

PTC3547

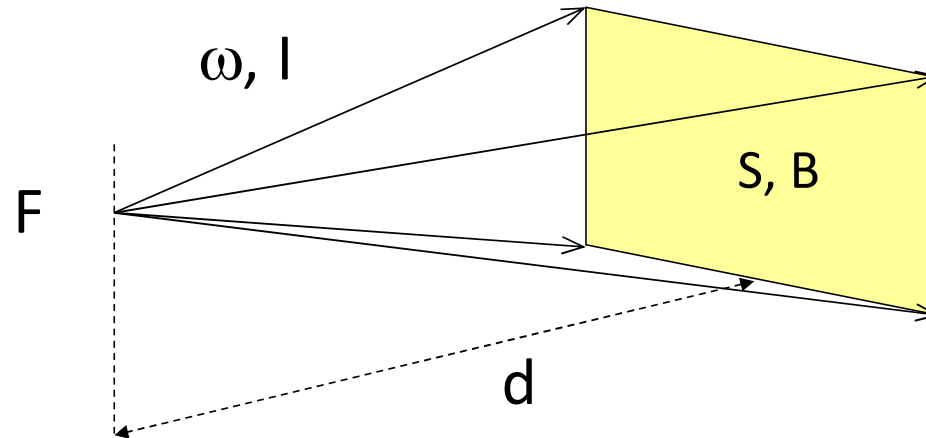
Resolução da Lista de Exercícios 1

Prof. Guido Stolfi – 05/2025

Questão 1.1: Projeção

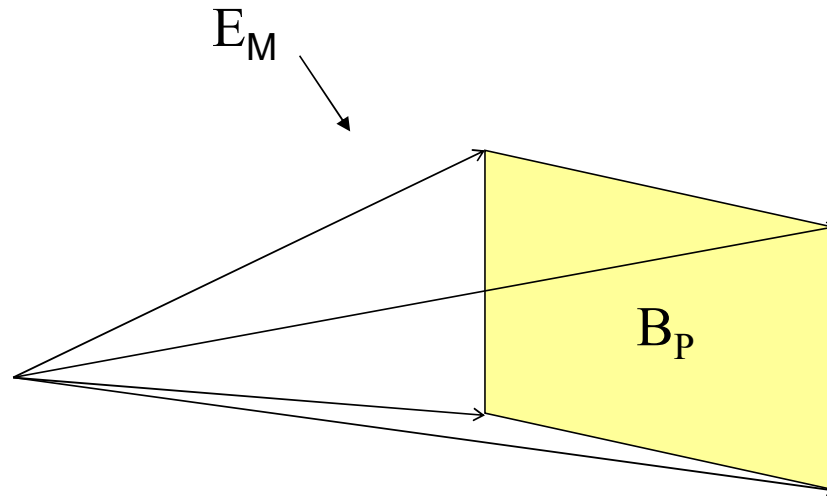
- 1.1 - Um projetor de cinema ilumina uniforme e perpendicularmente uma tela de 10 x 5 metros, situada a uma distância de 25 metros. Supondo que a refletância da tela é de 90%, em relação a um difusor ideal, e a luminância obtida na tela é 50 nits, determine:
- O fluxo luminoso do projetor (Lumens)
- A intensidade luminosa do feixe de luz emitido pelo projetor (candelas)
- O máximo iluminamento permitido no ambiente (lux) para garantir contraste de 200:1 na tela.

Questão 1.1: Projeção



- Área da Tela: $S = 10 \times 5 = 50 \text{ m}^2$; Refletância: $\rho = 0,9$; Distância: $d = 25 \text{ m}$
- Ângulo sólido do feixe de projeção: $\omega \approx S / d^2 = 0,08$ esteroradianos
- Iluminamento necessário para obter Luminância $B = 50$ nits na tela:
 - $B = \rho \times E \times 1/\pi \Rightarrow E = B \times \pi / \rho = 50 \times \pi / 0,9 \approx 175 \text{ Lux} = 175 \text{ Lumens} / \text{m}^2$
- Fluxo luminoso fornecido pelo projetor:
 - $F = E \times S = 175 \times 50 = 8750 \text{ Lumens}$
- Intensidade Luminosa do projetor:
 - $I = F / \omega = 8750 / 0,08 \approx 109400 \text{ candelas}$

Questão 1: Projeção



- Refletância da tela: $\rho = 0,9$
- Luminância da tela devida à projeção: $B_p = 50$ Nits
- Luminância residual devida ao iluminamento ambiente: $B_R = \rho \times E \times 1/\pi$
- Iluminamento ambiente máximo para contraste de 200:1 :
 - $(B_p + B_R) / B_R = 200 \Rightarrow B_p = 199 B_R \Rightarrow B_R = 50/199 = 0,25$ Nits
 - $\Rightarrow E_M = B_R \times \pi / \rho = \mathbf{0,88 \text{ Lux}}$

Questão 1.2: Contraste de Tela

- 1.2 - Uma tela de plasma apresenta, quando desligada, uma refletância de 5%. Quando ligada, emitindo intensidade máxima, a sua luminância atinge 350 *nits*. Supondo que o ambiente proporciona um iluminamento de 250 lux sobre a tela, qual será o contraste máximo proporcionado por essa tela, nesse ambiente? Considere que o contraste é igual à relação entre a luminância máxima (branco) e a luminância mínima (tela apagada, cuja luminância residual é devida ao iluminamento da tela).

