

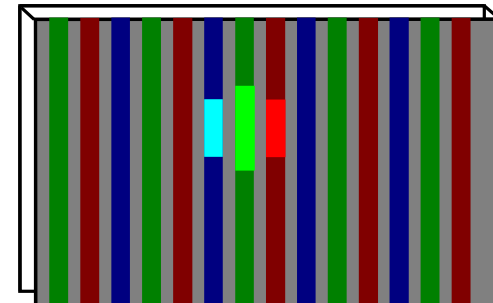
# Dispositivos de Visualização de Imagem

PTC3547 – Codificação e Transmissão Multimídia

EPUSP

Guido Stolfi

2025



# Classificação Geral

- Transmissivos, Refletivos e Emissivos
- Visão Direta, Virtual e Projeção
- Modulação por Intensidade Variável ou Tempo

# Tecnologias

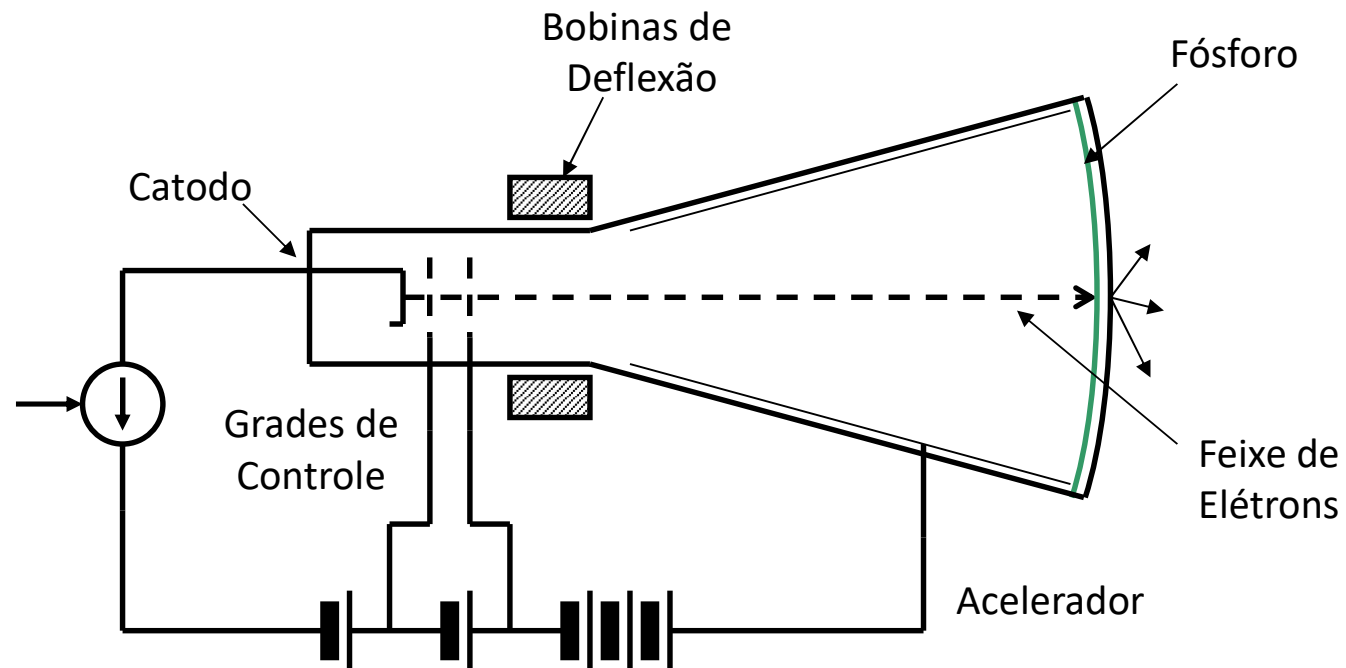
- Tubo de Raios Catódicos (TRC)
  - Emissivo, Visão Direta ou Projeção, Modulação por Intensidade
- Plasma, SED
  - Emissivo, Visão Direta, Modulação por tempo
- LED, LED Orgânico
  - Emissivo, Visão Direta, Tempo
- Cristal Líquido
  - Transmissivo, Visão Direta ou Projeção, Intensidade
  - Refletivo, Visão Direta ou Projeção, Intensidade
- Micro-Espelhos
  - Refletivo, Projeção, Tempo

# Tecnologias

- Eletroforético (e-ink)
  - Refletivo, Visão Direta, Intensidade
- LED Monolítico
  - Emissivo, Virtual, Tempo
- Laser
  - Emissivo, Projeção, Intensidade

# Tubo de Raios Catódicos

# O Tubo de Raios Catódicos

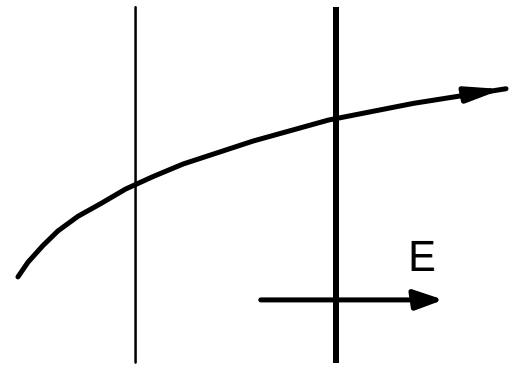


# Velocidade do Elétron em um Campo Elétrico

*LCS*  
EPUSP

$$\Delta v = \left( \frac{2e}{m} E \Delta x \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta v = 5.93 \times 10^5 \Delta V^{\frac{1}{2}}$$



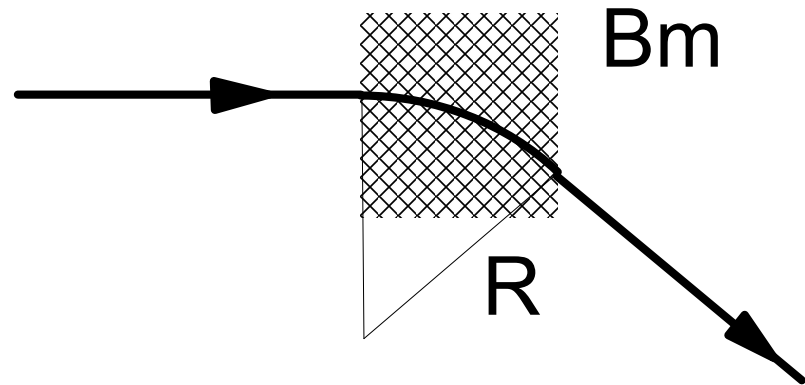
$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 9.1 \cdot 10^{-28} \text{ g}$$

# Movimento do Elétron em Campo Magnético

*LCS*  
EPUSP

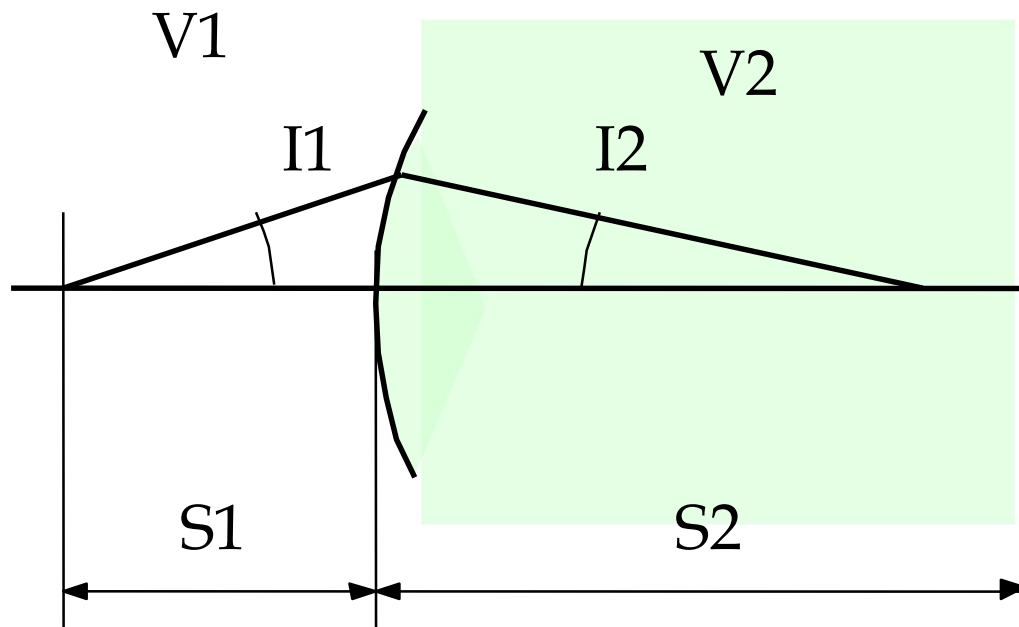
$$R = \frac{3.38 \times 10^{-6} V^{\frac{1}{2}}}{B_m}$$



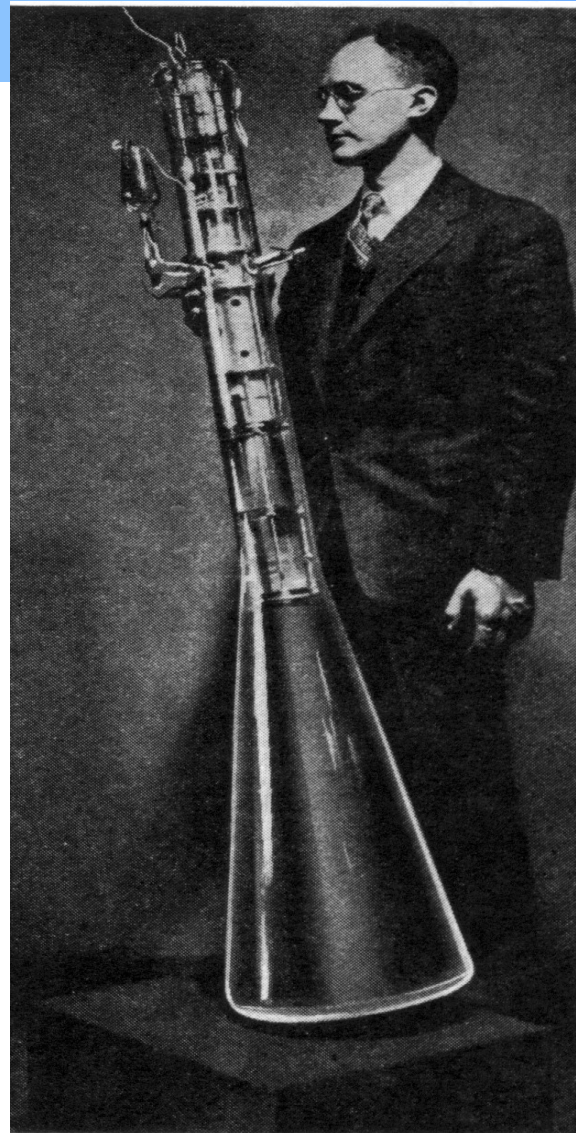


$$V_1 \sin I_1 = V_2 \sin I_2$$

$$m = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{S_2}{S_1} \quad (\text{magnificação})$$

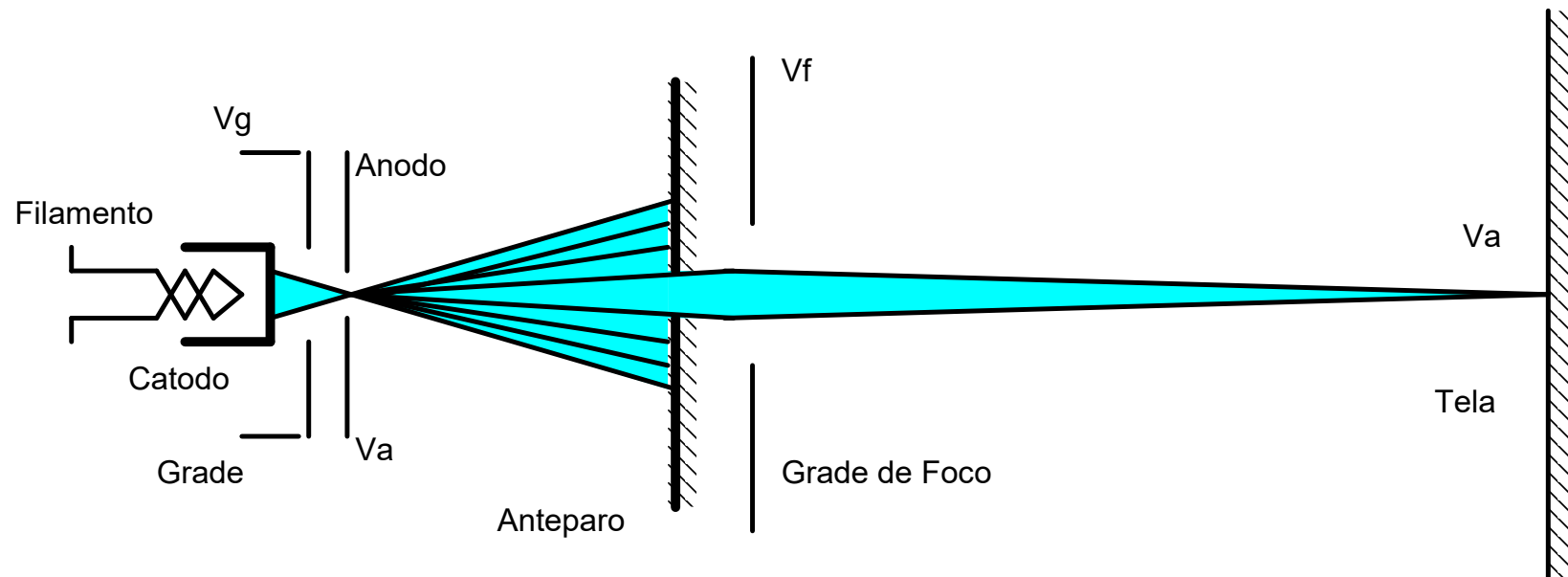


Tubo de raios  
Catódicos  
(C. J. Davisson,  
1937)



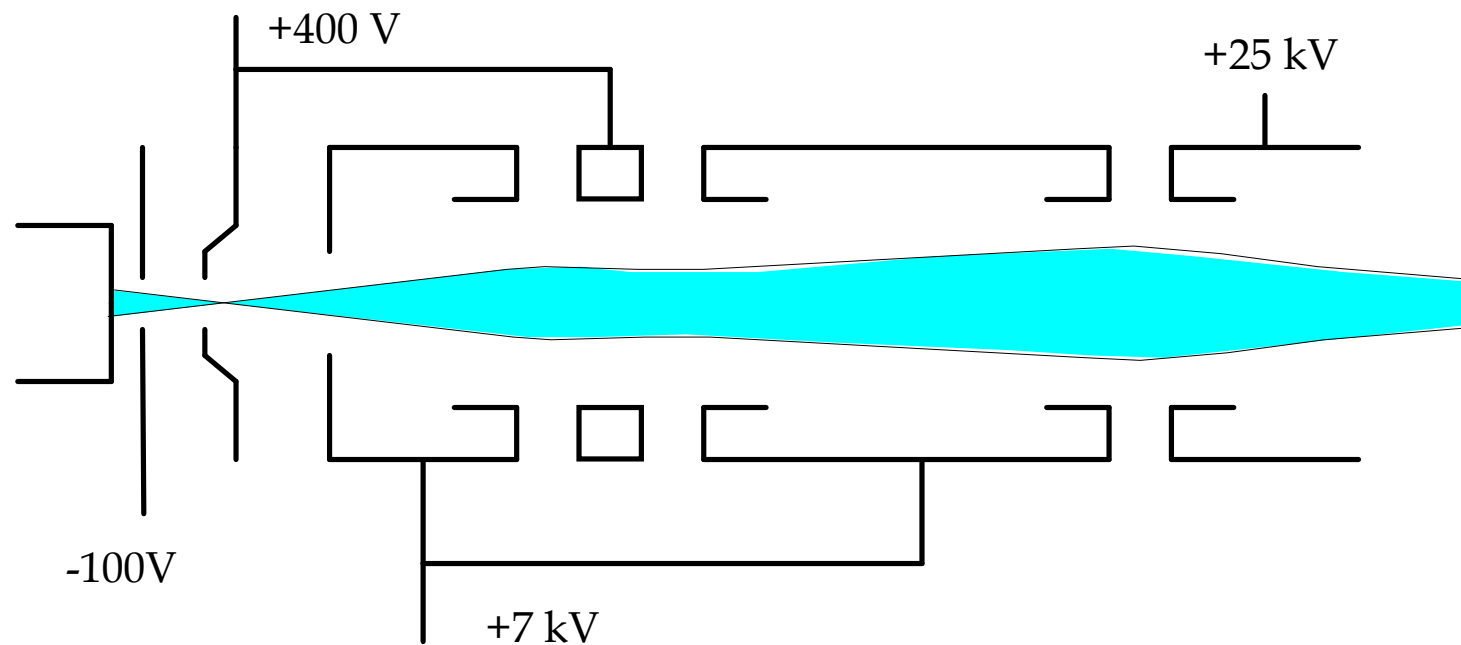
# Canhão Eletrônico Unipotencial

*LCS*  
EPUSP



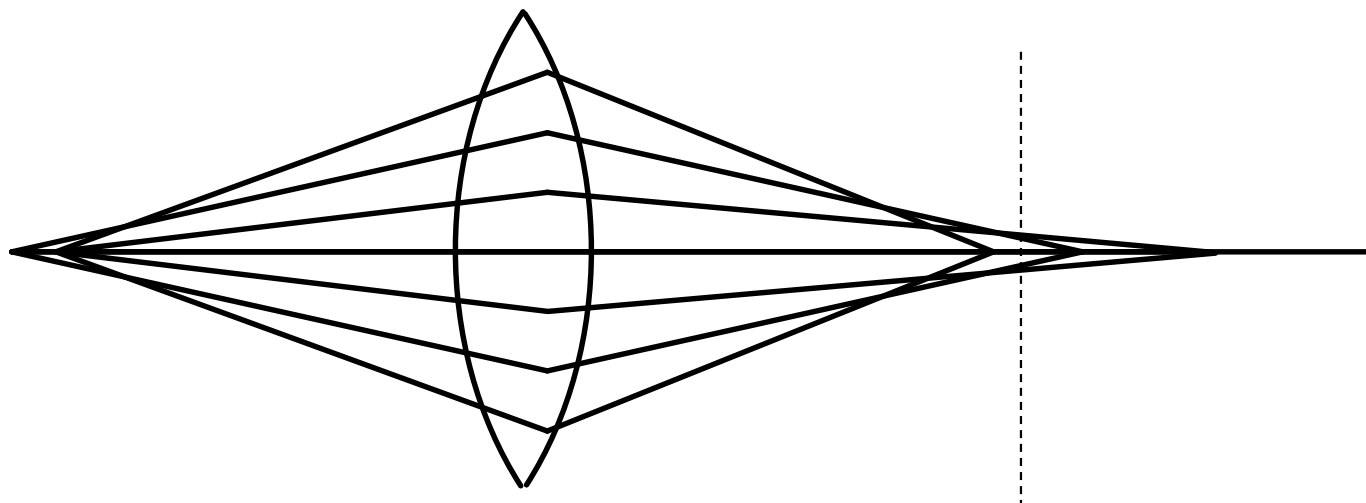
# Canhão Eletrônico Tripotencial

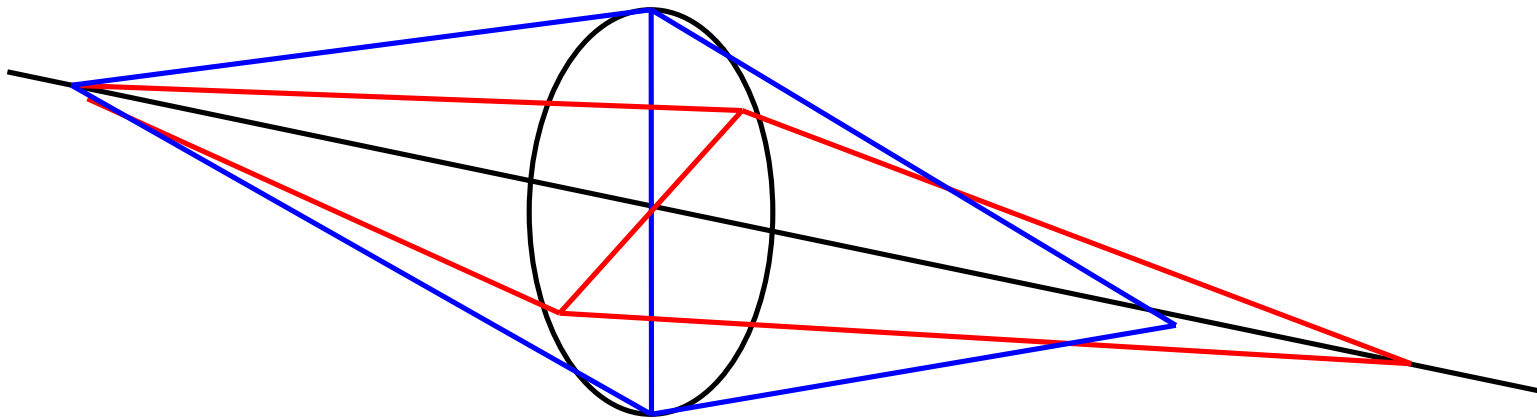
*LCS*  
EPUSP



# Aberração de Esfericidade

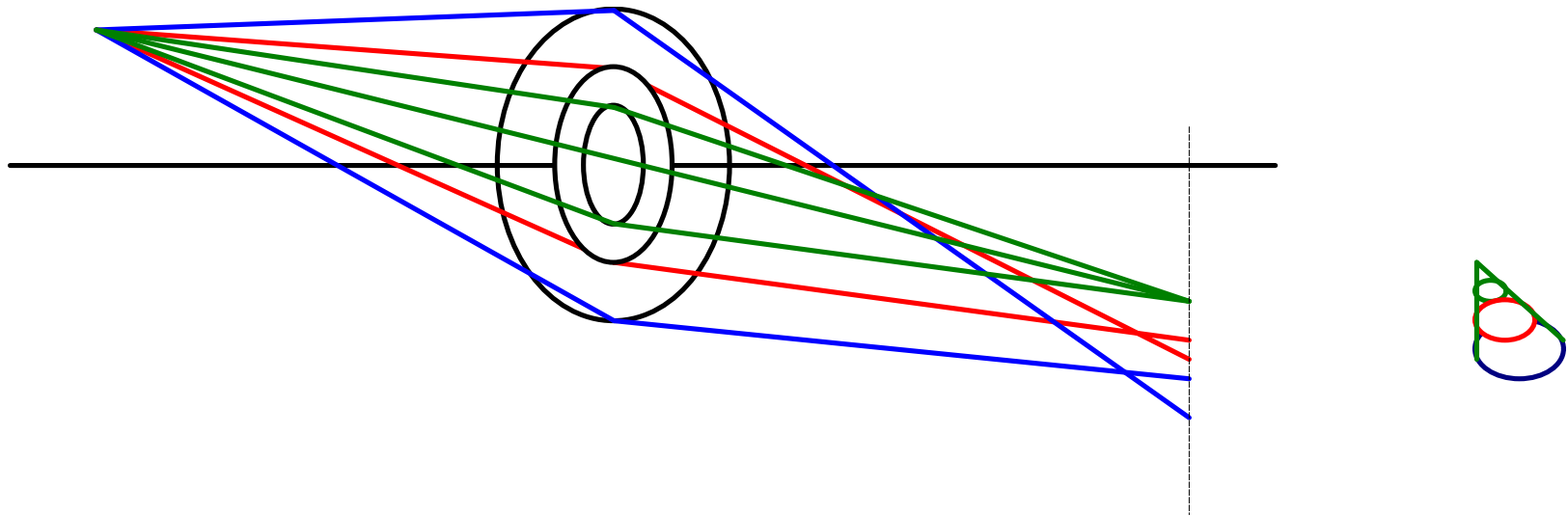
*LCS*  
EPUSP





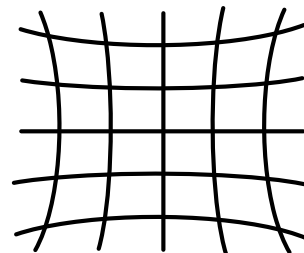
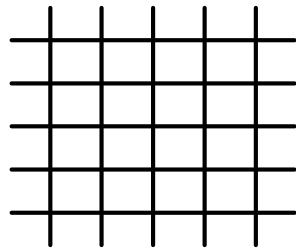
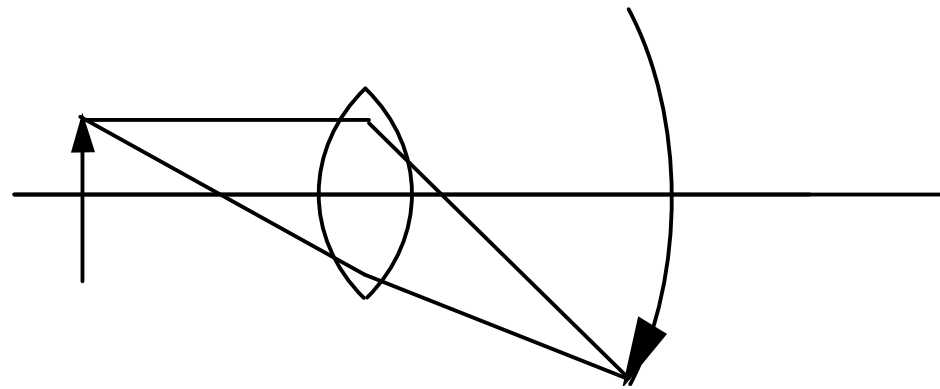
# Distorção de Coma

