新情報
4月29日は桜デー。桜の魅力を美しい映像でたっぷり楽しんでいただきます。各県の名木はもちろん、音楽あり夜桜ありの豪華番組です。番組では「あなたとさくらの物語」を募集しています。毎年見に行く大好きな桜、出会いや別れを見守ってくれた思い出の桜など、たくさんの桜ストーリーをお待ちしています。いただいたお便りの中から番組で紹介させていただきます。

- Resolução da Imagem (H x V):
 - 1920 x 1080 , 1280 x 720
- Taxa de Imagens por segundo:
 - 60, 59.94, 50, 30, 29.97, 25, 24, 23.98
 - Varredura Progressiva (p) e Entrelaçada (i)
- Frequência de Amostragem (pixel), MHz:
 - 148.5, 148.352, 74.250, 74.176
- Formatos Preferenciais (74.176 MHz):
 - 1080i (29.97)
 - 720p (59.94)



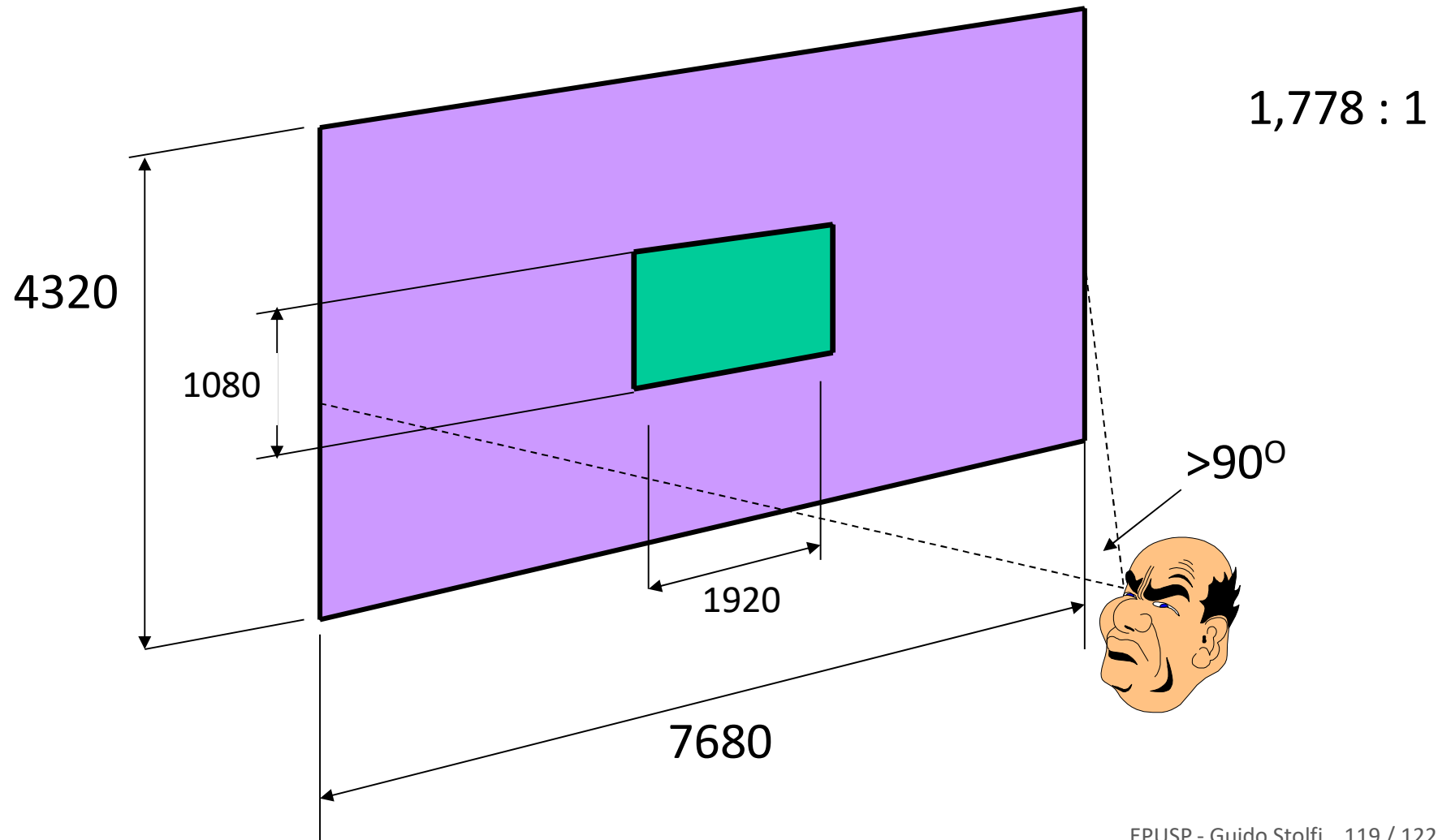
“4k” (falso UHDV)



No Futuro ?