Questão 1.2: Contraste de Tela

- **Luminância residual:**

$$B_O = \rho \times E \times 1/\pi = 0,1 \times 250 \times 0,318 = 7,96 \text{ nits}$$

- **Luminância máxima:**

$$B_M = 320 + 7,96 = 328 \text{ nits}$$

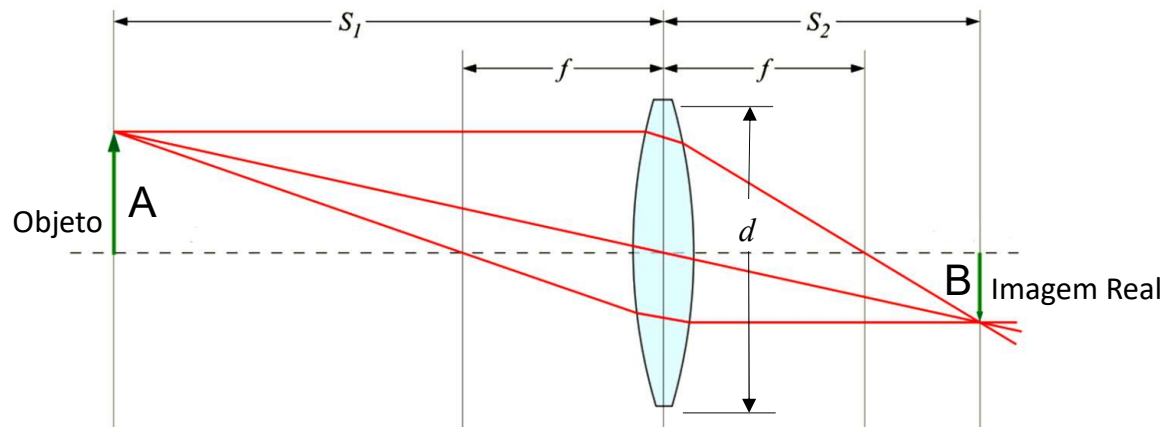
- **Contraste:**

$$C = B_M / B_O = 328 / 7,96 = \mathbf{41,2 : 1}$$

Questão 1.3 - Objetiva

1.3 – Uma objetiva com distância focal (f) de 30mm será usada para capturar uma folha A4 (~20 x 30 cm), projetando a sua imagem sobre um sensor cujas dimensões são 10 x 15 mm. Quais serão as distâncias entre a folha e a lente (y) e entre a lente e o sensor (x)?

Questão 1.3 - Objetiva



O fator de magnificação A/B é igual à relação das distâncias S_1/S_2

Quando A e B estão em foco, temos $1/S_1 + 1/S_2 = 1/f$

$$A/B = 200/10 = 300/15 = 20 = S_1/S_2 \Rightarrow S_1 = 20 S_2$$

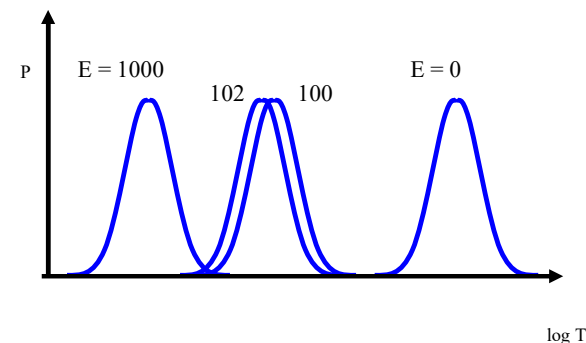
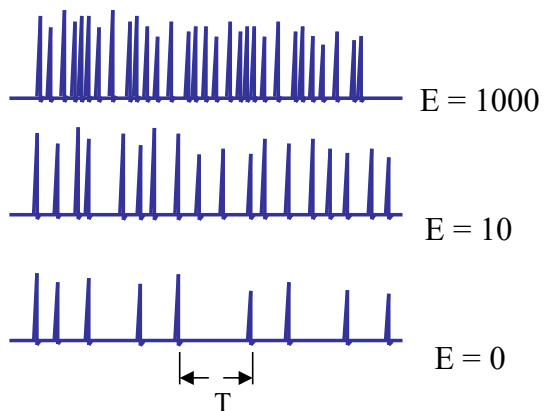
$$1/f = 1/20 S_2 + 1/S_2 \Rightarrow 1/f = 21/20 S_2 \Rightarrow S_2 = 1,05 f = \mathbf{31,5 \text{ mm}} \text{ e } S_1 = 20 S_2 = \mathbf{630 \text{ mm}}$$

Questão 2.1: Frequência Crítica

2.1 - Apresente uma justificativa neurológica para explicar porque a frequência crítica de cintilação varia de forma linear (proporcional) com o **logaritmo** da luminância.