*LCS*  
EPUSP

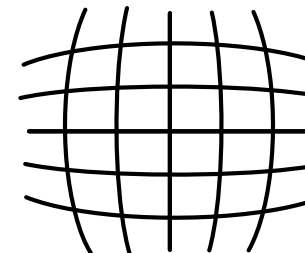


# Curvatura de Campo

*LCS*  
EPUSP



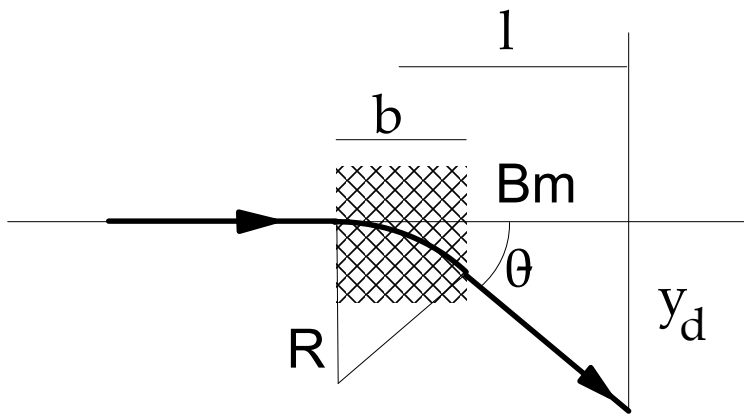
Almofada



Barrilete



# Deflexão Magnética



$$y_b = \frac{b \times l \times B_m}{3.38 \times 10^{-6} V^{\frac{1}{2}}}$$

$$\sin \Theta = \left( \frac{k_m L}{2V} \right)^{\frac{1}{2}} \times I$$

$$\sin \Theta = 2.97 \times 10^5 \frac{l B_m}{V^{\frac{1}{2}}}$$

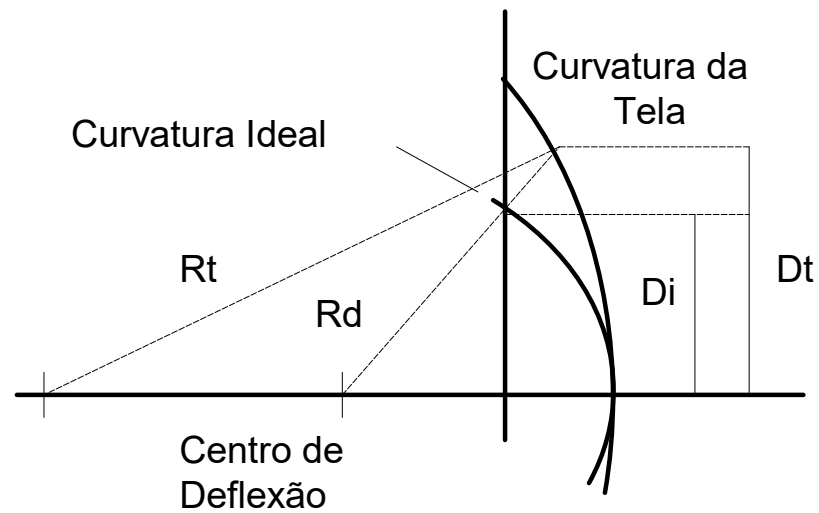
$$y_d = l \times \tan \Theta = 2.97 \times 10^5 \frac{l^2 B_m}{V^{\frac{1}{2}}}$$

$L$  = Indutância do Yoke

$I$  = Corrente no Yoke

$k_m$  = Fator de Sensibilidade

# Distorção de Curvatura na Deflexão



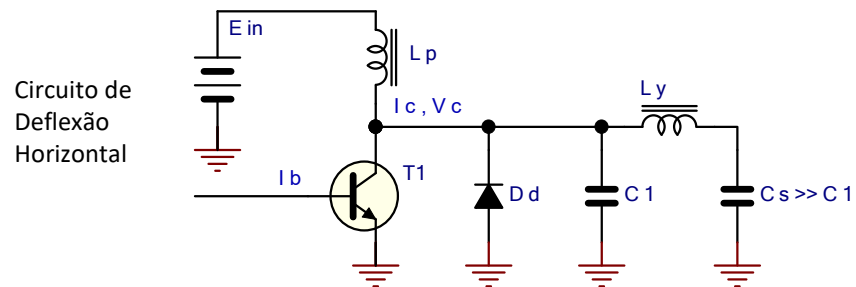
$$\frac{D_t}{D_i} = \frac{R_a \tan \Theta}{R_a \sin \Theta} = \frac{1}{\cos \Theta}$$

$$\frac{D_t}{D_i} \cong 1 + \frac{k_m L}{4V} I^2$$

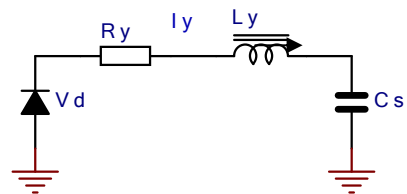
# Características de Bobinas Defletoras

| Bobina Defletora para 110°, "in-line", $\varnothing=36.5$ mm |              |              |
|--------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
|                                                              | Horizontal   | Vertical     |
| Indutância                                                   | 1.5 mH       | 9.7 mH       |
| Resistência Série                                            | 1.3 $\Omega$ | 5.8 $\Omega$ |
| Fluxo Magnético                                              | 7.6 mWb      |              |
| Corrente p/ Deflexão Plena                                   | 2.55 A       | 1.0 A        |

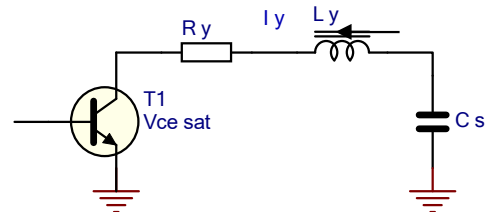
# Circuito de Deflexão Horizontal a Transistor



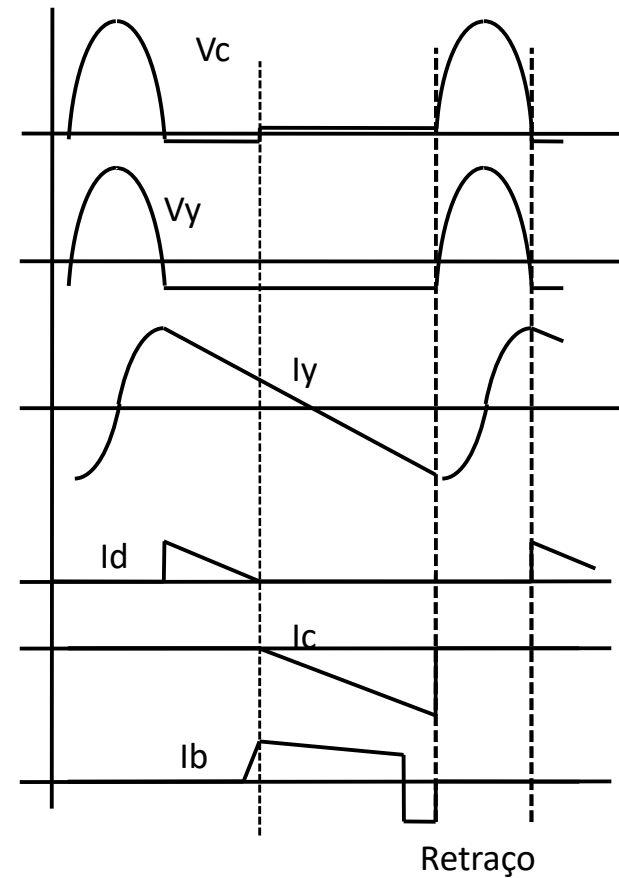
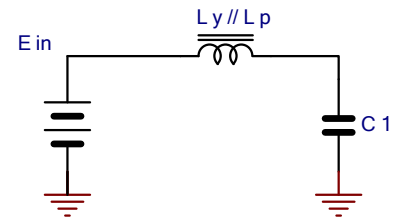
Primeira Parte Da Varredura



Segunda Parte Da Varredura

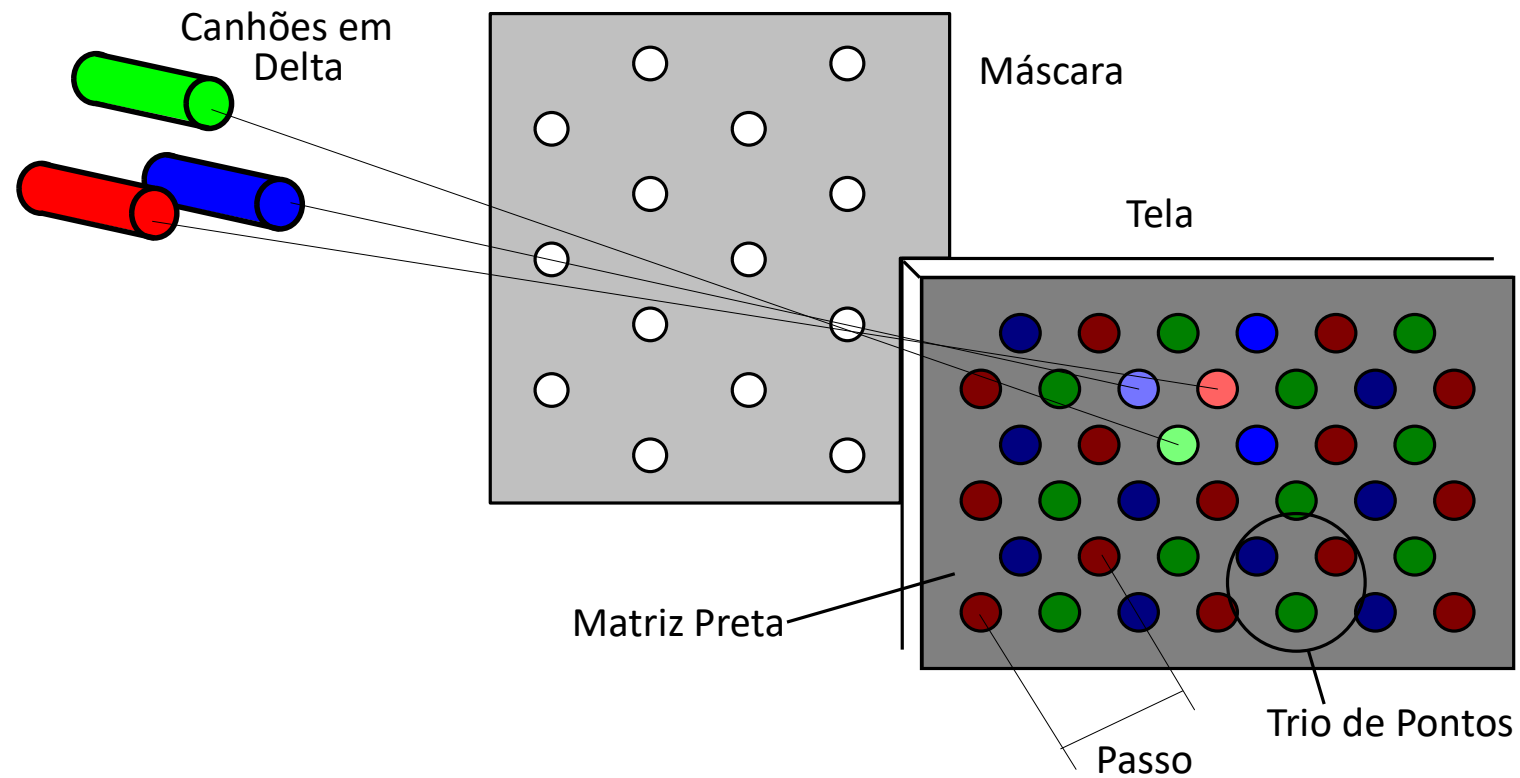


Retraço



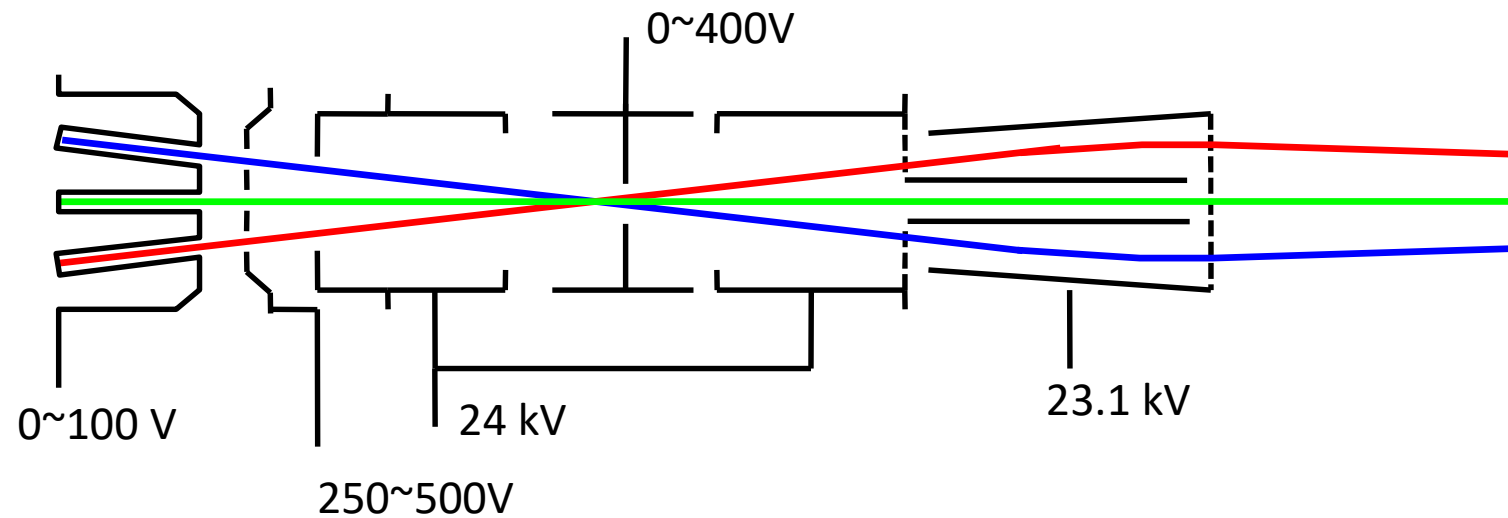
# Cinescópios para TV a Cores

# Cinescópio a Cores com Máscara de Sombra



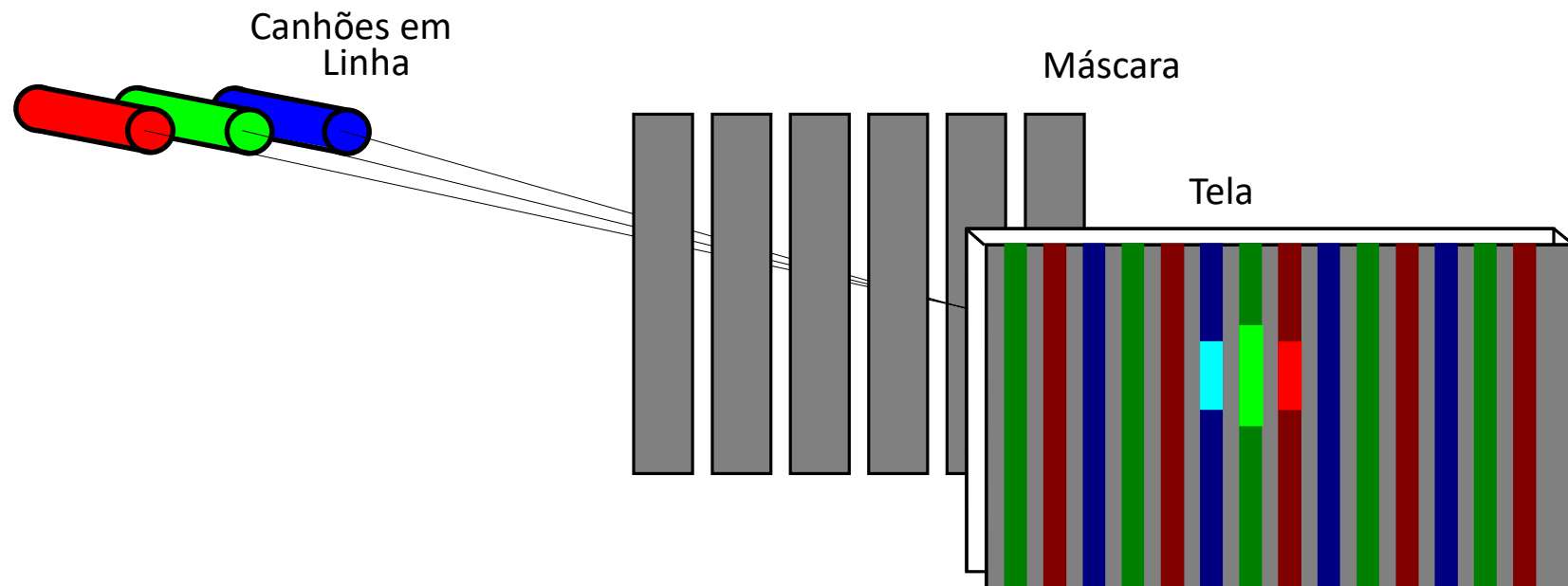
# Canhão “Trinitron” (In-line)

*LCS*  
EPUSP



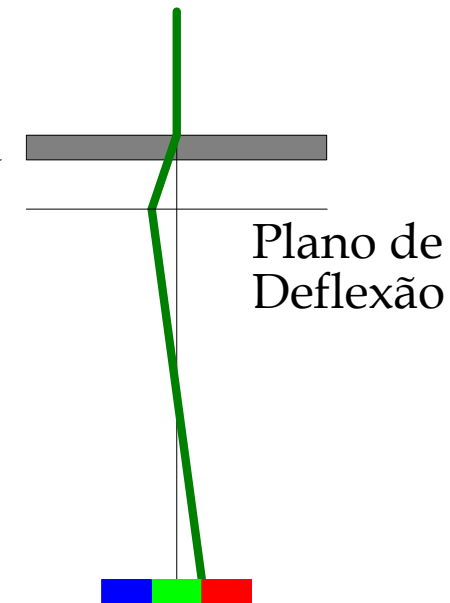
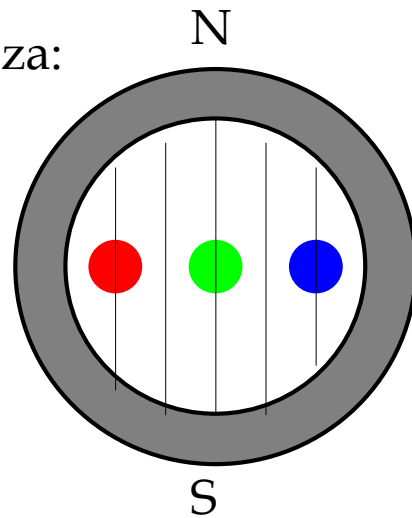
# Máscara “Trinitron”

*LCS*  
EPUSP





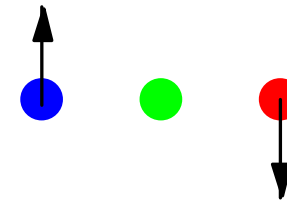
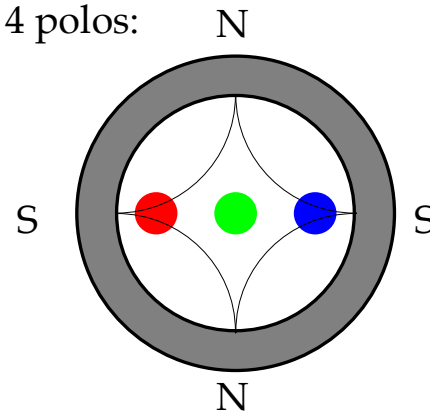
Anel de Pureza:



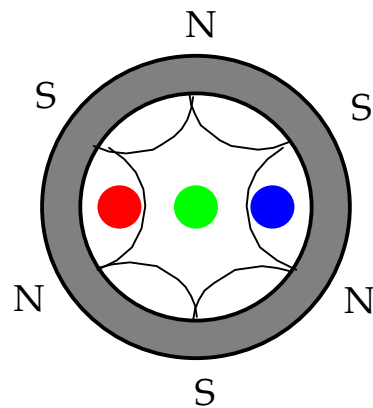
# Convergência Estática

*LCS*  
EPUSP

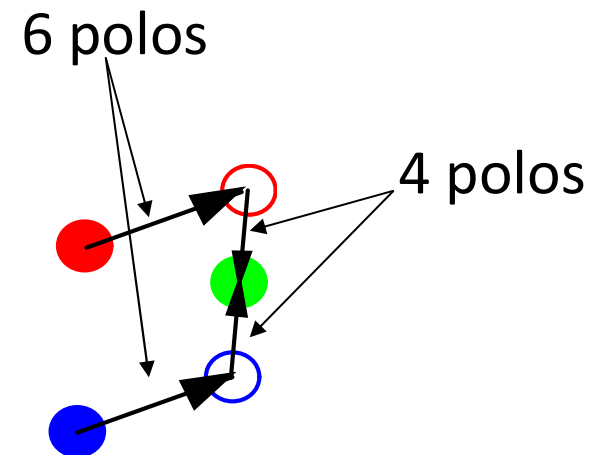
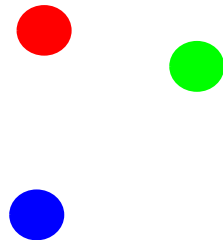
Anel de 4 polos:



6 polos:

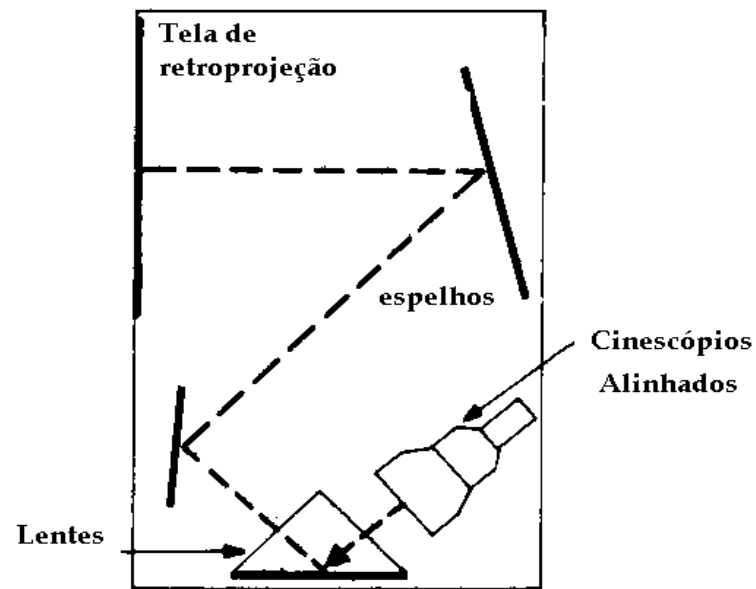


Desajustado

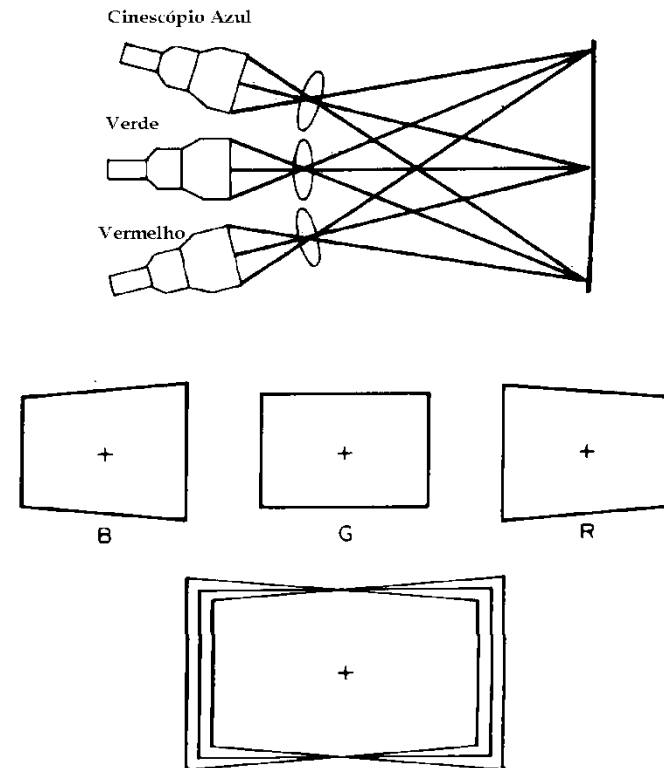


# Monitor com Retroprojeção

LCS  
EPUSP

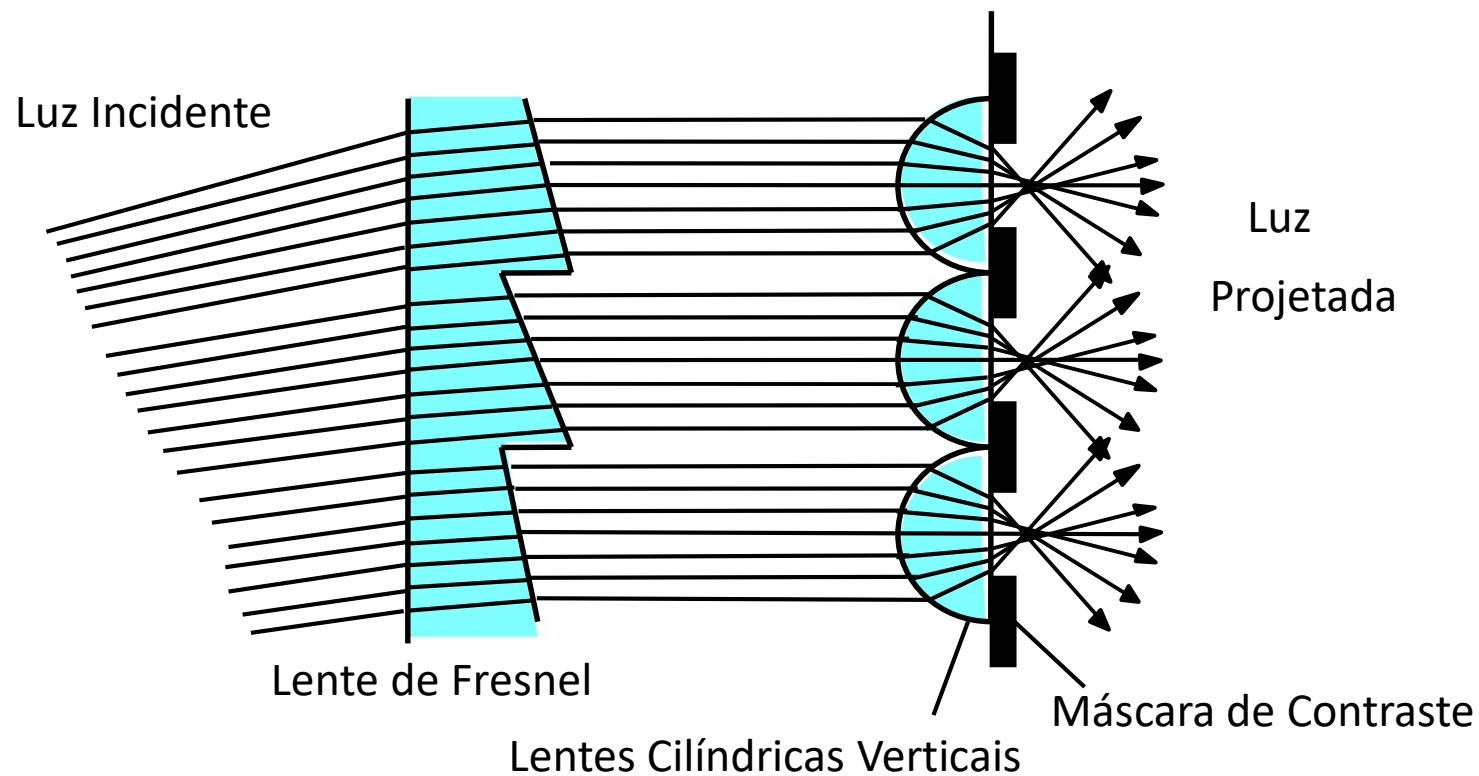


Retroprojektor com  
espelhos



# Tela de Retroprojeção de Alto Contraste

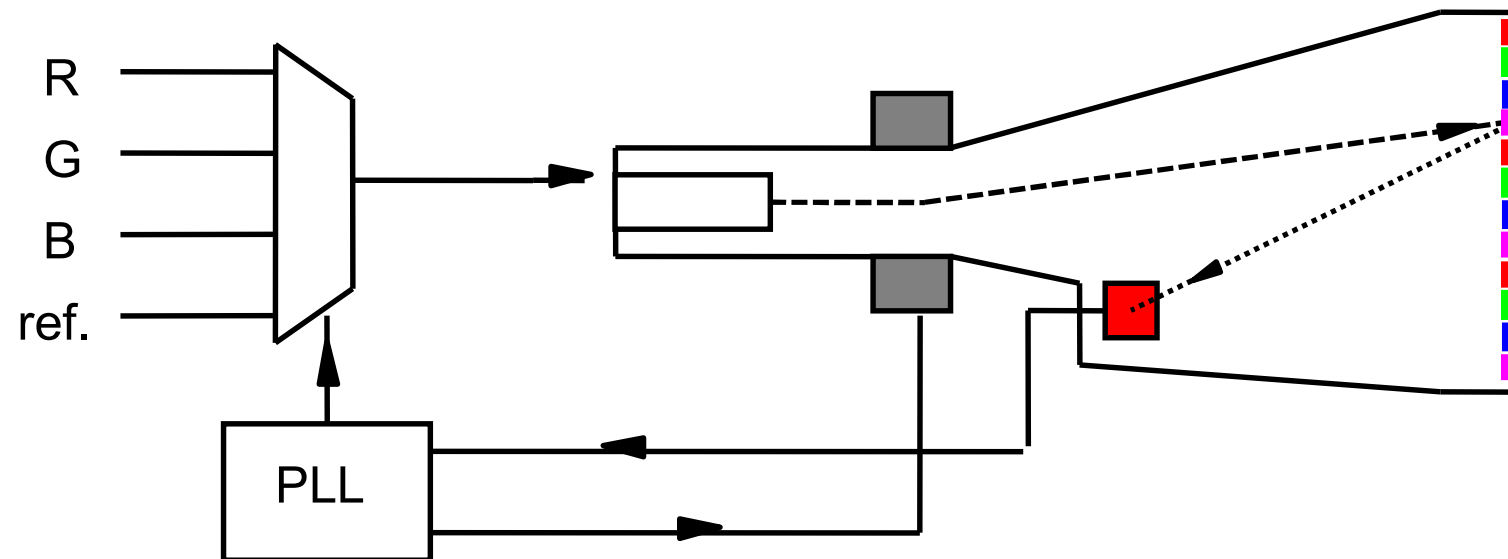
*LCS*  
EPUSP



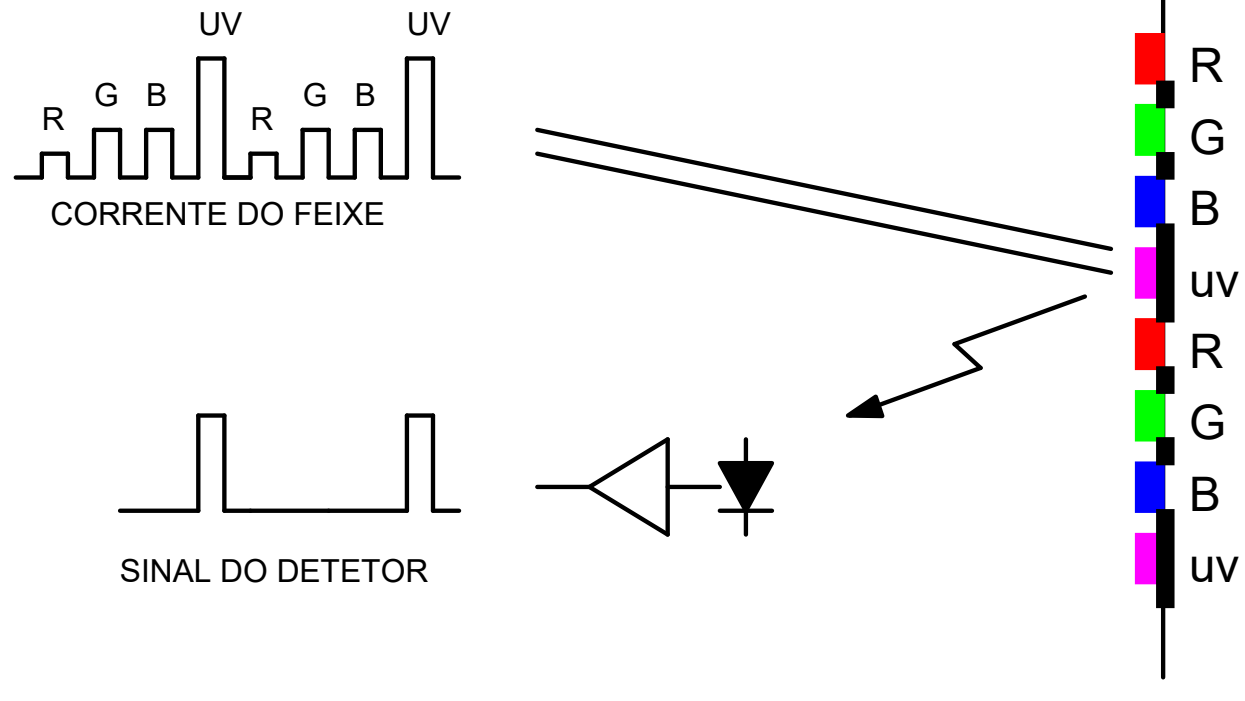
(Vista Superior)

# Cinescópio Indexado

*LCS*  
EPUSP



# Excitação do Cinescópio Indexado

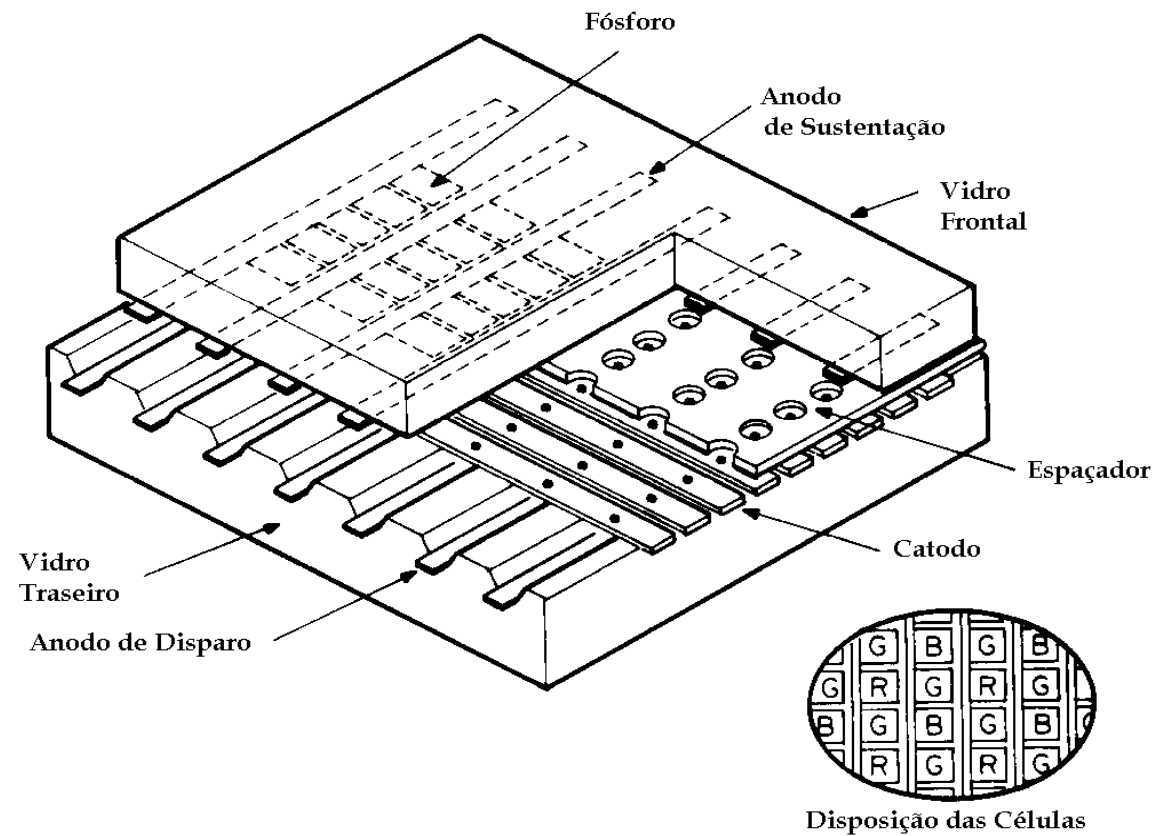


# Visor de Plasma



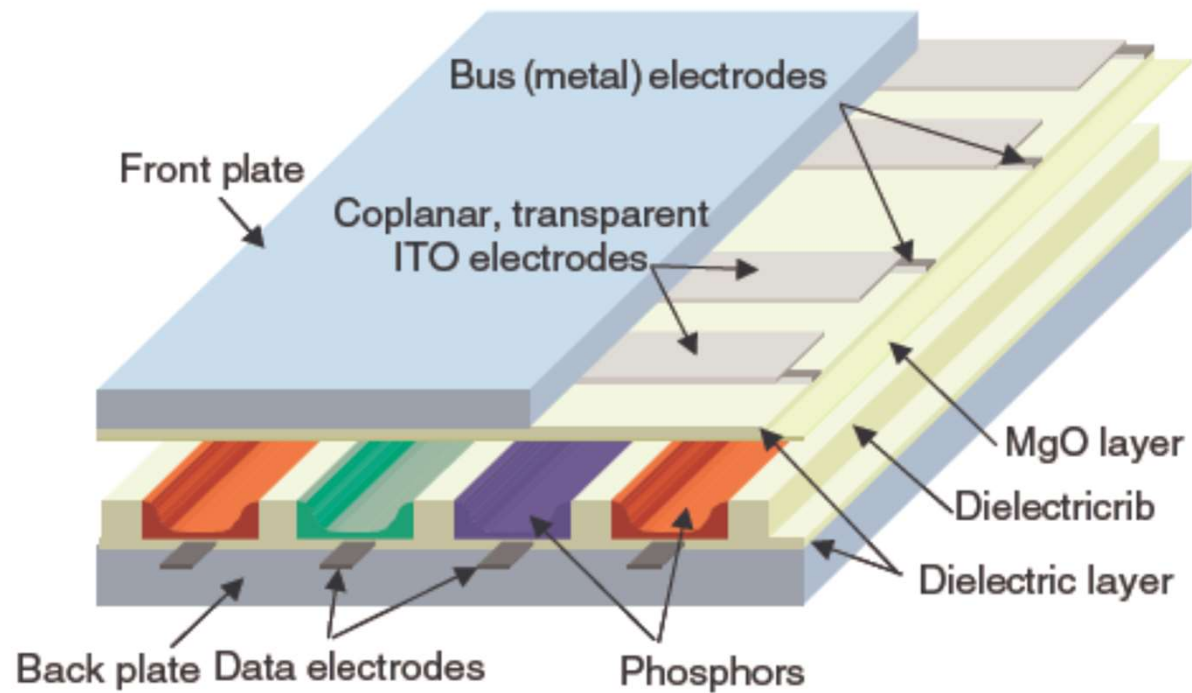
- Universidade de Illinois, ~1964
- Emissão UV: Xe-Ne ou Xe-Ne-He
- Contraste: 3000:1 (no escuro); 120:1 (ambiente)
- Rendimento Luminoso: ~1 a 2 lumens/W
- Luminância máxima: 500 ~700 nits
- Meia vida: ~30.000 horas (-10% em 5000 horas)
- Controle de intensidade pela duração da descarga (PWM)
- Visor com excitação AC: maior vida útil

# Visor de Plasma



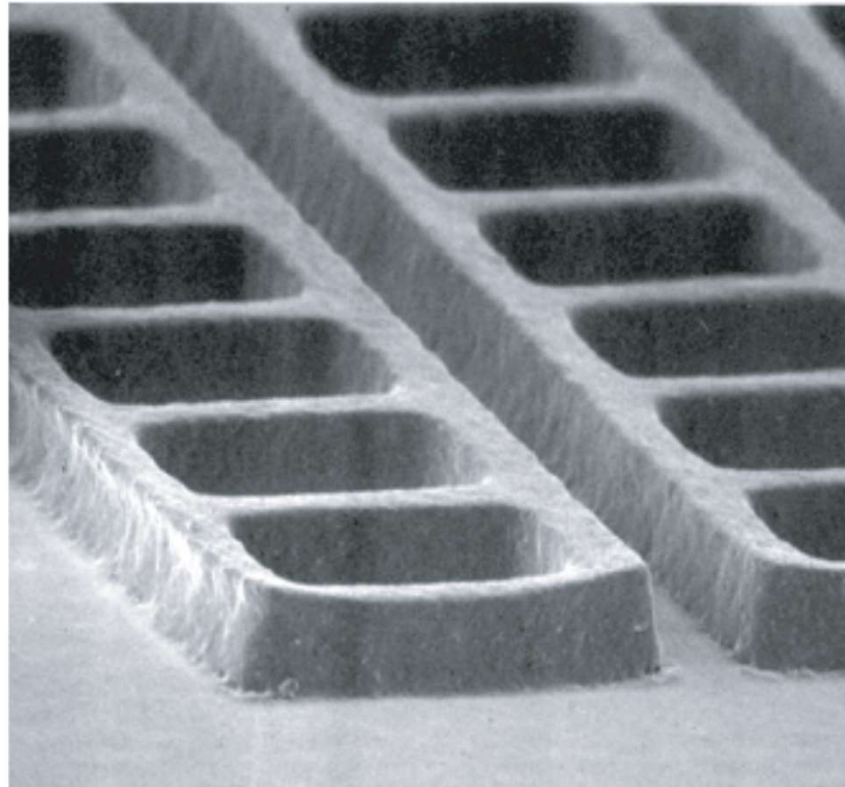
# Visor de Plasma (AC Coplanar – 3 Eletrodos)

*LCS*  
EPUSP



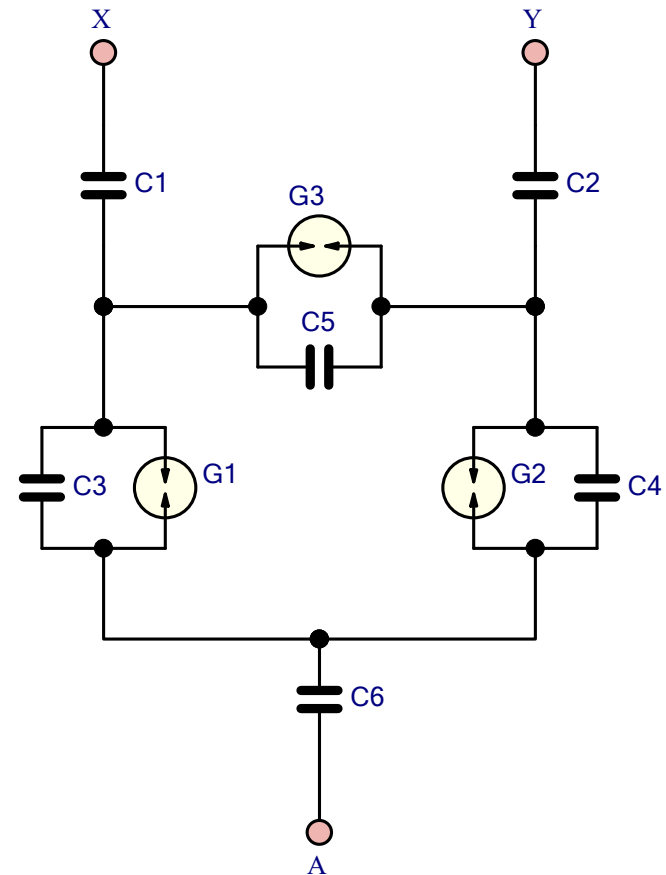
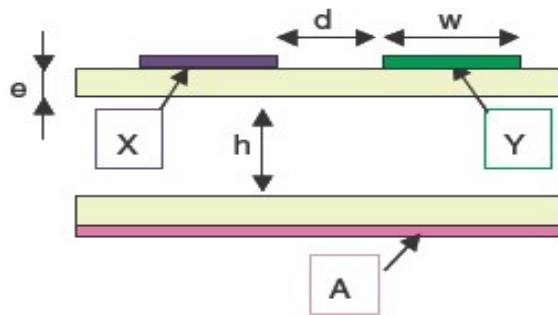
# Estrutura das Células de Descarga