UHDV (8k) – Ultra High Definition Video (2005)

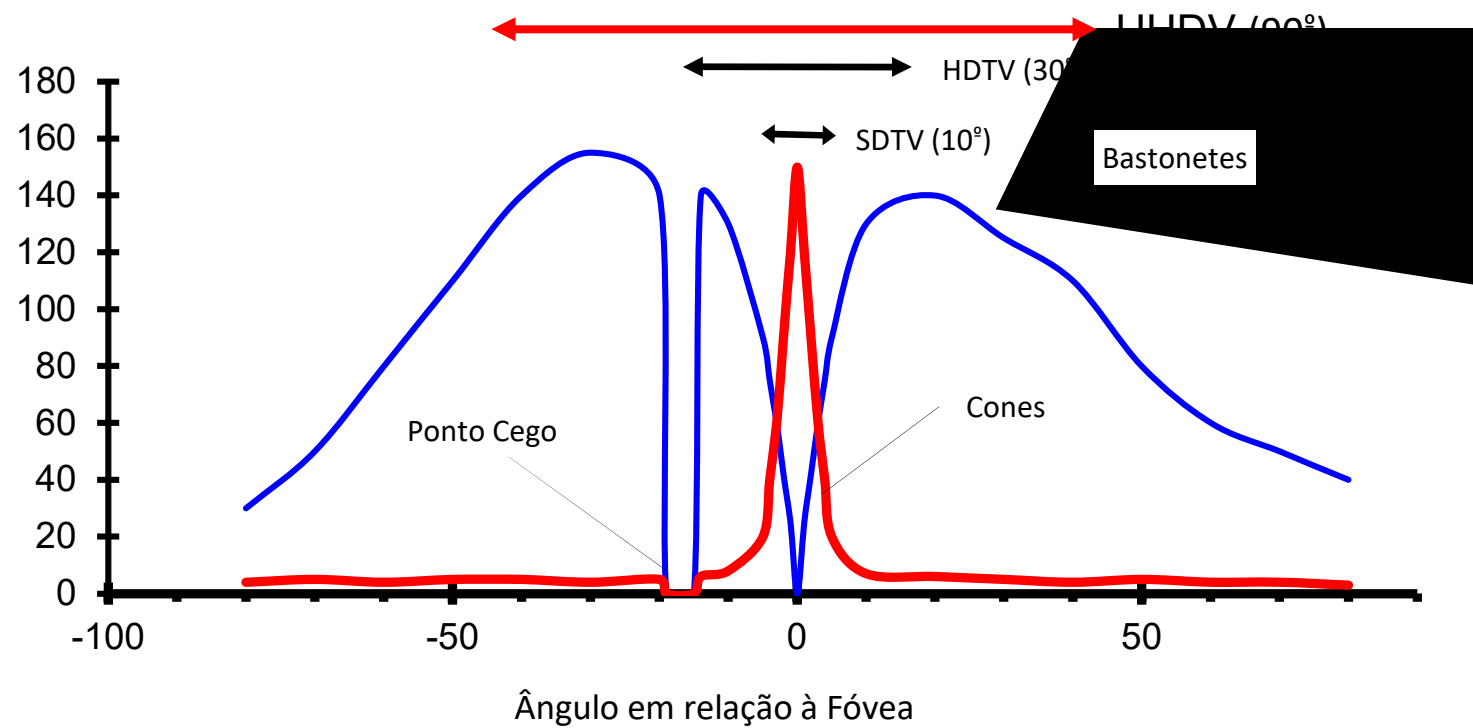
LCS
EPUSP



Objetivos:

- Representar uma pessoa em tamanho natural na tela
- Reproduzir movimento com maior fidelidade
- Superar a experiência visual do Cinema

UHDV (8k) – Ultra High Definition Video



UHDV (8k) - NHK

LCS
EPUSP



UHDV (8k) - NHK

LCS
EPUSP