Questão 2.1: Frequência Crítica

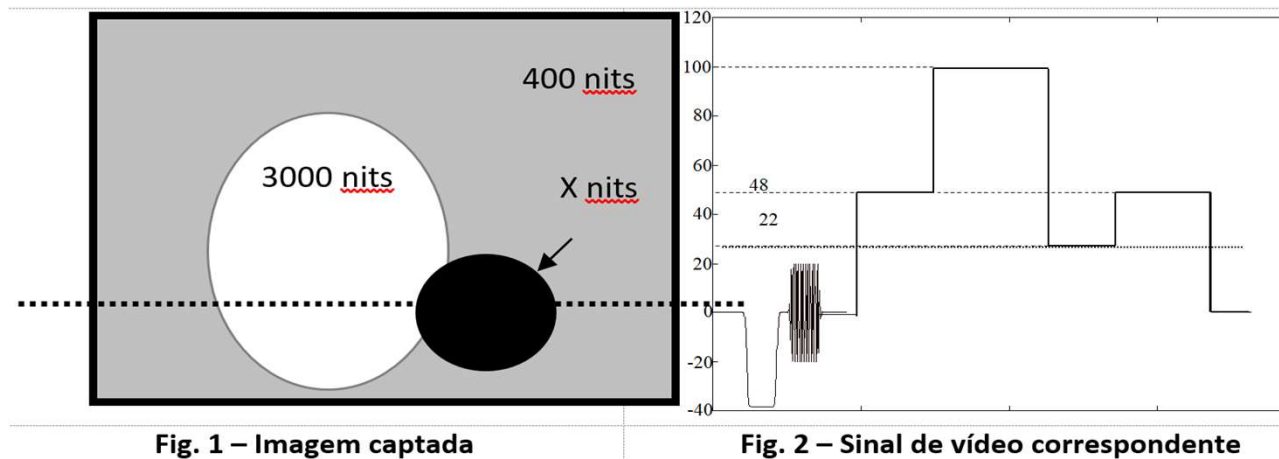
- *Frequência dos estímulos nervosos é proporcional ao logaritmo da intensidade do estímulo*
- *Tempo necessário para tomada de decisão entre 2 níveis de intensidade é inversamente proporcional à frequência média*



Questão 2.2: Fator Gama

2.2 - A imagem da Figura 1 apresenta 2 objetos, um deles com luminância de 3000 nits, sobre um fundo com luminância de 400 nits. O sinal de vídeo fornecido por uma câmera, após correção gama, ao efetuar a varredura da linha indicada na imagem da figura 1, apresenta a forma de onda da figura 2; assumindo valores de 48, 100 e 22 unidades IRE para as luminâncias dos vários objetos presentes na imagem. Determine:

- Qual é o valor do fator Gama utilizado na câmera?
- Qual a luminância X do objeto mais escuro?



Questão 2.2 – Fator Gama

a)

$$B = k \times V^\gamma$$

$$3000 = k \times 100^\gamma$$

$$400 = k \times 48^\gamma$$

$$\left(\frac{3000}{400}\right) = \left(\frac{100}{48}\right)^\gamma \rightarrow 7,5 = 2,0833^\gamma$$

$$\gamma = \frac{\log 7,5}{\log 2,0833} = \frac{0,875}{0,3188} = \mathbf{2,745}$$

Questão 2.2 – Fator Gama

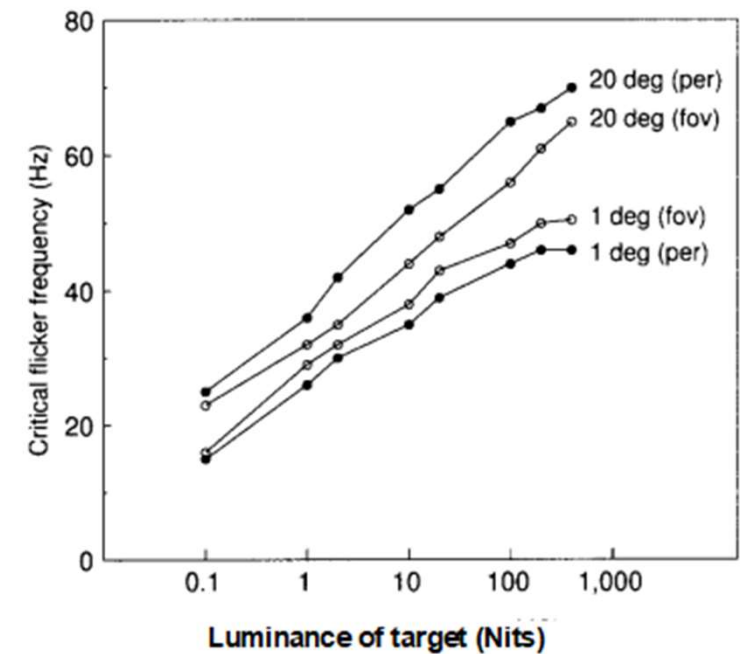
b)