*LCS*  
EPUSP



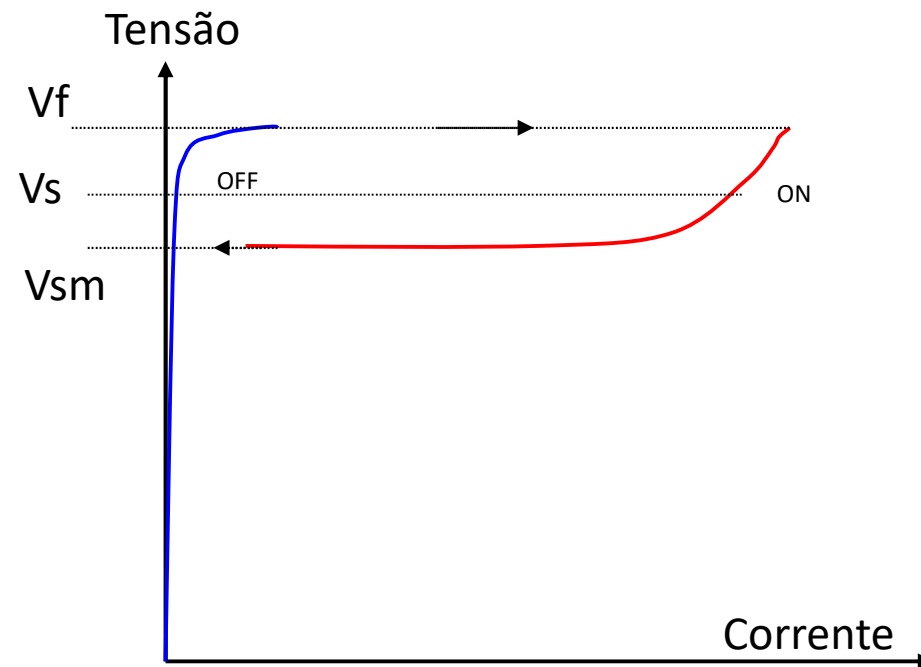
- Camada de MgO : proteção do dielétrico e emissão secundária de elétrons
- Espessura da camada MgO:  $\sim 0.5 \mu\text{m}$
- Espessura das camadas dielétricas:  $\sim 20 \mu\text{m}$
- Espessura da célula:  $\sim 0,1 \text{ mm}$
- Largura dos eletrodos transparentes:  $\sim 0,2$  a  $0,3 \text{ mm}$ 
  - ITO (Óxidos de Estanho e Índio)
- Pressão do gás:  $\sim 500 \text{ Torr}$
- Frequência de excitação: até  $\sim 100 \text{ kHz}$

# Célula ACC



# Curva Característica da Descarga em Gás

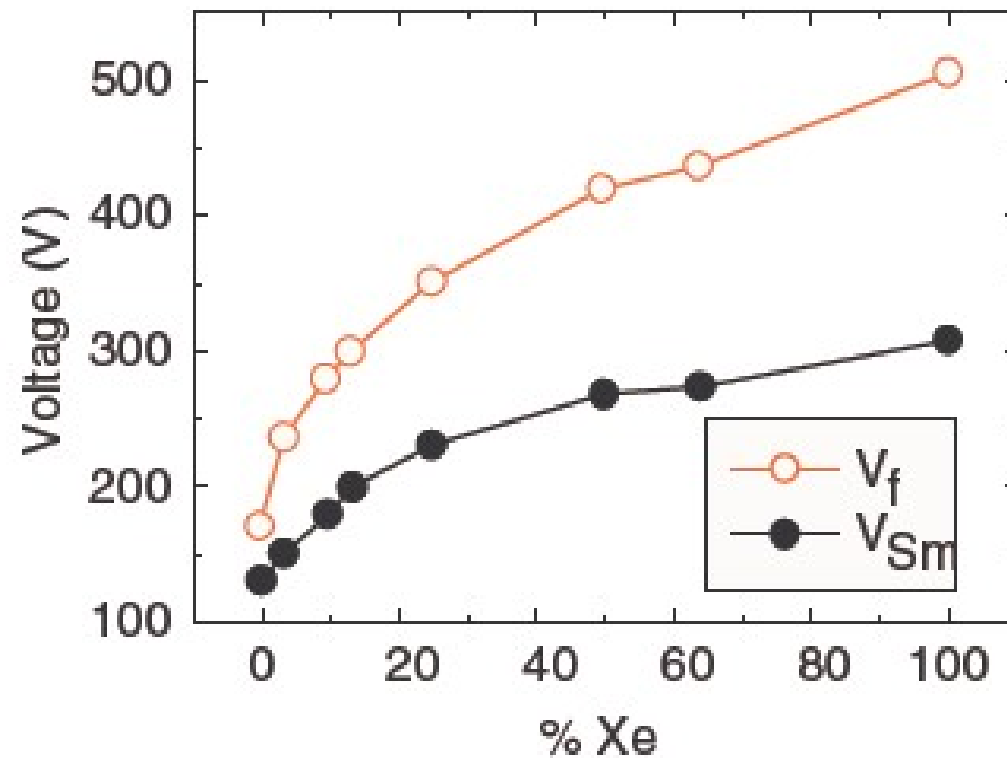
*LCS*  
EPUSP



- Xenônio
  - Concentração: 3 a 10%
  - Função: Emissão de fótons UV (~150 nm)
- Neônio
  - Função: Reduzir a tensão de ionização do gás
  - Alto coeficiente de emissão secundária na camada de MgO
  - Inconveniente: emissão de luz visível (alaranjada)

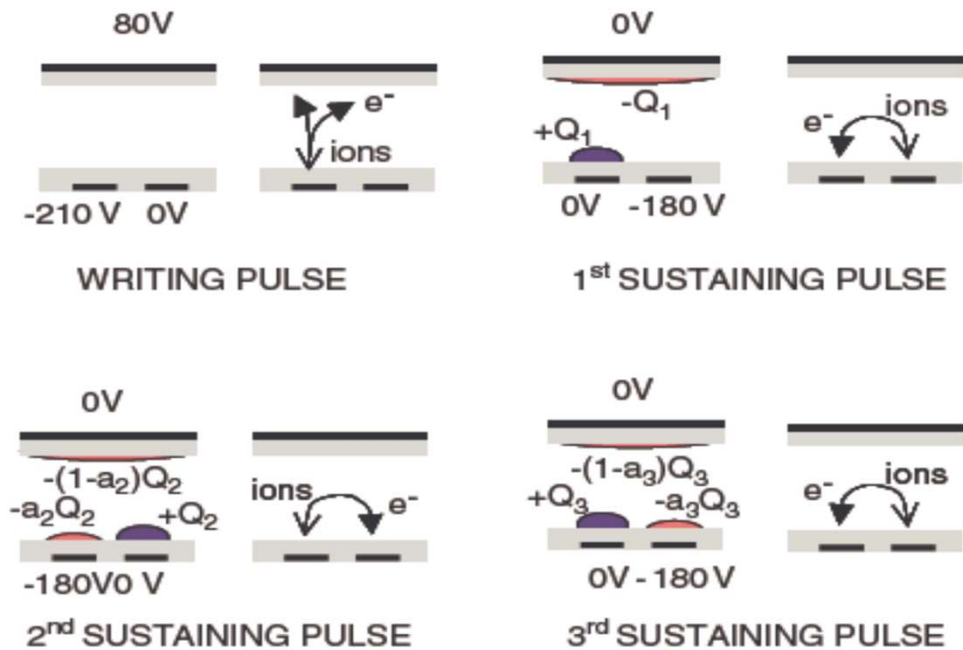
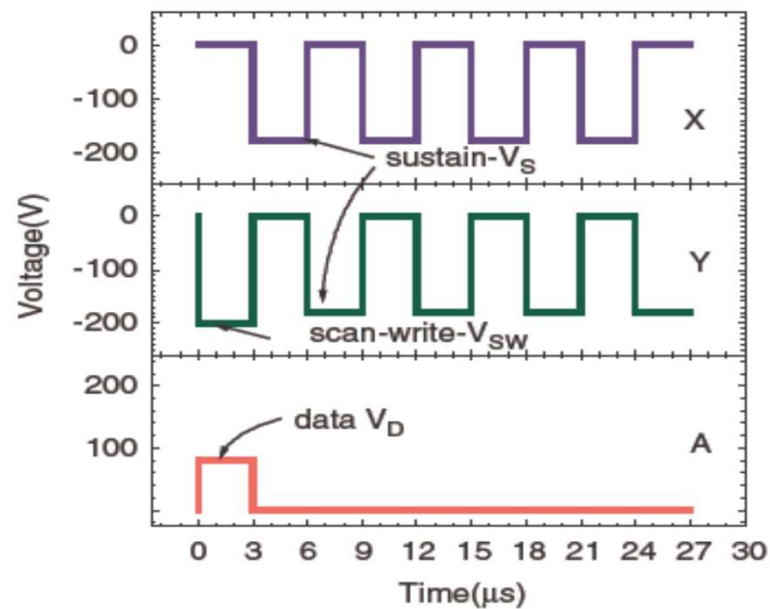


# Margens ON / OFF x Relação Xe / Ne

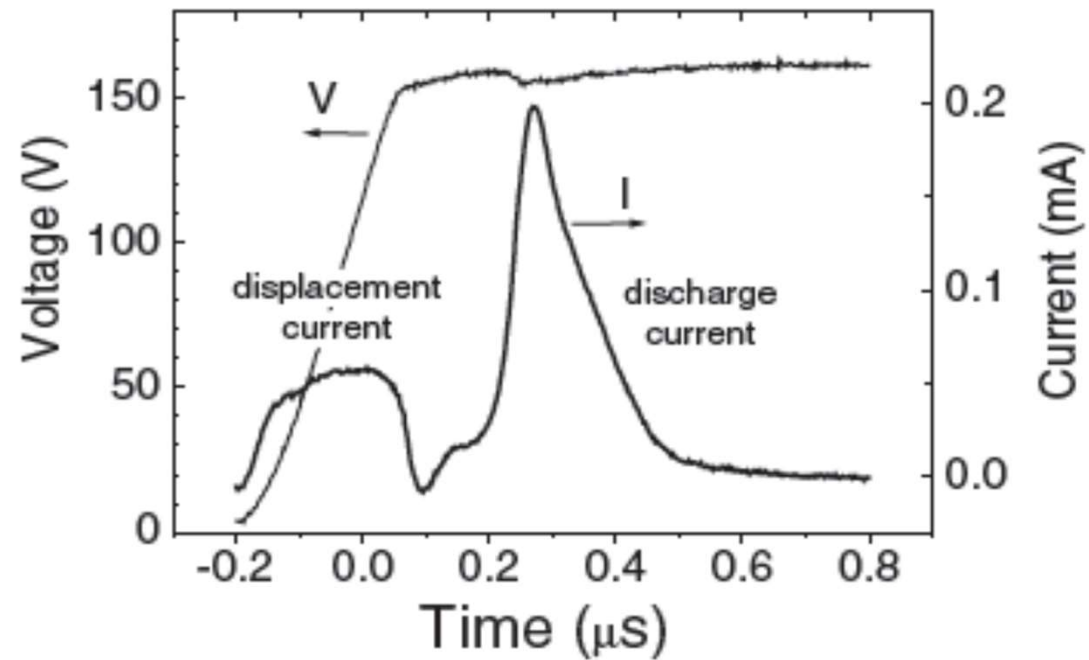


- Requisitos:
  - Alta eficiência quântica (80% a 95%)
  - Alta refletância para luz visível
  - Baixa refletância para UV
- Azul:  $\text{Ba Mg Al}_{10} \text{O}_{17} : \text{Eu}^{2+}$
- Verde:  $\text{Zn}_2 \text{Si O}_4 : \text{Mn}^{2+}$
- Vermelho:  $(\text{Y, Gd}) \text{B O}_3 : \text{Eu}^{3+}$  e  $\text{Y}_2 \text{O}_3 : \text{Eu}^{3+}$

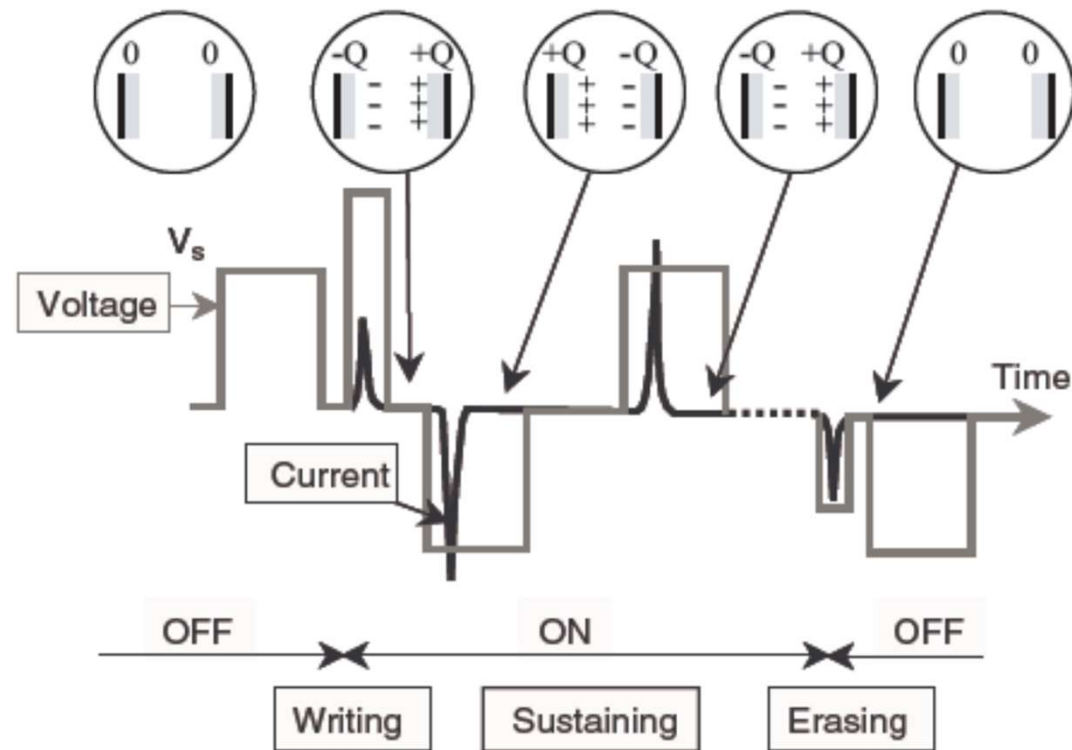
# Formas de Onda para Visor de Plasma ACC



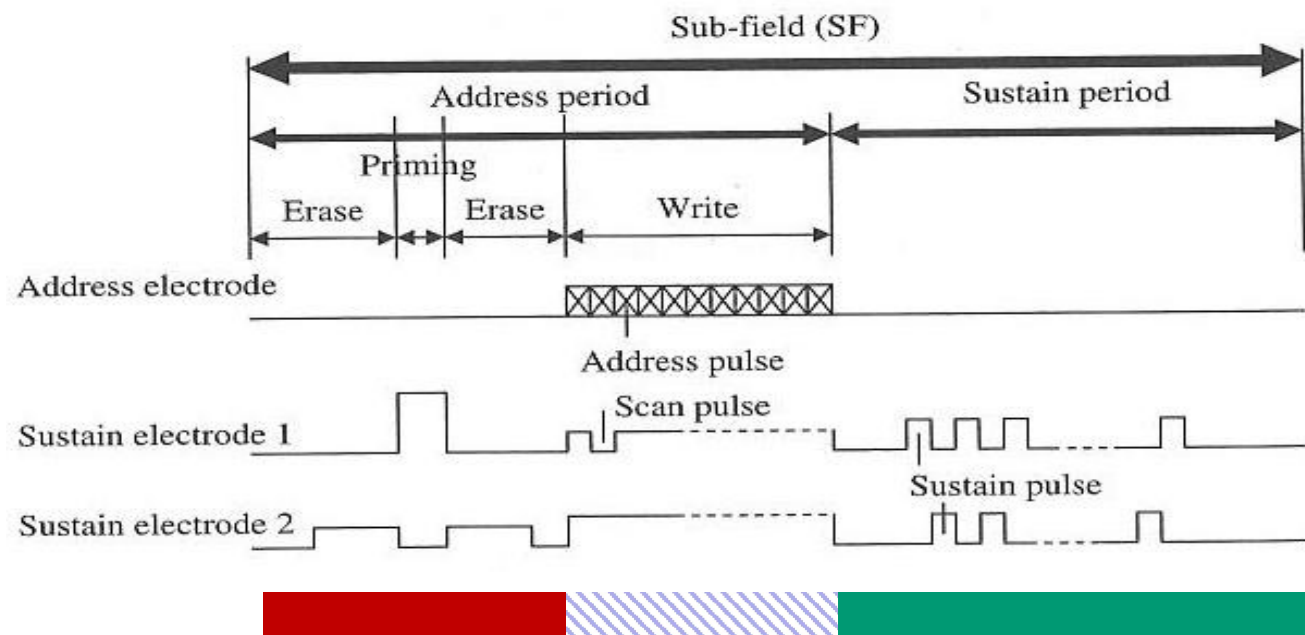
# Corrente em uma Célula de Plasma ACC



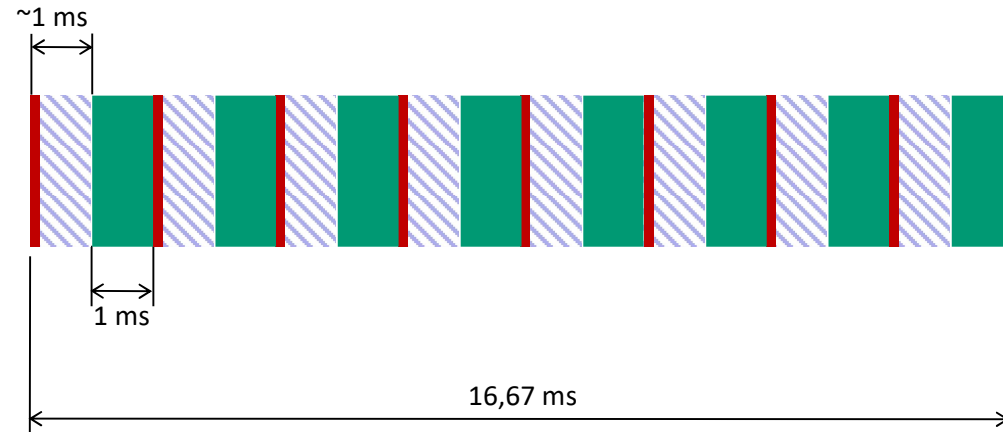
# Corrente em uma Célula de Plasma ACC



# Escrita em uma Célula

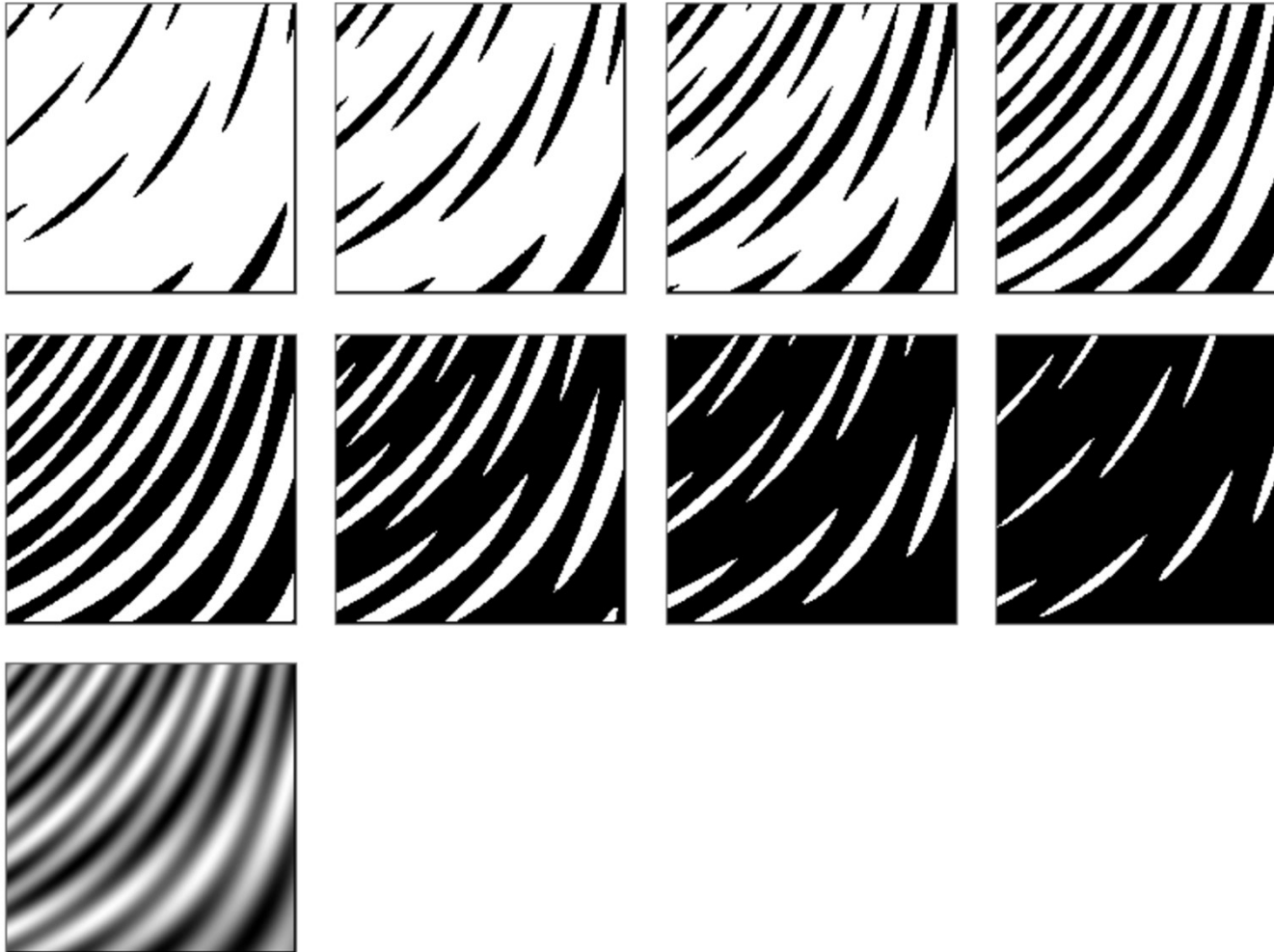


# Controle de Intensidade por PDM



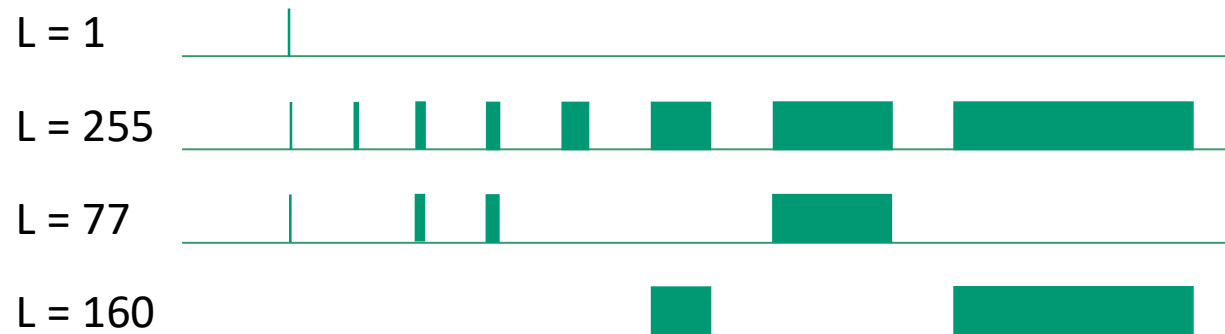
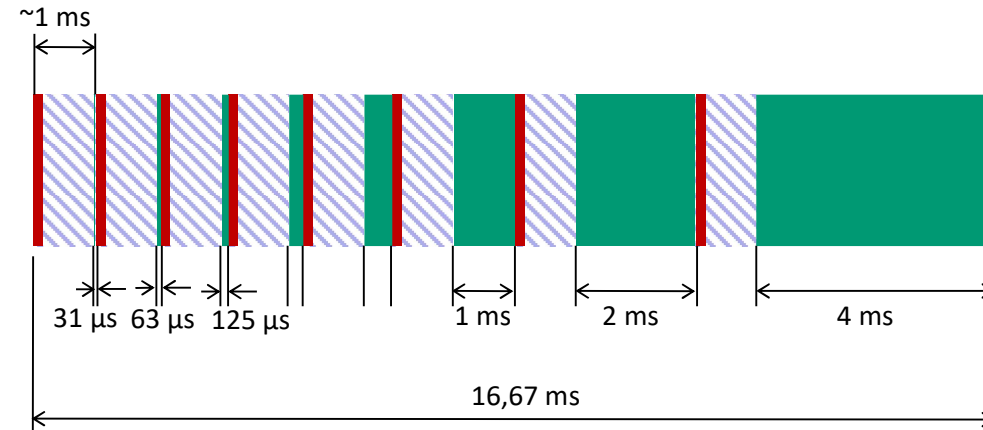
# Controle de Intensidade por PDM