$$3000 = k \times 100^{2,745} \rightarrow k = \frac{3000}{309030} = 0,0097$$

$$X = k \times 22^{2,745} = 0,0097 \times 4841 = \mathbf{47 \text{ nits}}$$

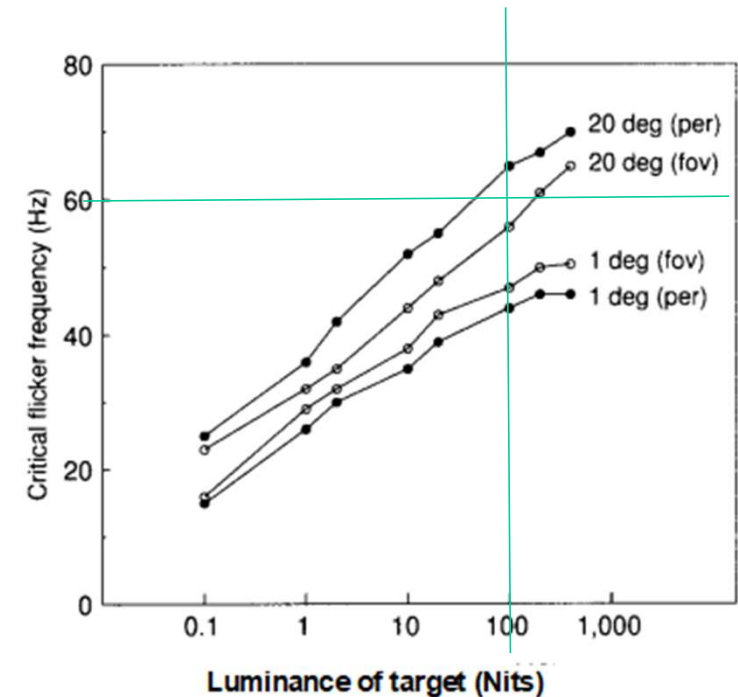
Questão 2.3 – Cintilação

- 2.3 - Afirma-se que uma das razões para o sucesso da Televisão deve-se ao fato de que a frequência de varredura vertical adotada (60 Hz) provoca cintilação na visão periférica, ou seja, a tela de uma TV atua como “chamariz”, atraindo a atenção das pessoas mesmo quando não estamos olhando para ela. Já quando olhamos diretamente para a tela com a visão central, a cintilação desaparece. Mostre se a figura abaixo dá subsídios para essa especulação, e quais seriam os níveis de luminância em que isso ocorre.



Questão 2.3 – Cintilação

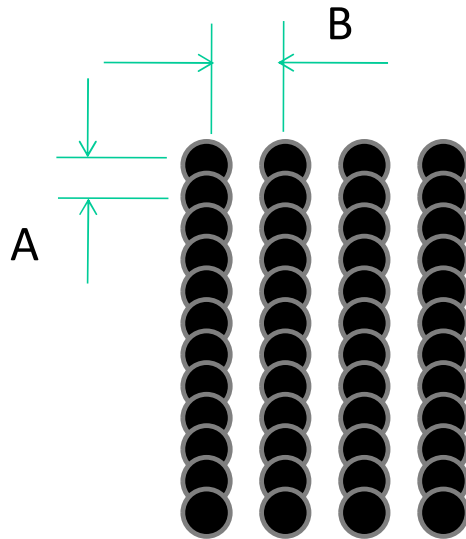
- Admitindo luminâncias da ordem de 100 nits, a frequência de 60 Hz é inferior à frequência crítica de cintilação para objetos grandes na visão periférica.
- Para a visão central, 60 Hz está acima da frequência crítica.
- Portanto, a tela será percebida com cintilação na visão periférica (o que atrai a atenção); porém a cintilação desaparece quando a tela é observada diretamente (imagem confortável na visão central).



Questão 2.4 – Acuidade Visual

2.4 - Uma impressora Laser possui resolução de 600 x 600 dpi (*dots per inch* ou pontos por polegada). Considerando o caso de uma textura impressa formada por pontos alternados (pretos e brancos), qual seria a distância abaixo da qual um observador padrão poderia discernir os pontos isoladamente? (Adote resolução limite de 1 minuto de grau).

Questão 2.4 – Acuidade Visual



$B = 1 \text{ ciclo} = 2 \text{ minutos de grau}$

$$A = 1/600'' = 25,4/600 = 0,042 \text{ mm}$$

$$B = 2/600'' = 0,084 \text{ mm}$$

Distância para que B corresponda a 2 minutos de grau:

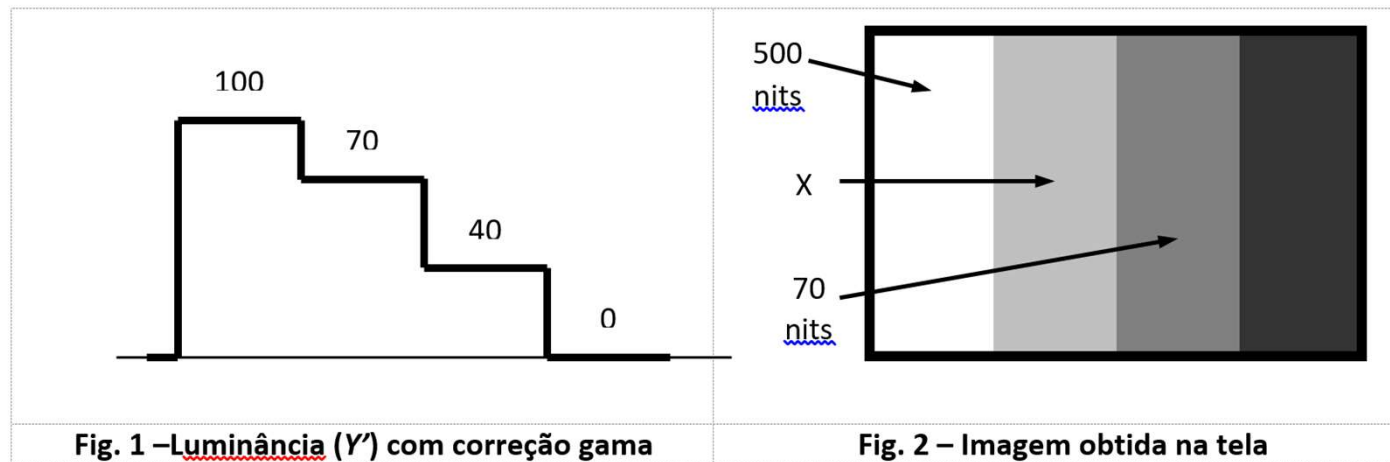
$$D \tan(\phi) = B \text{ onde } \phi = 2/60^\circ$$

$$D = B / \tan(\phi) = 0,084 / 0,00058$$

$$D = 145 \text{ mm}$$

Questão 2.5 – Fator Gama

- 2.5 - O sinal de luminância Y' da figura 1, com amplitudes de 100, 70, 40 e 0 unidades, é aplicado a um monitor de vídeo, gerando a imagem da figura 2, onde estão apresentados os valores de luminância obtidos em duas regiões da imagem. Determine:
- Qual é o valor do fator Gama deste monitor?
- Qual a luminância X da segunda faixa?



Questão 2.5 – Fator Gama

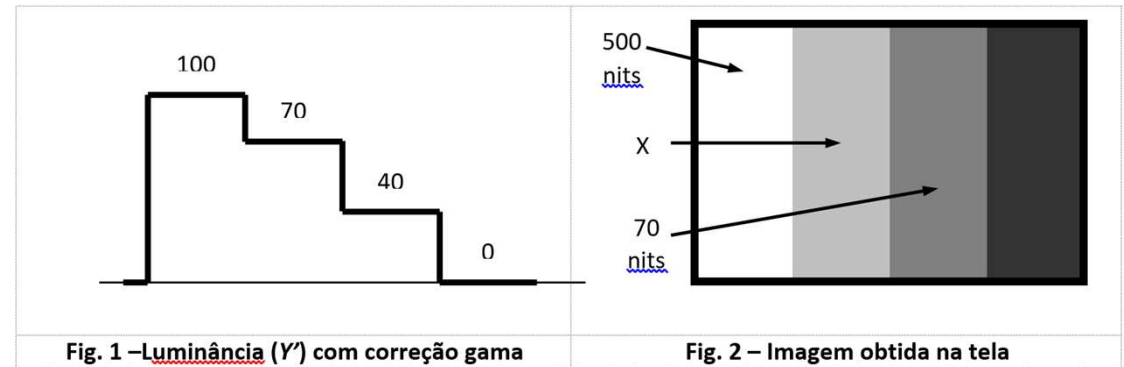
$$\begin{aligned} a) \quad 500 &= k \times 100^\gamma \\ 70 &= k \times 40^\gamma \\ \left(\frac{500}{70}\right) &= \left(\frac{100}{40}\right)^\gamma \rightarrow 7,14 = 2,5^\gamma \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{\log 7,14}{\log 2,5} = \frac{0,854}{0,398} = \mathbf{2,146}$$

$$b) \quad 500 = k \times 100^\gamma$$

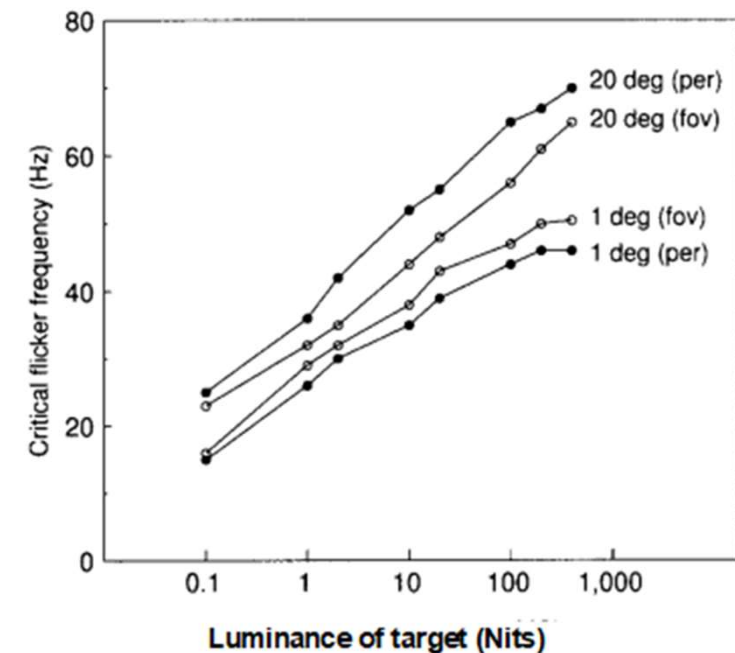
$$k = \frac{500}{100^{2,146}} = \frac{500}{19588} = 0,0255$$

$$X = k \times 70^{2,146} = 0,0255 \times 9111 = \mathbf{232 \text{ nits}}$$



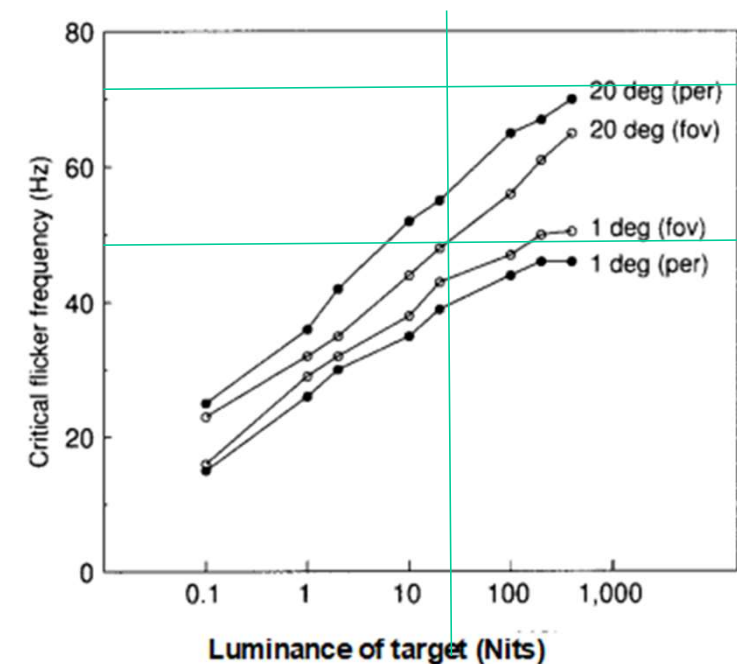
Questão 2.6 – Cintilação Cinema

- 2.6 - Para evitar o fenômeno de cintilação, o cinema utiliza a técnica de dupla exposição de cada fotograma. Desta forma, a frequência dos estímulos luminosos passa de 24 para 48 Hz, o que estaria acima da frequência crítica para baixos valores de luminância da imagem. No entanto, há uma tendência de se aumentarem os níveis de luminosidade dos projetores, tornando a imagem mais nítida e com melhor reprodução de cores. A partir de que nível de luminância seria necessário usar **tripla** exposição de cada fotograma? (use o gráfico da questão 2.3.)



Questão 2.6 – Cintilação Cinema

- Pela curva relativa a objetos grandes (~20 graus) na visão central (fóvea), a partir de ~25 *nits* já seria perceptível alguma cintilação, tornando desejável o uso de tripla exposição (72 Hz), que resolveria o problema até luminâncias maiores que 1000 *nits*.



Questão 2.7 – percepção de Movimento

- 2.7 - Comente a influência da persistência temporal de um dispositivo de apresentação de imagem (p. ex. tela de monitor) na percepção de movimento **retinal**.
- R: A percepção de movimento retinal (no qual a imagem projetada de um objeto move-se sobre a retina) caracteriza-se por baixa resolução espacial. O objeto não é percebido em detalhes. Se a persistência do monitor for menor ou igual ao período da taxa de repetição de imagens, não haverá influência significativa sobre a percepção do movimento. Para persistências muito altas, será visível um “rastro” formado pela superposição de imagens sucessivas do objeto.
- Por outro lado, o caso da percepção de movimento ocular, a persistência causa sempre uma perda de resolução espacial, pelo movimento relativo entre a trajetória do olho e a imagem apresentada na tela.

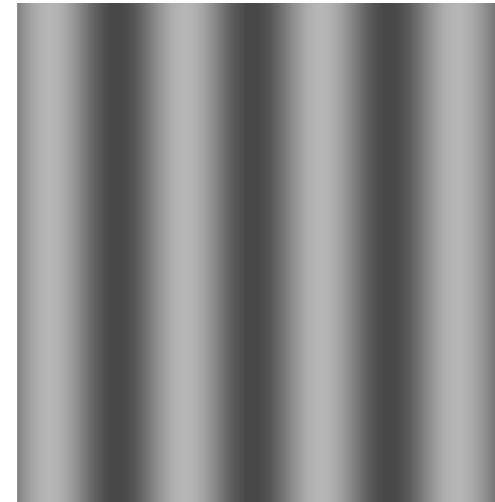
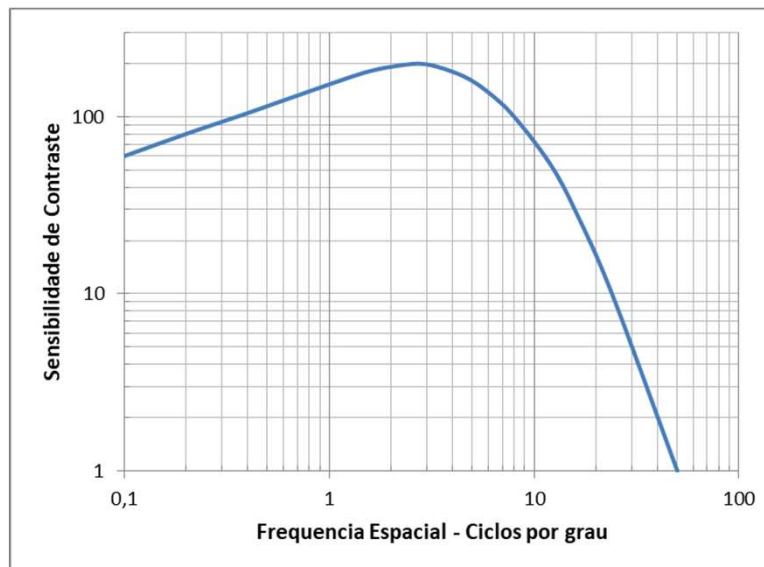
Questão 2.8 – Acuidade Visual