*LCS*  
EPUSP



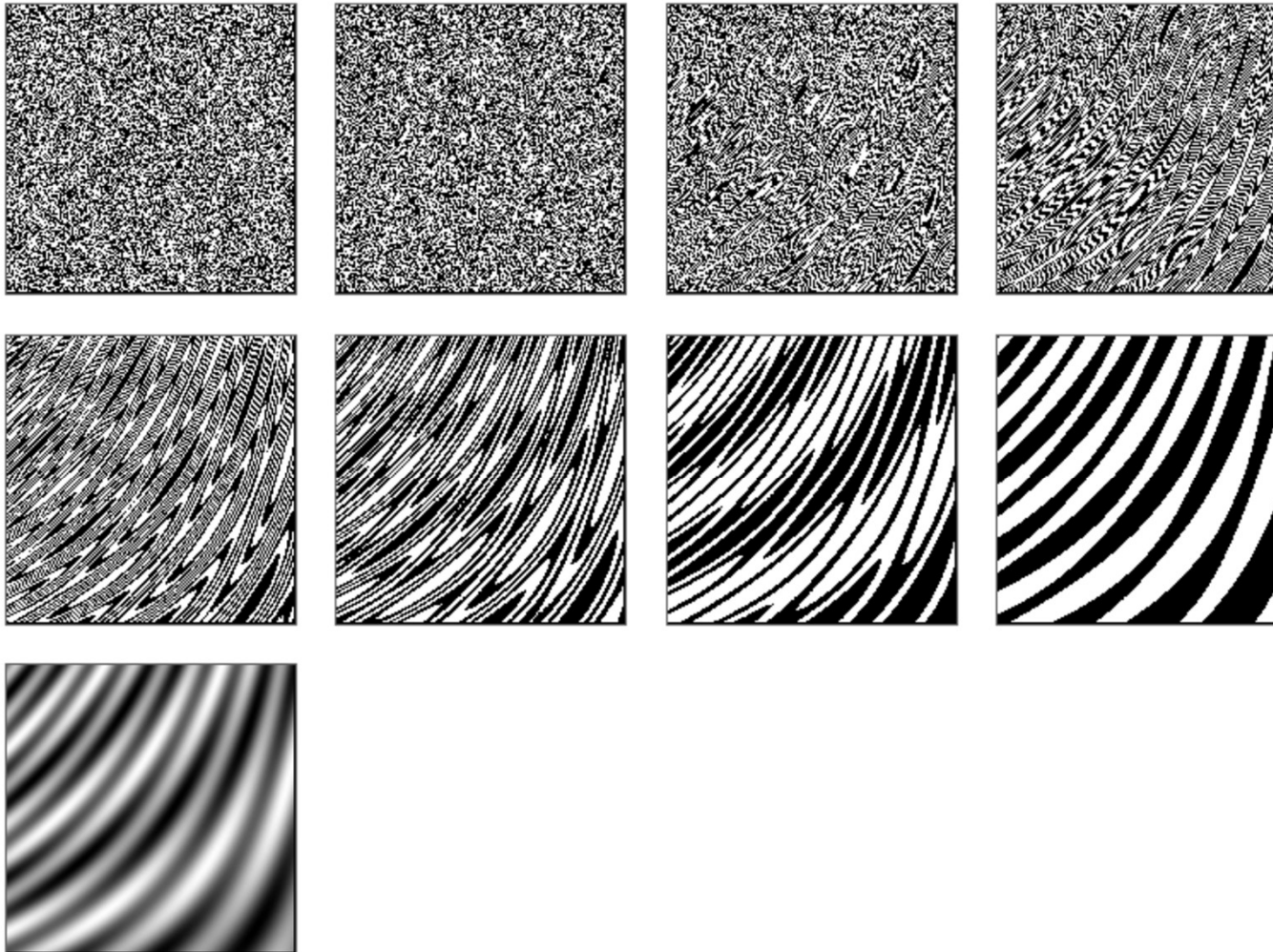


# Controle de Intensidade por planos de bit

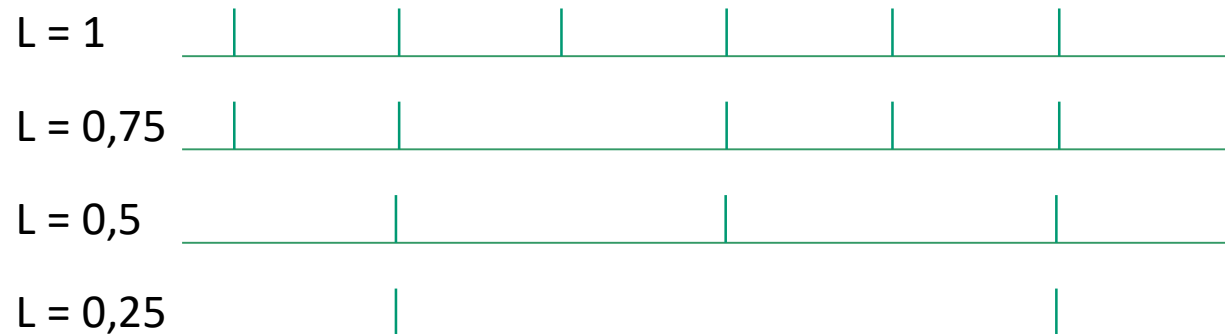
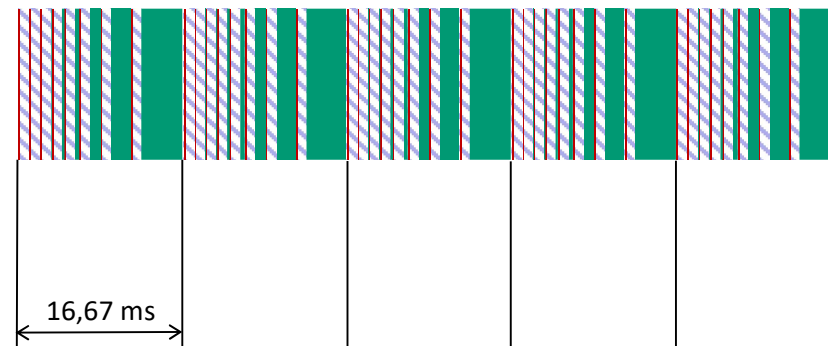


# Controle de Intensidade por planos de bit

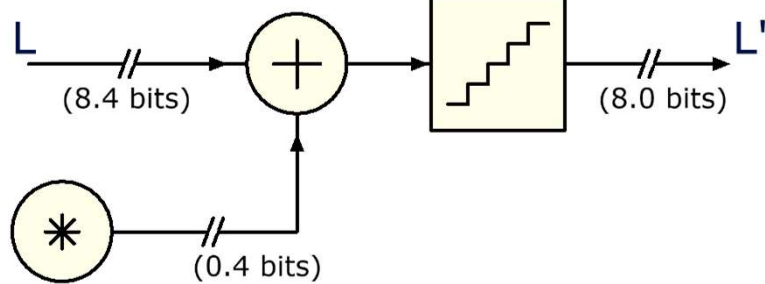
*LCS*  
EPUSP



# Intensidade Fracionária por Síncope



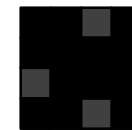
# Intensidade Fracionária por 'Dithering'



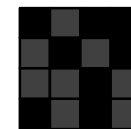
$L = 0,0$



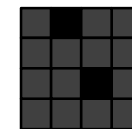
$L = 0,0625$



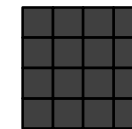
$L = 0,1875$



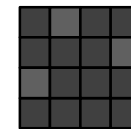
$L = 0,50$



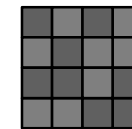
$L = 0,875$



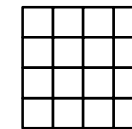
$L = 1,0$



$L = 1,1875$



$L = 2,5$

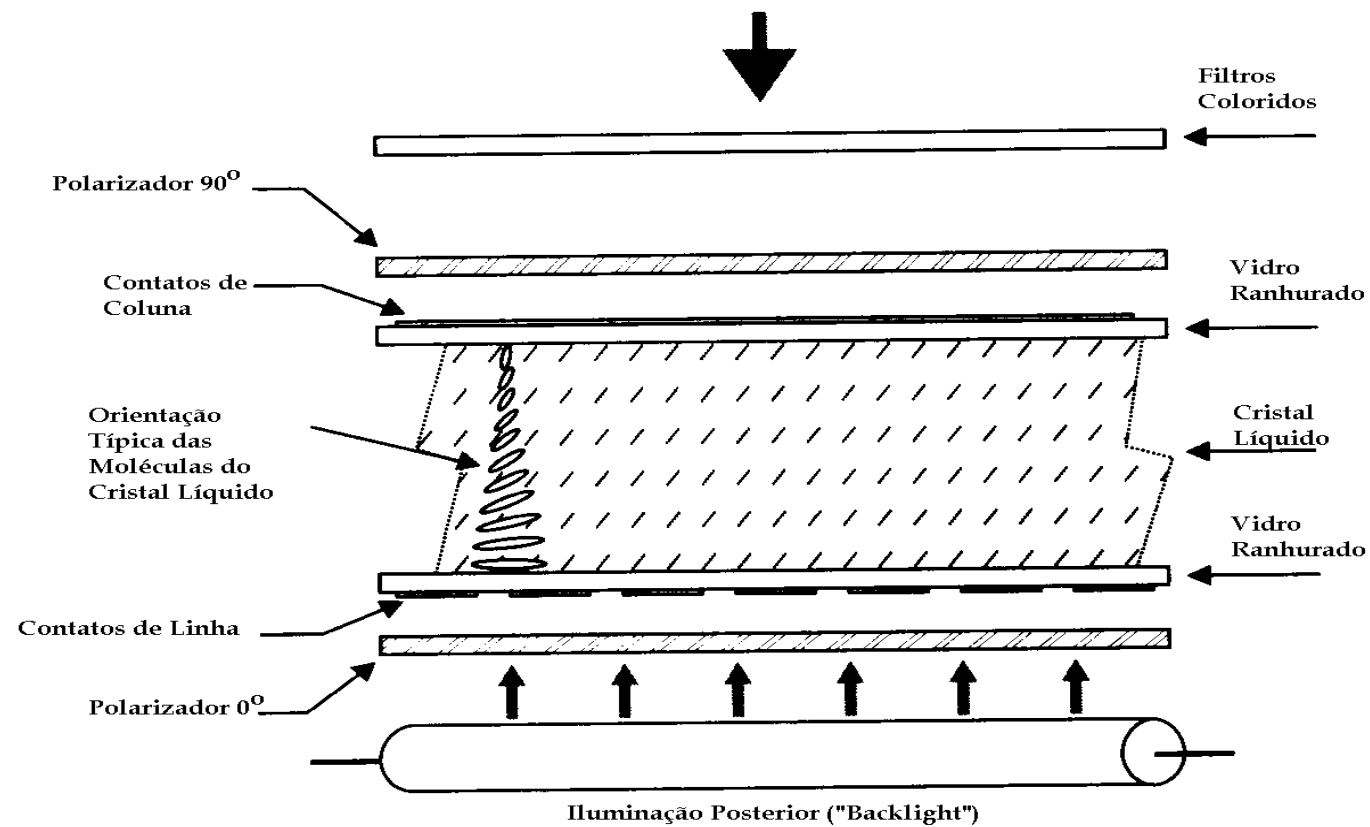


$L = 255$

# Visor de Cristal Líquido (LCD)

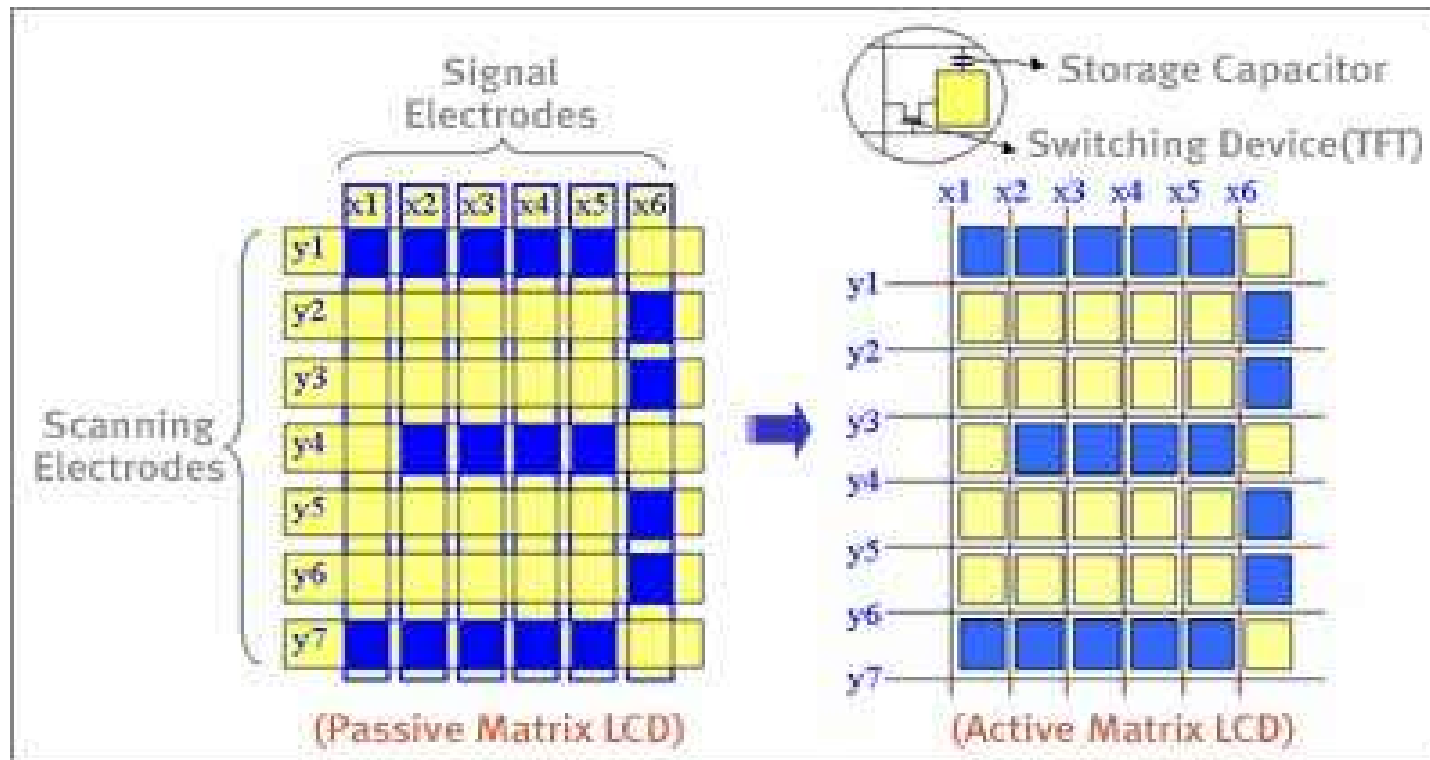
# Visor de Cristal Líquido

LCS  
EPUSP



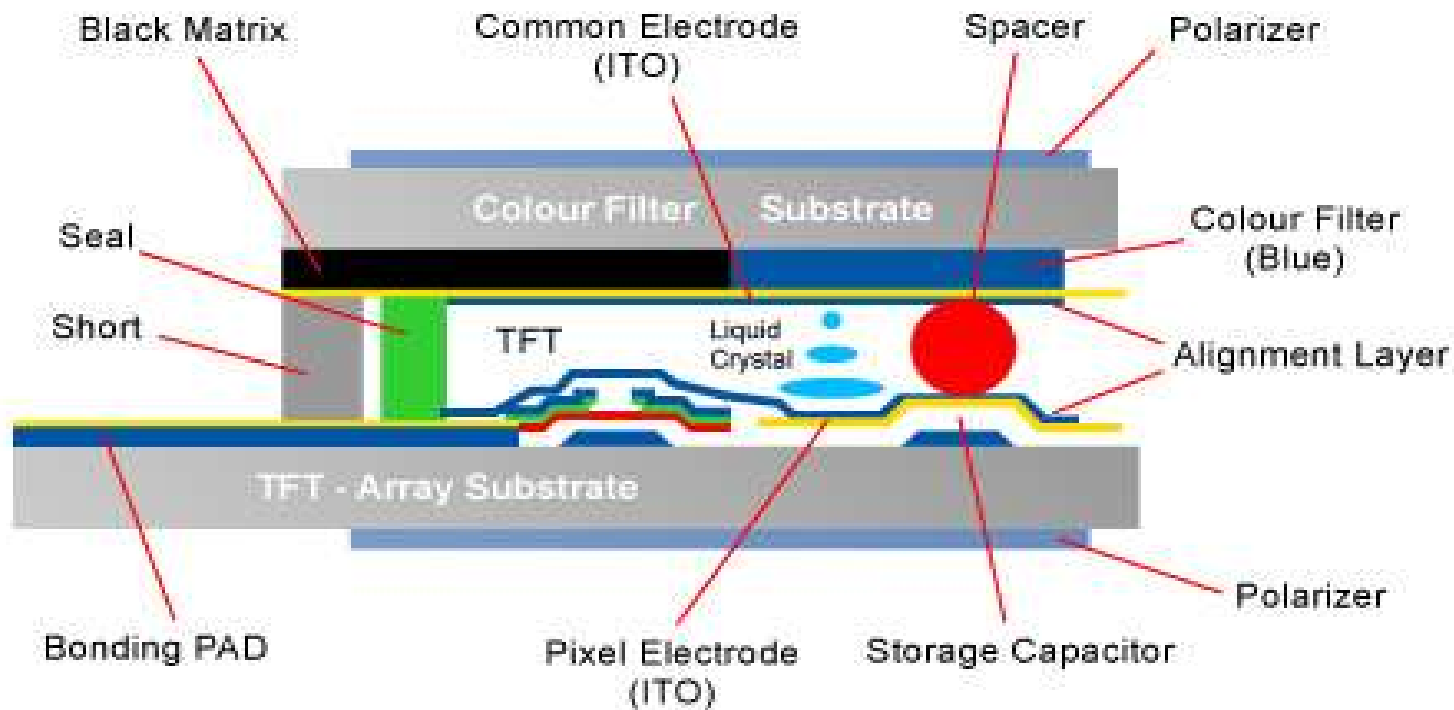
- Visor LCD: RCA, 1968
- Cristal Líquido: F. Reinitzer, 1888
- Moléculas orgânicas com propriedade de auto-alinhamento
- Intensidade do Campo Elétrico controla a transmitância da célula
- Excitação AC para evitar degradação do material
- Inconvenientes: tempo de resposta, ângulo de visualização