2.8 -A imagem ao lado consiste de barras claras e escuras, a uma distância de 1 cm uma da outra. Suponha que o contraste dessa imagem é de 25%, ou seja,

$$C = \frac{I_{MAX} - I_{MIN}}{I_{MAX} + I_{MIN}} = 0,25$$

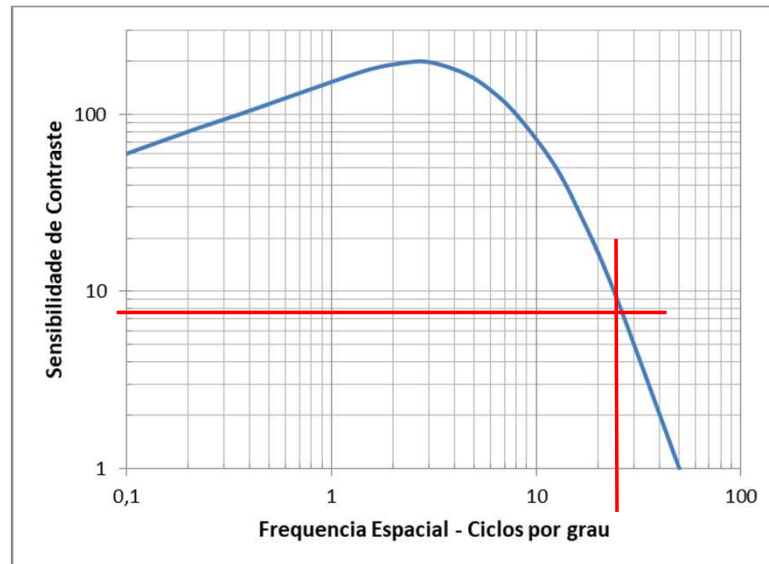
Onde I_{MAX} e I_{MIN} são as luminâncias máxima e mínima desse padrão.

Já o gráfico abaixo mostra a resposta em frequência espacial da visão humana, para um observador normal, em condições de boa iluminação. Pede-se então: Qual a distância do observador para a qual esse padrão de barras atinge o limiar de visibilidade (contraste percebido igual a 2%)?



Questão 2.8 – Acuidade Visual

Para que um padrão linear seja visível, seu contraste percebido deve ser maior que 2%. Portanto, devemos achar o ponto na curva de Sensibilidade de Contraste para o qual a visão tenha sensibilidade de 8%, já que $8\% \times 25\% = 2\%$:



Encontramos a frequência angular de aproximadamente 25 ciclos por grau. Ou seja, nessa frequência angular, um padrão com contraste original de 25% será percebido com apenas 2%, estando no limite de resolução de contraste.

Como o padrão tem um período espacial de 2 centímetros (duas barras por ciclo), a distância de observação na qual essa dimensão corresponde a $1/25$ de grau é dada por:

$$D = \frac{P}{\tan(\varphi)} = \frac{2}{0,0007} = 2865 \text{ cm} \approx 29\text{m}$$

Questão 3.1 – Varredura HDTV

3.1 - Um dos formatos de vídeo para TV de alta definição (HDTV) é caracterizado pelos parâmetros abaixo:

- Resolução da Imagem Visível (pixels / linhas): 1920 x 1080 (H x V)
- Frequência de amostragem dos pixels: 74,176 MHz (Mpixels/s)
- Frequência de varredura Horizontal: 33,7164 kHz
- Frequência de Varredura Vertical: 59,94 Hz

- a) Determine os tempos de retraço (apagamento) horizontal e vertical;
- b) Este formato é entrelaçado ou progressivo? Porque?