# Matriz Passiva e Ativa

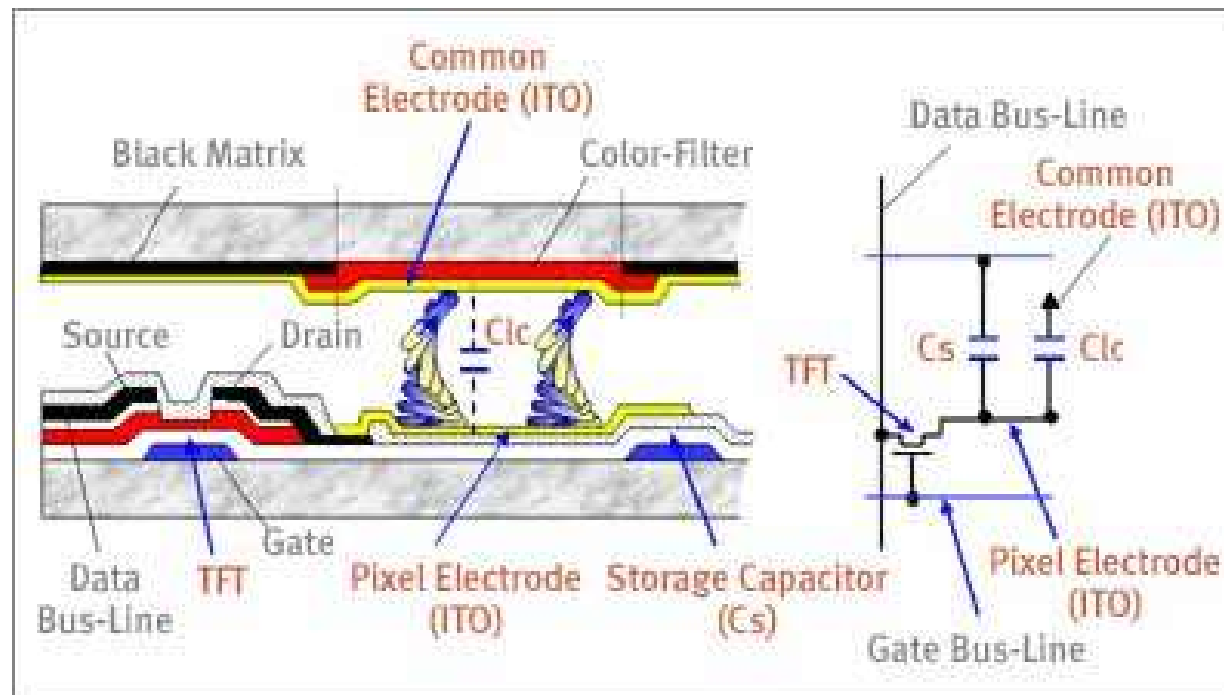




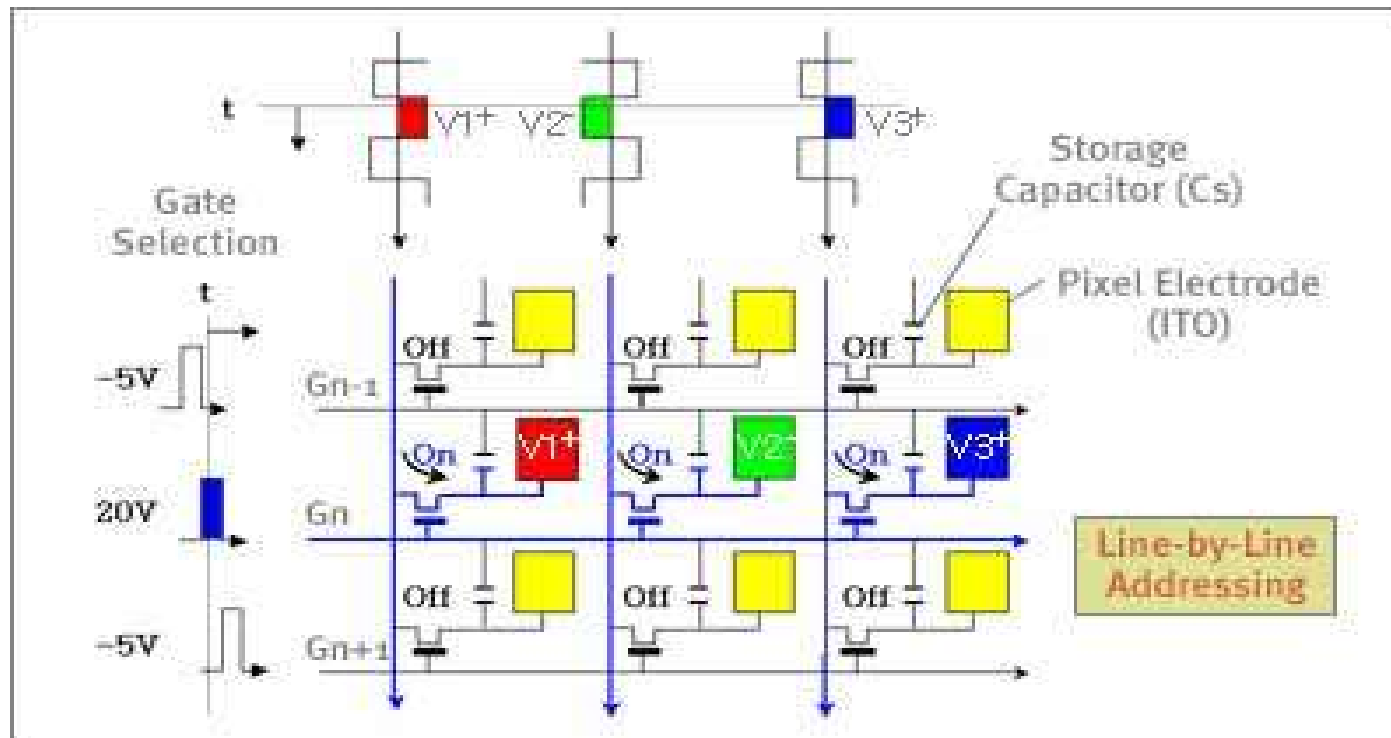
# Célula de Matriz Ativa



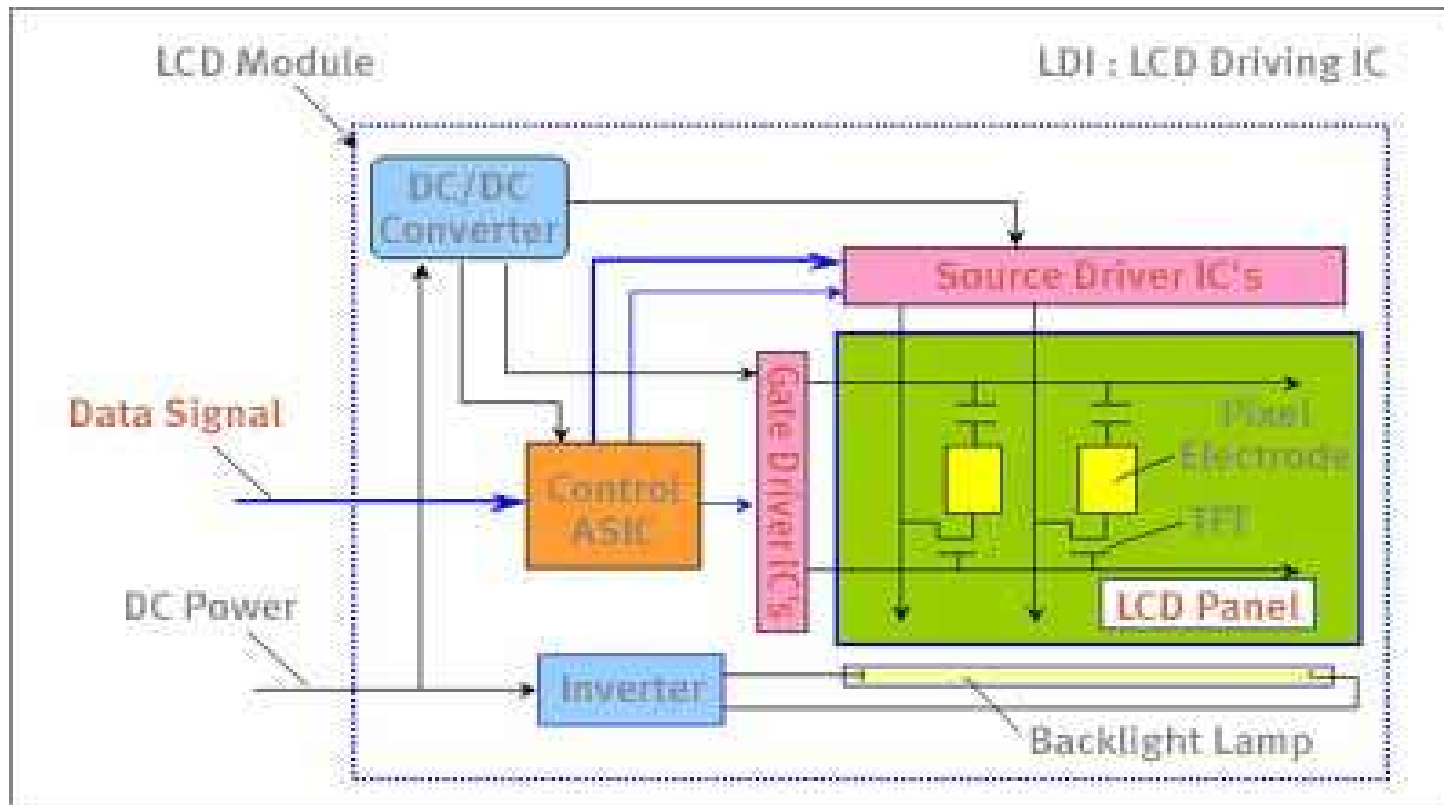
# Célula de Matriz Ativa



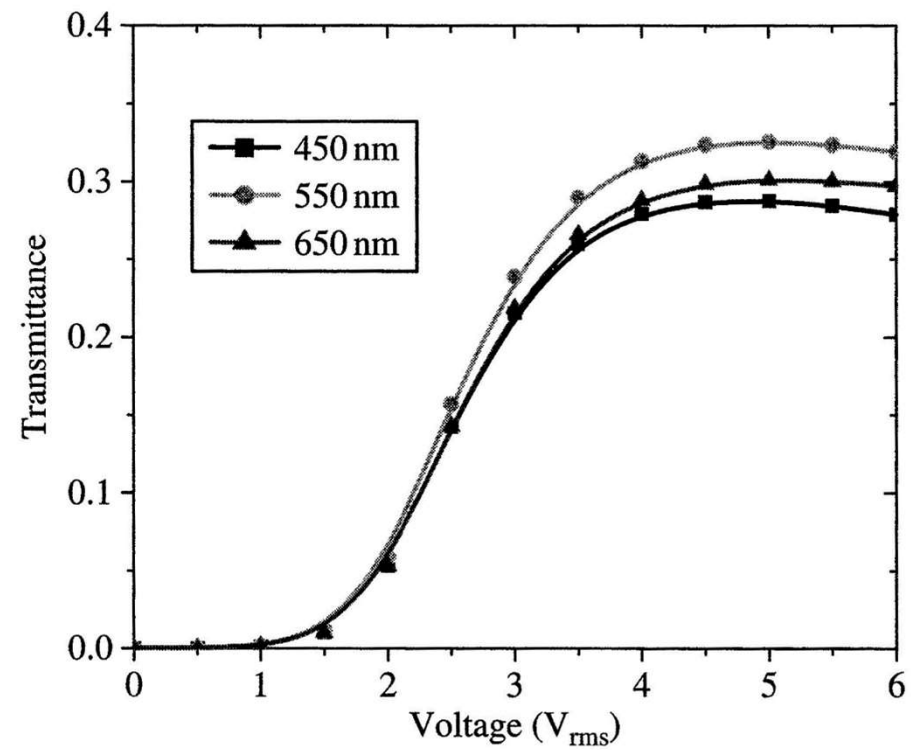
# Endereçamento das Células



# Circuito de Acionamento do Visor LCD

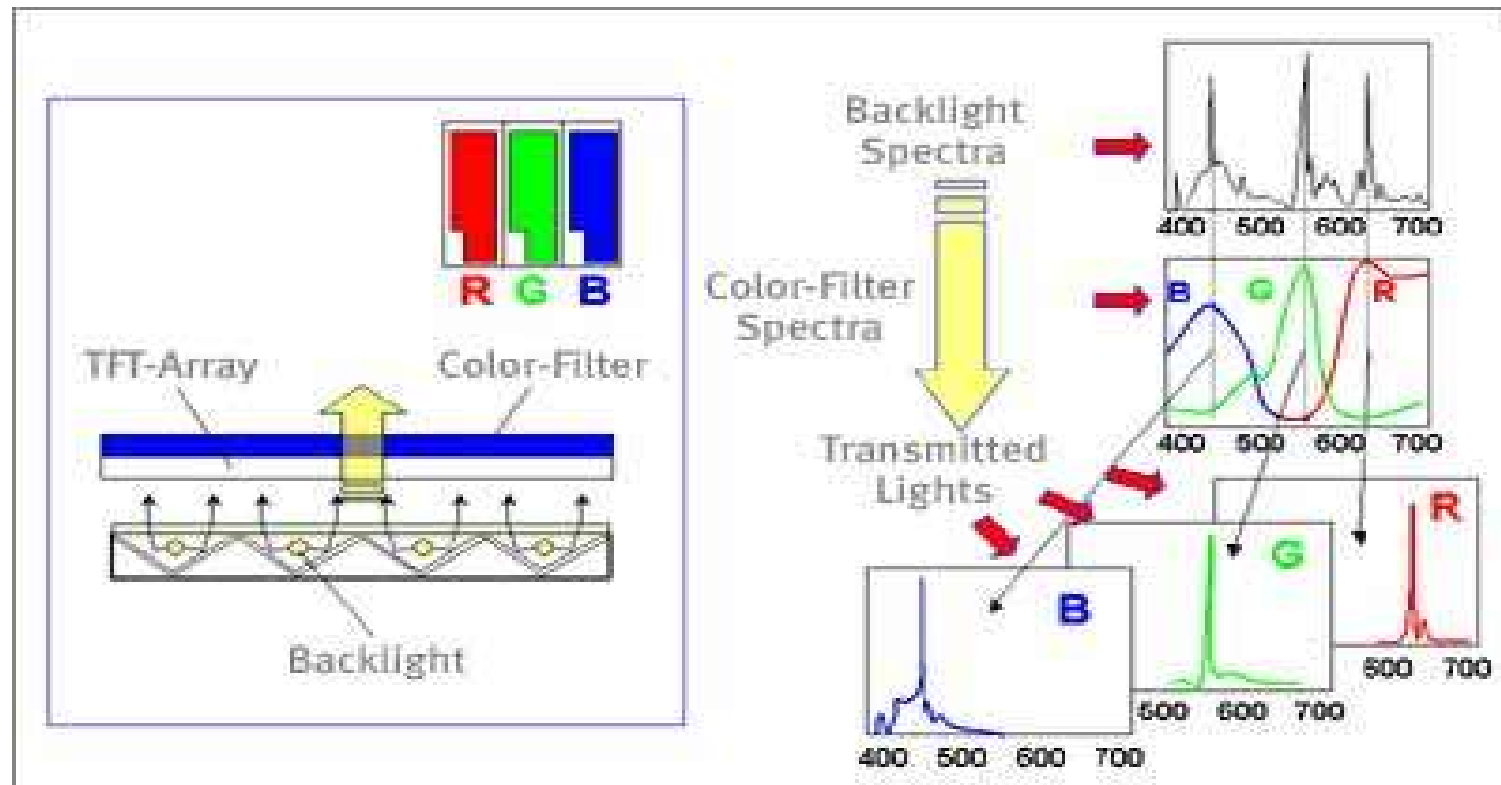


# Controle da Transmitância da Célula



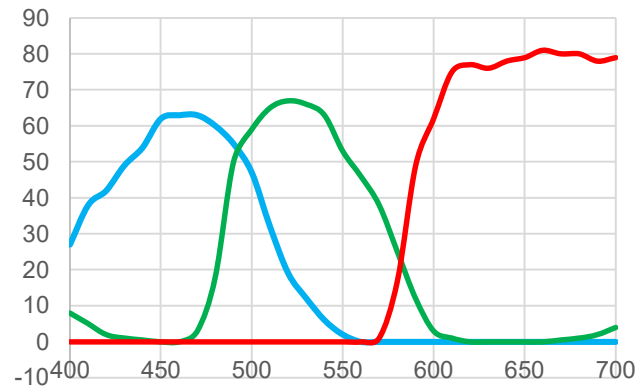
(Exemplo; curvas variam com a temperatura e ângulo de visão)

# Filtros para Visor a Cores

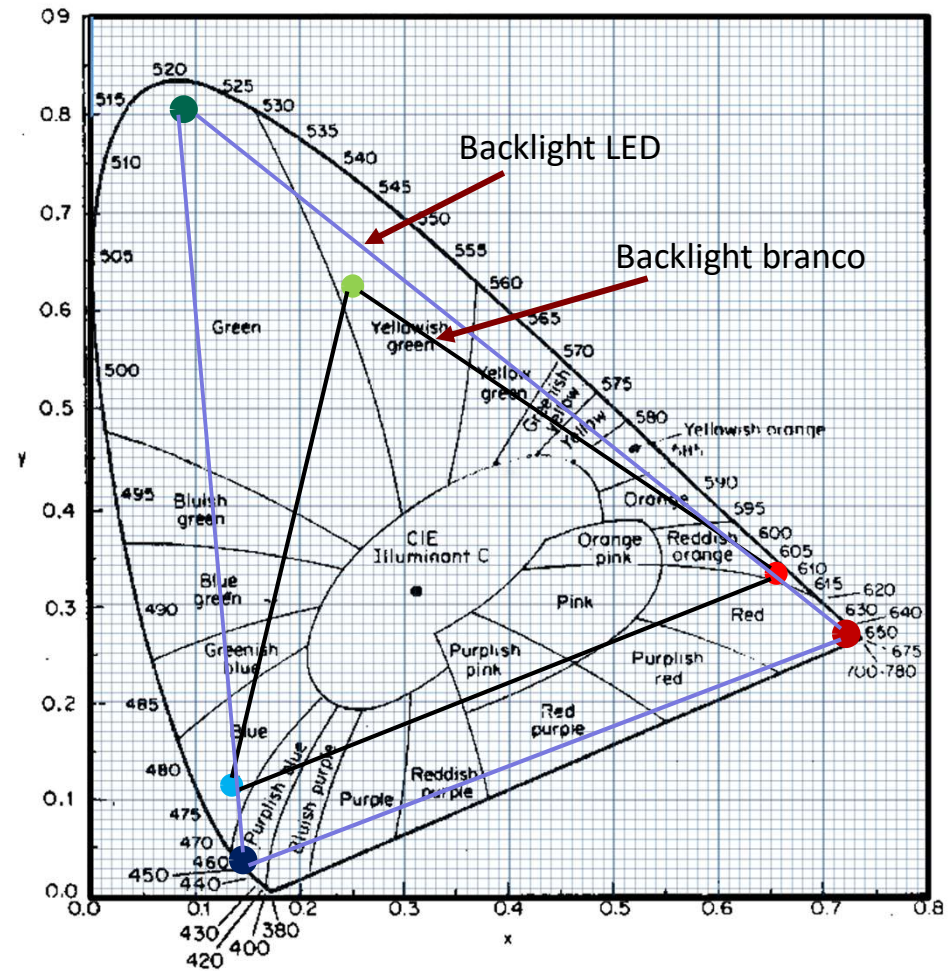
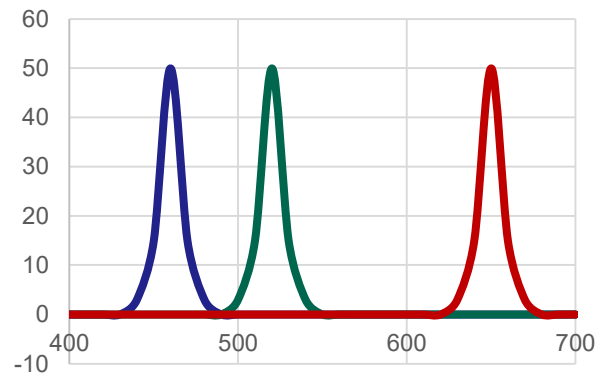


# Backlight Branco x LED RGB

Branco com Filtros RGB

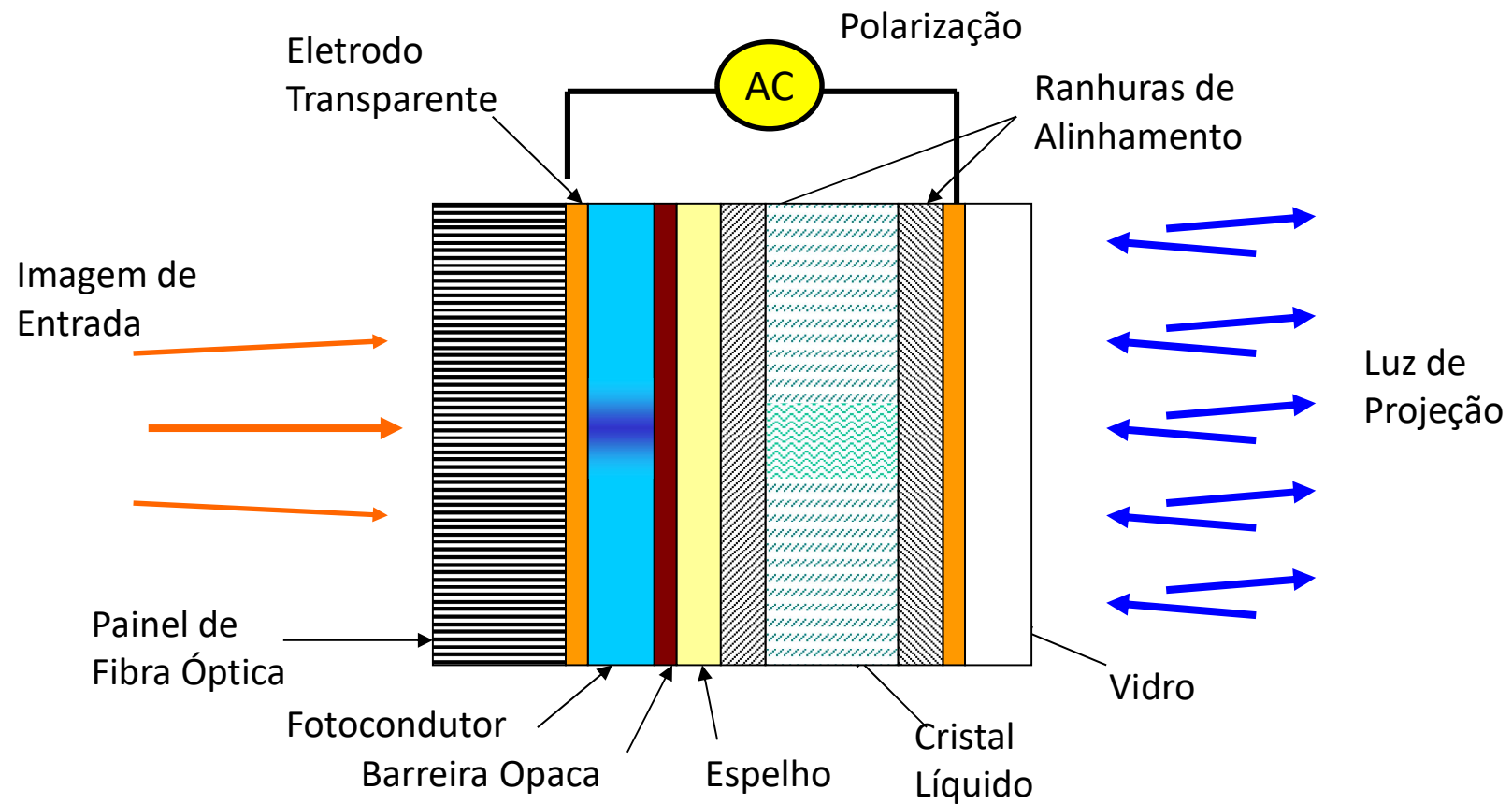


Leds RGB



# Amplificador Óptico (LCLV – Liquid Crystal Light Valve)

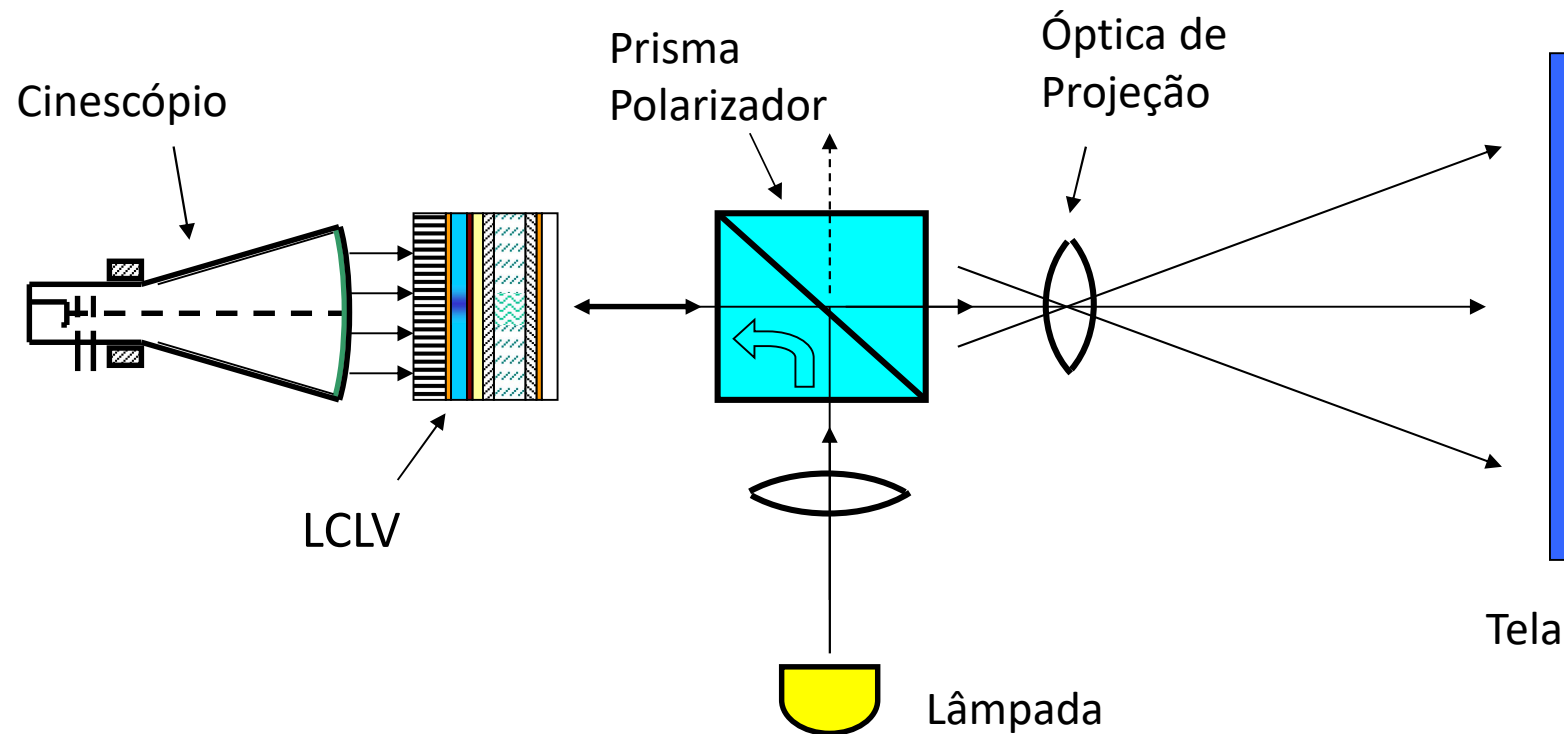
LCS  
EPUSP





# Sistema de Projeção com Amplificador Óptico

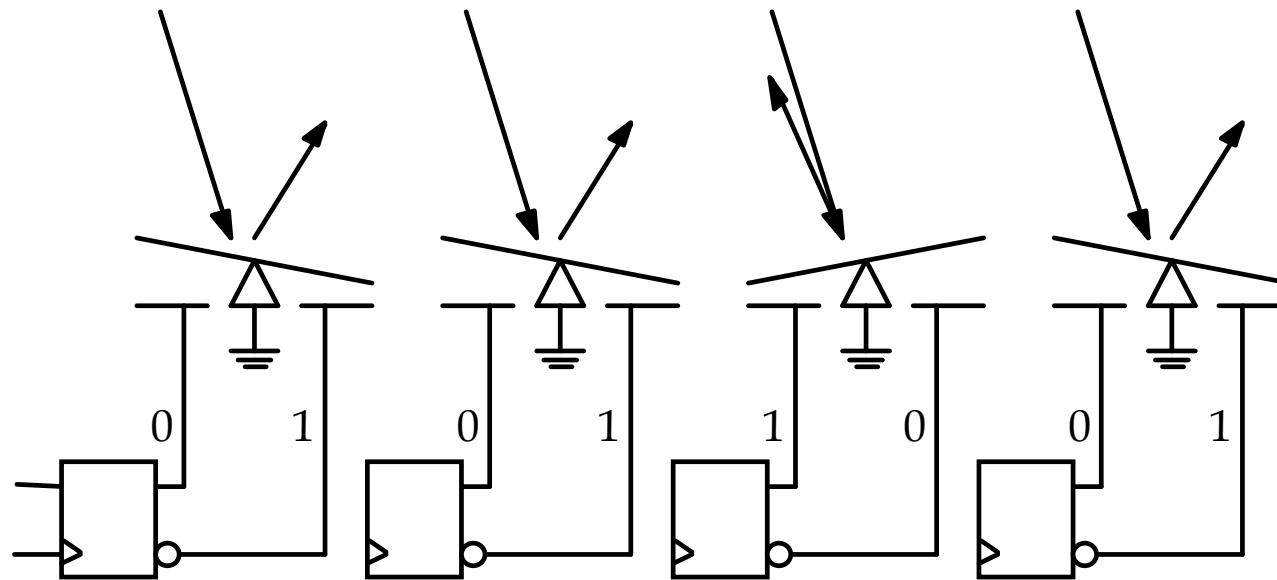
*LCS*  
EPUSP



# Micro-Espelhos

- Texas Instruments, 1995
- Para uso em projetores
- Alta luminosidade possível (alto fluxo luminoso)
- Baixo contraste em ambientes iluminados
- Consumo elevado
- Vida útil da lâmpada : ~1000 horas

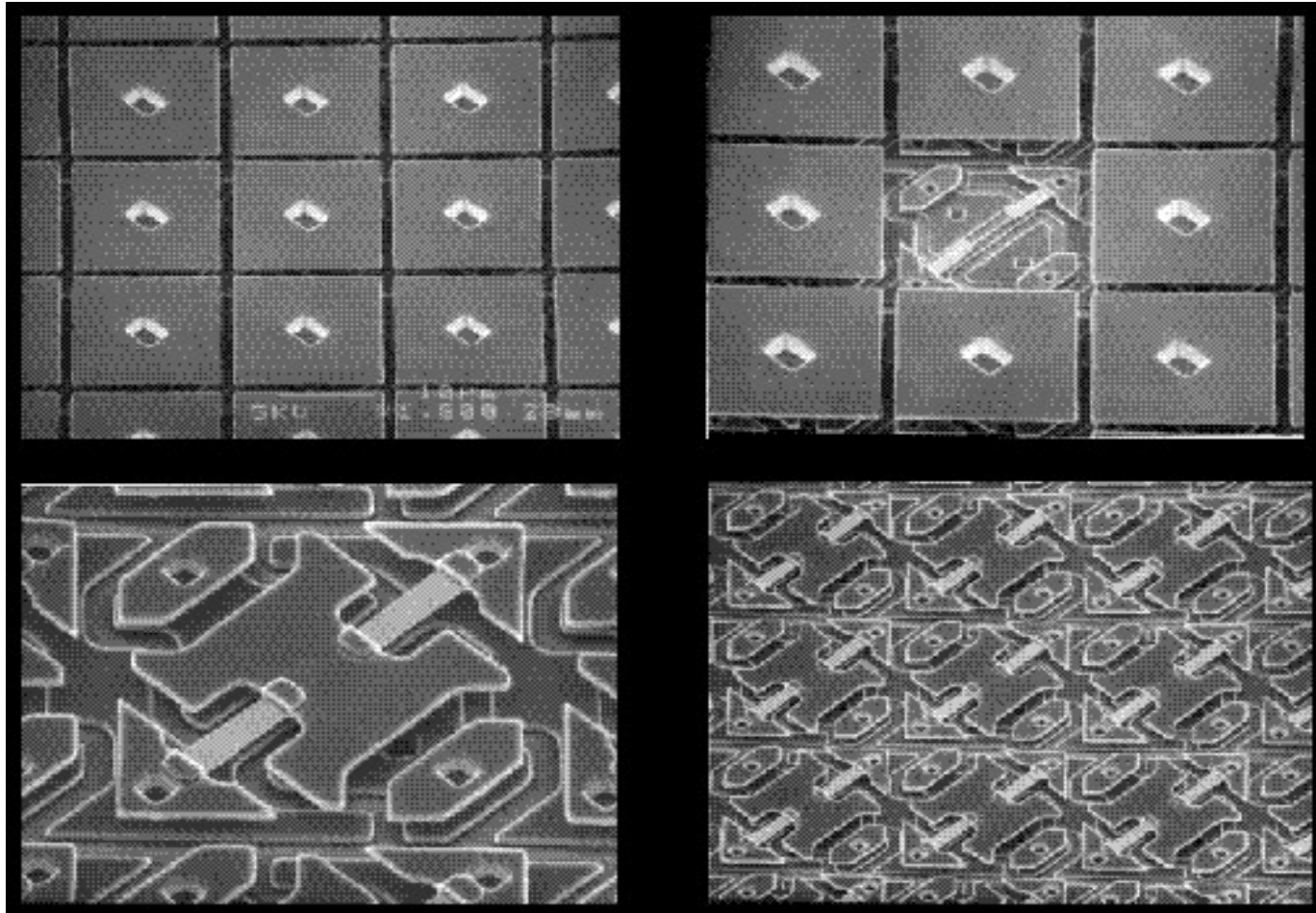
# Visor de Micro-Espelhos (DMD)



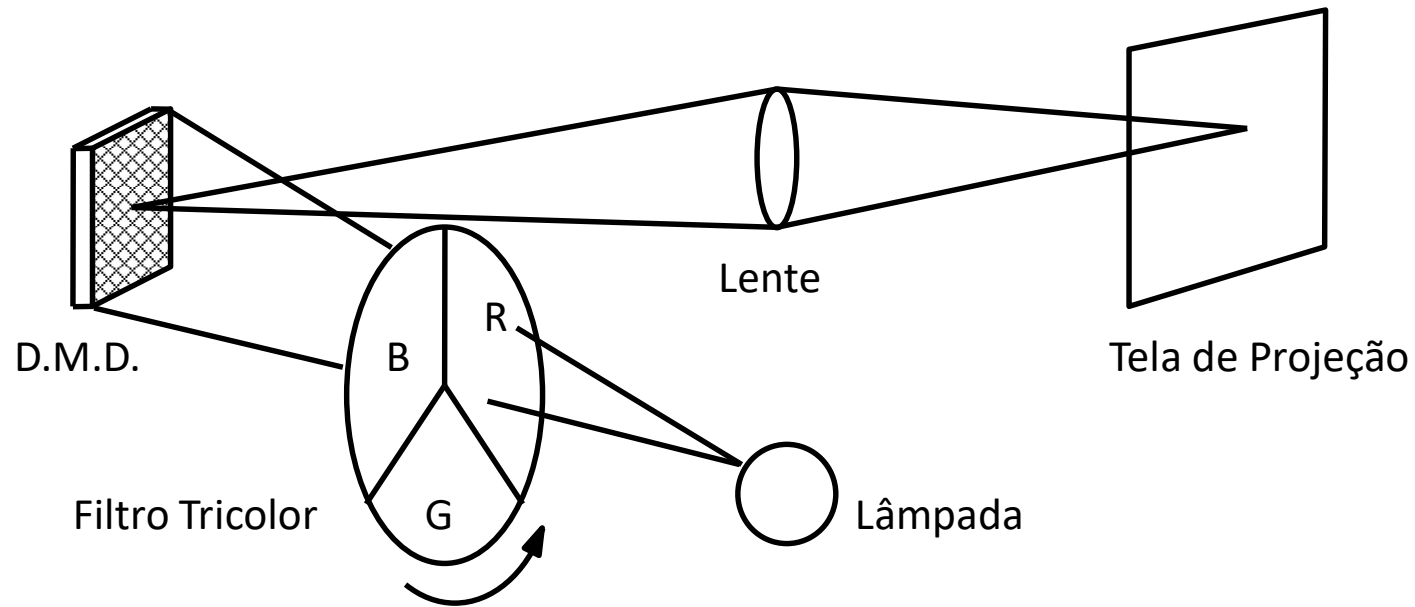
“Digital Micro-mirror Device”

# Estrutura do Micro-Espelho

*LCS*  
EPUSP



# Projektor Sequencial com Micro-Espelhos



## Painel de LEDs

# Painel de LEDs

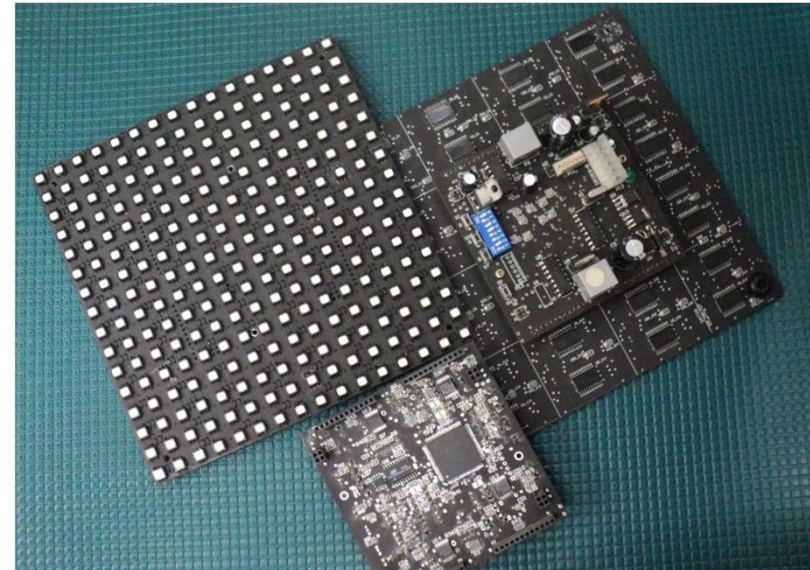
- Display matricial, emissivo, visão direta
- Alto brilho
- Passo entre pixels: 1 a 10 mm (indoor); 10 a 50 mm (outdoor)
- Baixa persistência
- Boa colorimetria
- Ângulo de visualização limitado



# Painel de LEDs



- Painel Outdoor e Cluster de LEDs



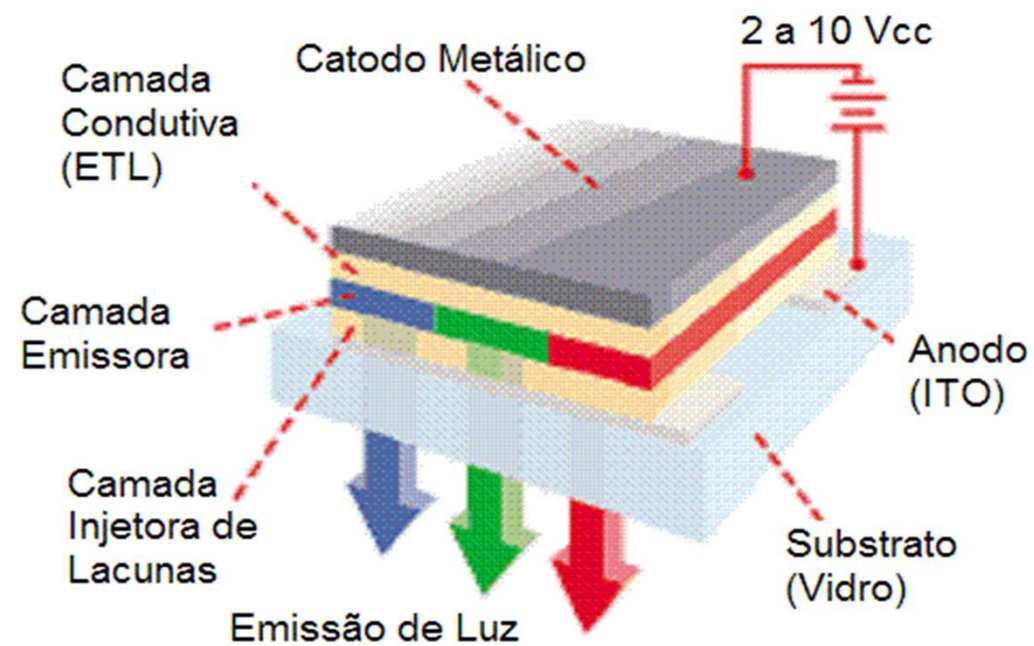
- Módulo de LEDs indoor com eletrônica de acionamento

# LED Orgânico (OLED)

- Eastman Kodak, 1987
- Display emissivo de baixa tensão
- Junção entre camadas de compostos orgânicos ou polímeros:
  - Camada condutora
  - Camada emissora
- Materiais: PPV (Poli p-Fenileno Vinileno) e Poli Fluoreno
- Matriz passiva (PMOLED) ou ativa (AMOLED)

# LED Orgânico (OLED)

*LCS*  
EPUSP

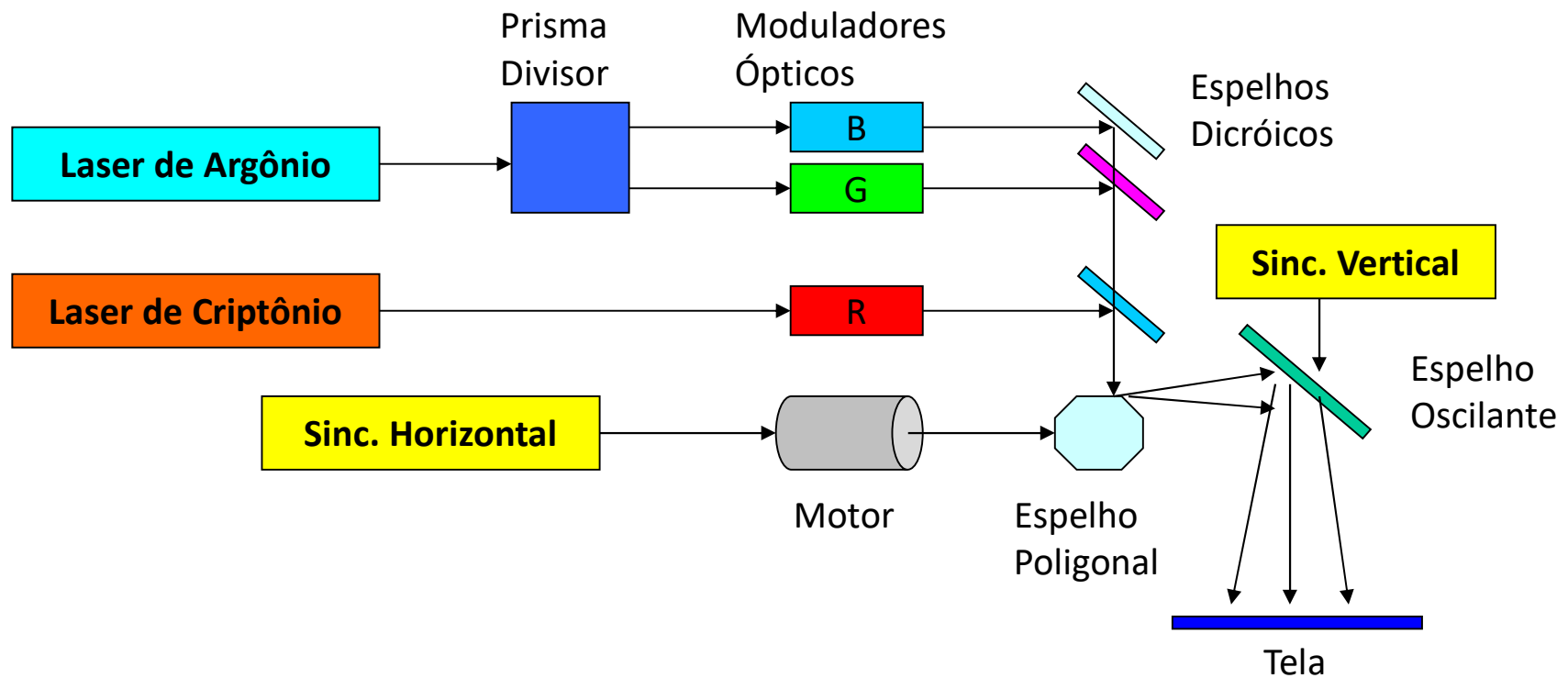


- Baixo peso, custo e consumo
  - Pode ser fabricado com técnicas de impressão (ink-jet)
  - Ângulo de visualização excelente
  - Boa colorimetria
  - Displays flexíveis e transparentes são possíveis
- 
- Baixa durabilidade (~ 5000 horas p/ OLED azul)
  - Sensível a H<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub>

# Outros Sistemas

# Sistema de Projeção a Laser

**LCS**  
EPUSP



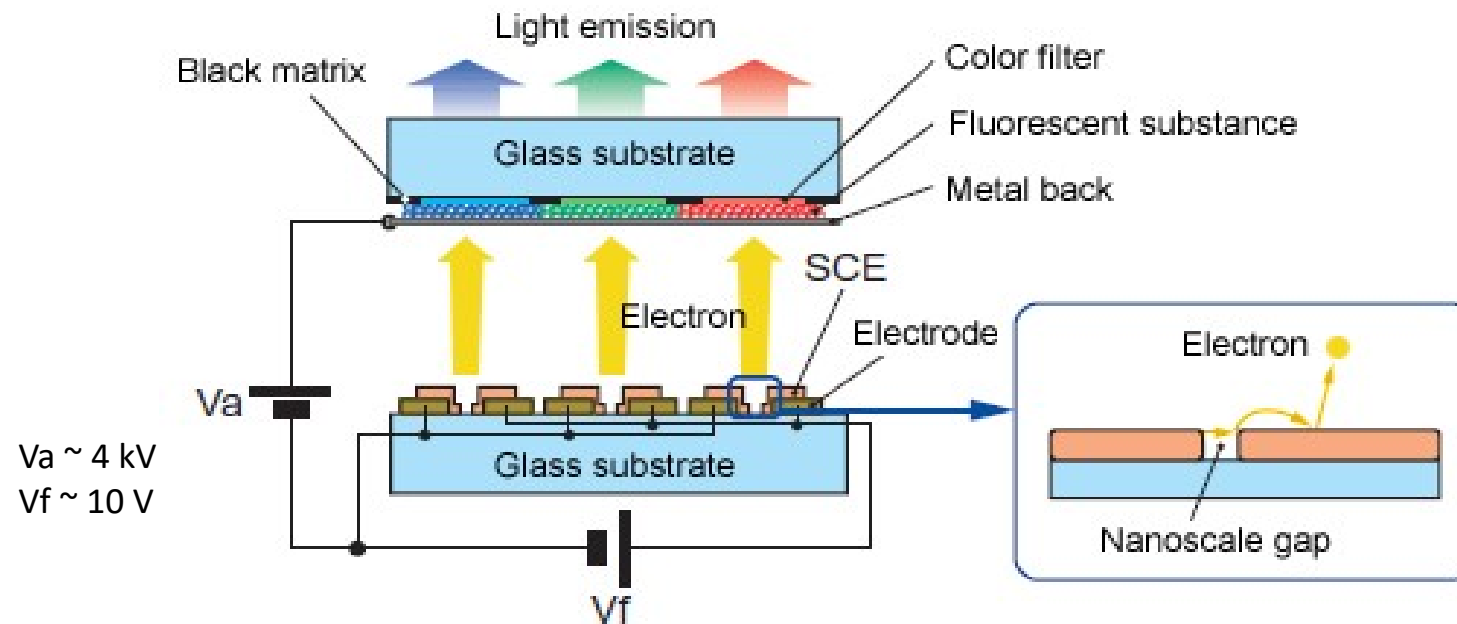
# SED (Surface-conduction Electron-emitter Display)

- Canon, Toshiba - 2004
- Protótipos p/ HDTV demonstrados em 2006
- Colorimetria, Ângulo de Visualização e tempo de resposta excelentes
- Baixo consumo, proporcional ao brilho da imagem
- Processo construtivo similar ao TRC



# SED (Surface-conduction Electron-emitter Display)

*LCS*  
EPUSP



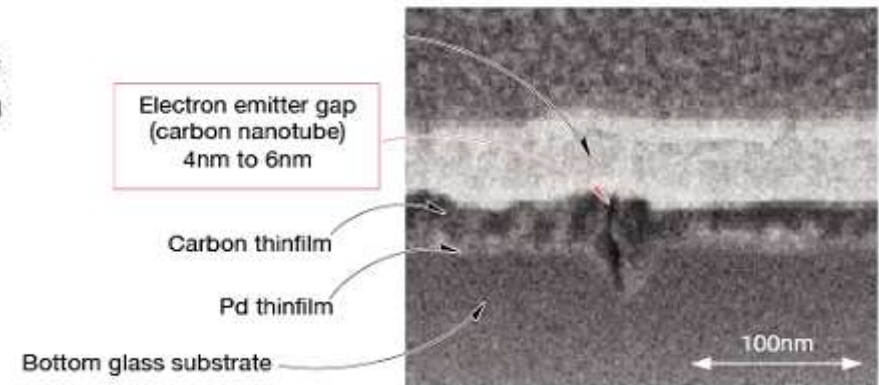
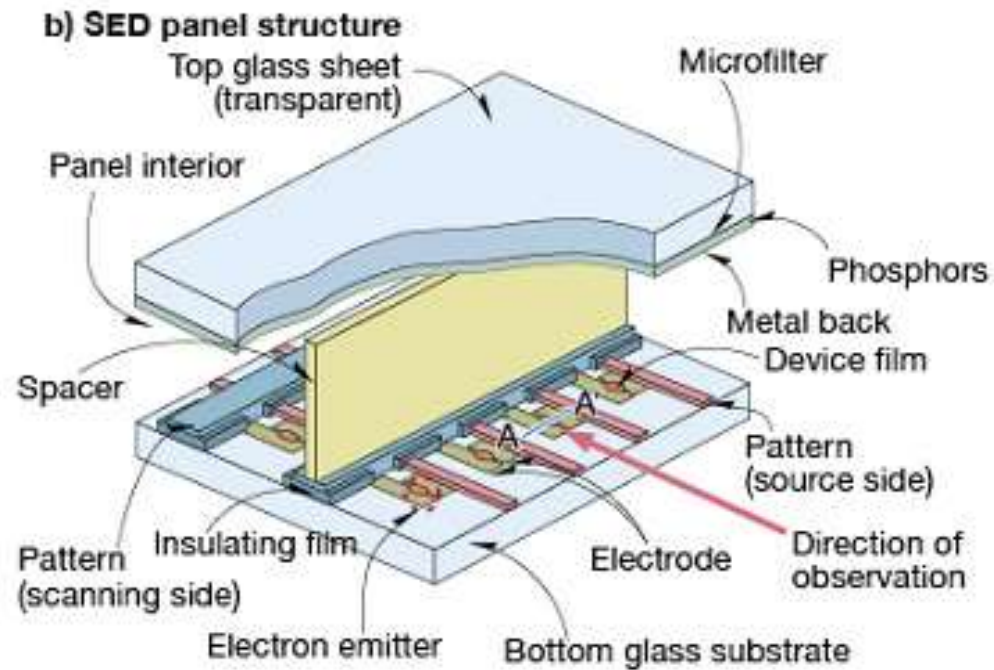
# Protótipo SED 55" (2006)

*LCS*  
EPUSP

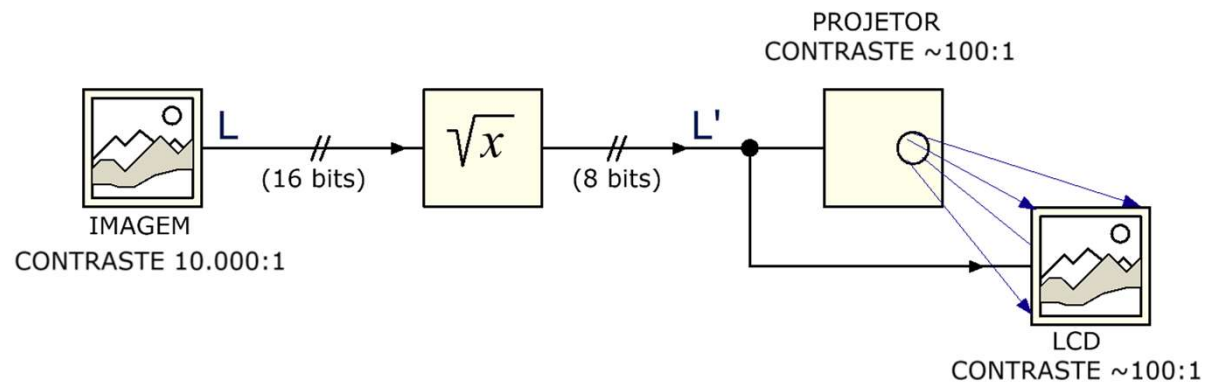


Luminância: 450 nits;  
Tempo de resposta: 1 ms  
Contraste: 50.000:1

# Detalhes Construtivos do SED



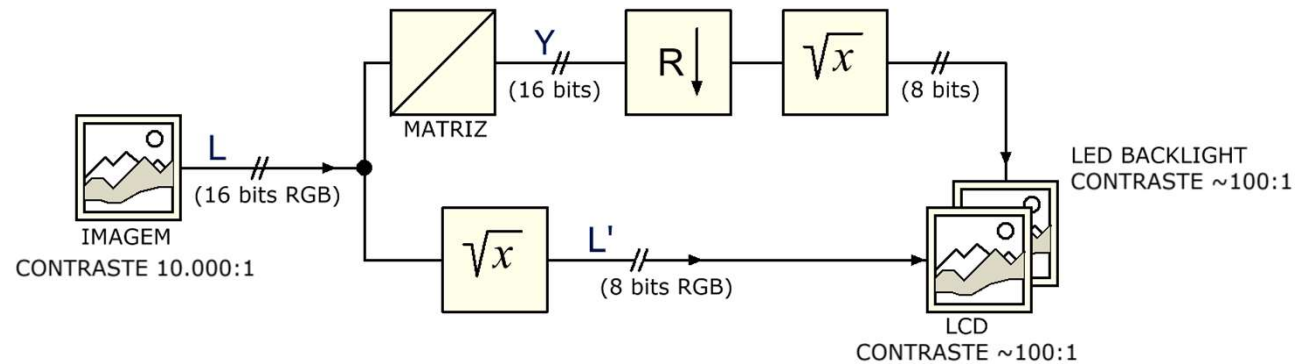
# Display HDR (High Dynamic Range)



## Projektor (ex.: DLP) + LCD Transmissivo

Objetivo: Luminância maior que 1000 nits, contraste maior que 10.000:1

# Display HDR (High Dynamic Range)

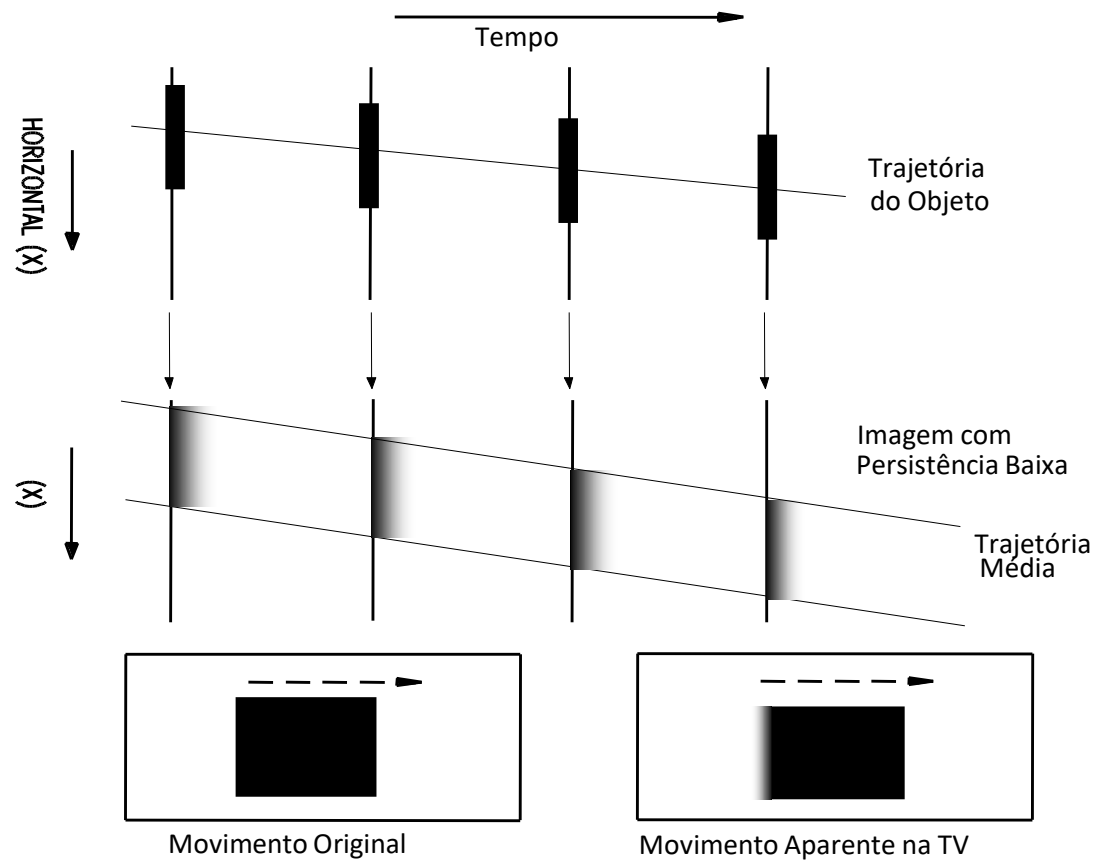


Backlight LED branco (baixa resolução)  
+ LCD Transmissivo

# Considerações Comparativas

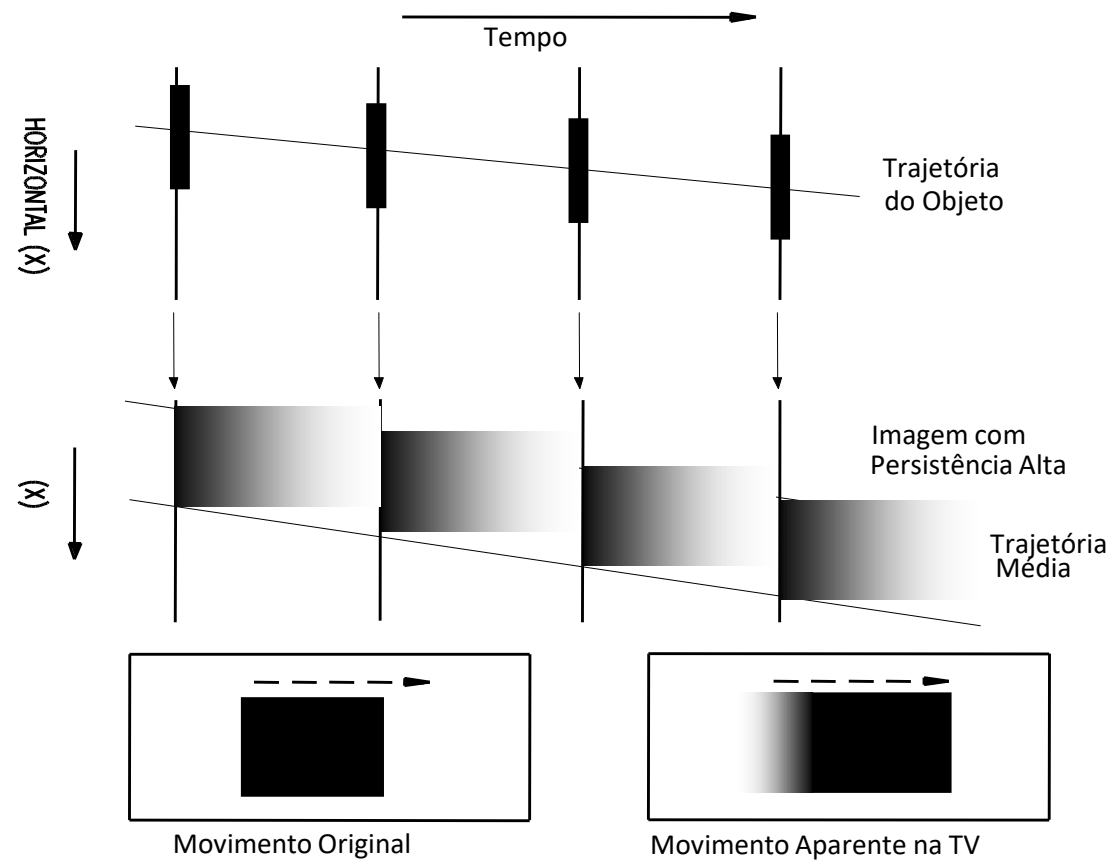
- Persistência / Tempo de Resposta
- Contraste, Nível de iluminação ambiente
- Brilho Máximo (Luminância)
- Ângulo de Visualização
- Resolução Espacial
- Homogeneidade de Cor (Local e Global)
- Fidelidade de Reprodução de Cores
- Durabilidade
- Consumo
- Custo de Fabricação e Índice de Aproveitamento

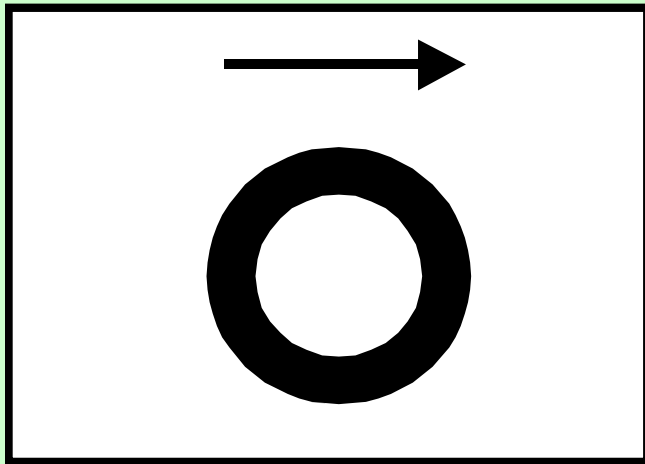
# Persistência da Imagem em um TRC



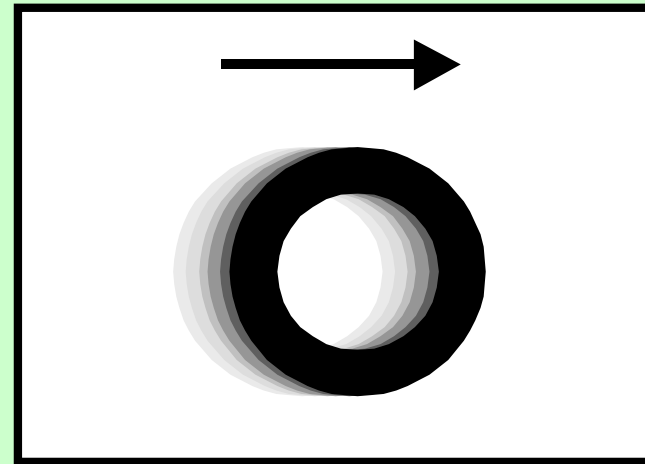


# Persistência Exponencial da Imagem



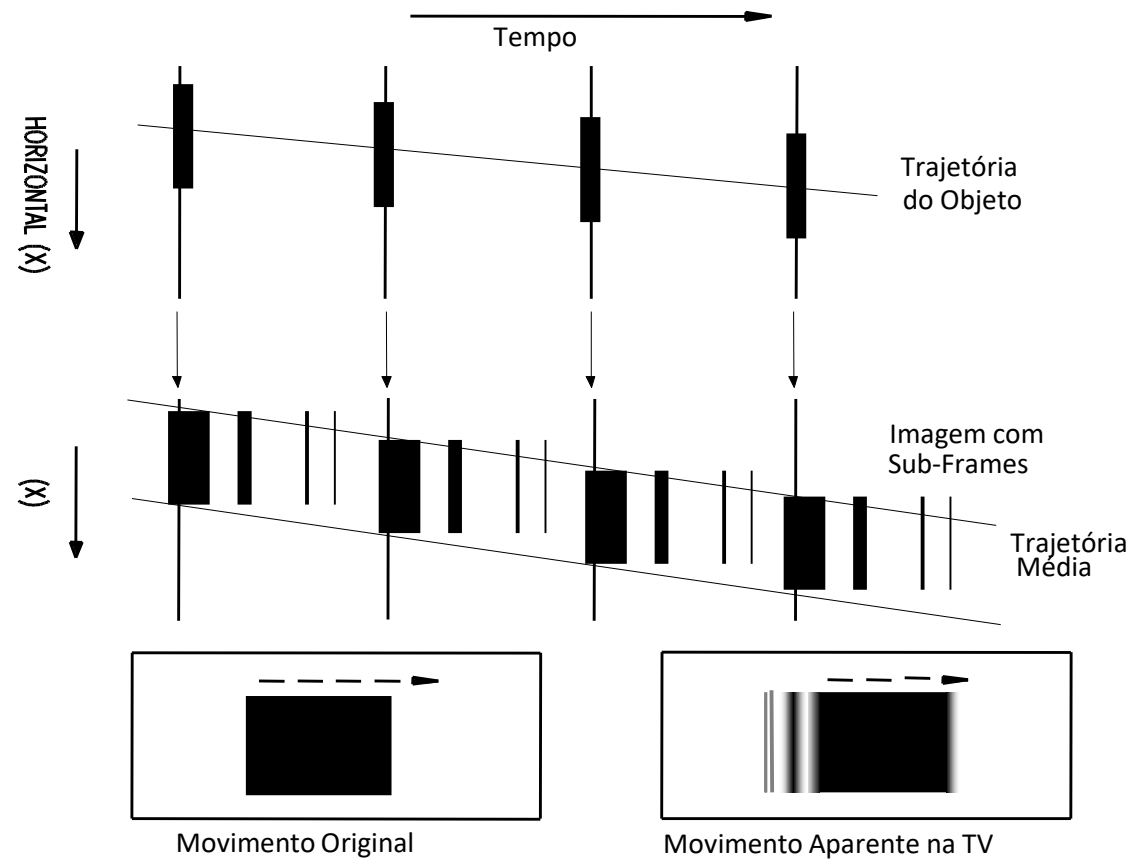


Movimento Original

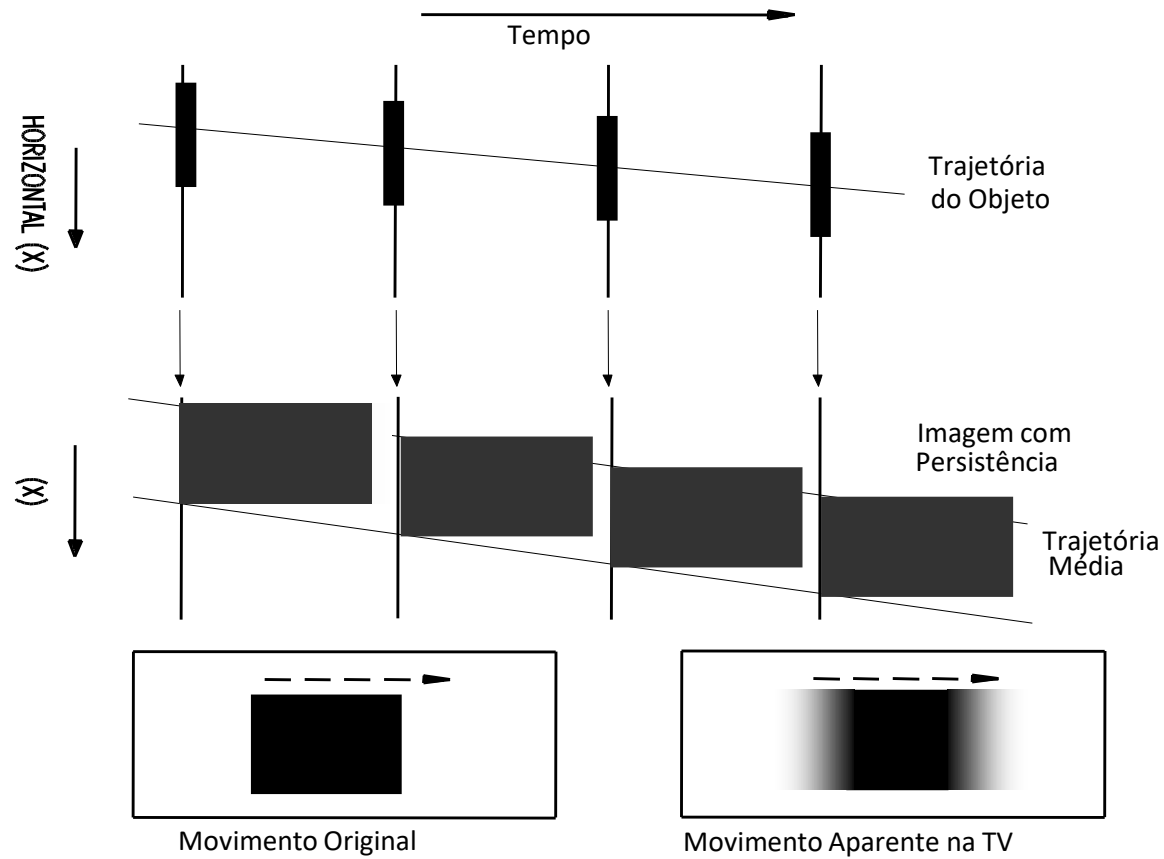


Movimento Aparente na TV

# Persistência no Visor de Plasma



# Persistência no Visor LCD



# LCD com Backlight Pulsado