Questão 3.1 – Varredura HDTV

Resolução da Imagem Visível (pixels / linhas):	1920 x 1080 (H x V)
Frequência de amostragem dos pixels:	74,176 MHz (Mpixels/s)
Período de cada pixel:	$1/74,176 \text{ MHz} = 13,4814 \text{ ns/pixel}$
Duração da parte ativa da linha:	$T_{ah} = 1920 \times 13,4814 \text{ ns} = 25,8844 \mu\text{s}$
Frequência de varredura Horizontal:	33,7164 kHz
Duração total de uma linha:	$T_h = 1/33,7164 \text{ kHz} \Rightarrow 29,6592 \mu\text{s/linha}$
Duração do retraço horizontal:	$T_{rh} = T_h - T_{ah} = 29,6592 - 25,8844 = 3,7748 \mu\text{s}$
Formato Entrelaçado, pois:	$F_h / F_v = 33716,4/59,94 = 565,5$ é metade um número ímpar.
Frequência de Varredura Vertical:	59,94 Hz
Duração total de um campo:	$T_v = 1/59,94 = 16,6834 \text{ ms}$
Linhas ativas:	$N_{ha} = 1080/2 = 540$
Duração das linhas ativas:	$T_{av} = 540 \times T_h = 540 \times 29,6592 \mu\text{s} = 16,016 \text{ ms}$
Duração do retraço vertical:	$T_{rv} = T_v - T_{av} = 16,6834 - 16,016 = 667,4 \mu\text{s} (22,5 \text{ linhas})$

Questão 3.2 – Varredura HDTV / Cinema

3.2 - Um formato de vídeo para exibição de cinema em TV de alta definição (HDTV) é caracterizado pelos parâmetros abaixo:

- Resolução da Imagem Visível (pixels / linhas): 1920 x 1080 (H x V)
- Frequência de amostragem dos pixels: 74,25 MHz (Mpixels/s)
- Frequência de varredura Horizontal: 27,0 kHz
- Frequência de Varredura Vertical: 24 Hz

- Determine os tempos de retraço (apagamento) horizontal e vertical, verificando a relação entre as frequências de amostragem e de varredura;
- Este formato é entrelaçado ou progressivo? Porquê?

Questão 3.2 – Varredura HDTV / Cinema

Resolução da Imagem Visível (pixels / linhas):	1920 x 1080 (H x V)
Frequência de amostragem dos pixels:	74,25 MHz (Mpixels/s)
Período de cada pixel:	$1/74,25 \text{ MHz} = 13,47 \text{ ns/pixel}$
Duração da parte ativa da linha:	$T_{ah} = 1920 \times 13,47 \text{ ns} = 25,862 \text{ } \mu\text{s}$
Frequência de varredura Horizontal:	27,0 kHz
Duração total de uma linha:	$T_h = 1/27,0 \text{ kHz} \Rightarrow 37,037 \text{ } \mu\text{s/linha}$
Duração do retraço horizontal:	$T_{rh} = T_h - T_{ah} = 37,037 - 25,862 = 11,175 \text{ } \mu\text{s}$
 Frequência de Varredura Vertical:	 24 Hz
Duração total de um quadro:	$T_v = 1/24 = 41,667 \text{ ms}$
Duração das linhas ativas:	$T_{av} = 1080 \times T_h = 1080 \times 37,037 \mu\text{s} = 40 \text{ ms}$
Duração do retraço vertical:	$T_{rv} = T_v - T_{av} = 41,667 - 40 = 1,667 \text{ ms (45 linhas)}$
 Formato Progressivo, pois:	 $F_h / F_v = 27000/24 = 1125$ é um número inteiro.

Questão 4.1 - Colorimetria

4.1 - Temos à disposição um LED azul e um LED amarelo, cujas características de emitância espectral são dadas abaixo. Deseja-se obter um fluxo luminoso o mais próximo possível da cor branca, combinando o fluxo desses dois LED's.

- Qual a proporção relativa das correntes para cada LED nessa situação?
- Quais as coordenadas de cromaticidade da luz resultante?

LED	λ (nm)	Fluxo para $I = 20\text{mA}$
Azul	490	40 mcd
Amarelo	580	25 mcd

Questão 4.1 - Colorimetria

Vamos calcular as quantidades de X, Y e Z emitidas por cada LED para $I = 20 \text{ mA}$.

O fluxo em lumens é dado por $F = 683 \times V(\lambda) \times P$, portanto obtemos inicialmente

$$P = F / (683 V(\lambda)) = F / (683 y(\lambda))$$

Em seguida, usando as funções de cromaticidade x , y e z obtemos os valores de X, Y e Z.

Finalmente, obtemos as coordenadas de cromaticidade fazendo $x = X / (X + Y + Z)$ e $y = Y / (X + Y + Z)$

LED	λ (nm)	Fluxo para $I = 20 \text{ mA}$	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$P(\mu\text{W})$	$X(\mu\text{W})$	$Y(\mu\text{W})$	$Z(\mu\text{W})$	x	y
Azul	490	40 mcd	0,0320	0,2080	0,4652	281	9,00	58,6	131	0,045	0,295
Amarelo	580	25 mcd	0,9163	0,8700	0,0017	42,1	38,6	36,6	0,08	0,512	0,486

A reta que une os dois pontos (Azul e Amarelo) contém todas as cores que podem ser realizadas misturando esses dois LEDs. O ponto mais próximo do branco tem coordenadas $\approx (0,275 \ 0,400)$.

Questão 4.1 - Colorimetria

Seja A a corrente relativa aplicada ao LED azul, considerando o LED amarelo com corrente unitária; a luz total emitida terá as seguintes componentes:

$$X_T = 9,0 A + 38,6$$

$$Y_T = 58,6 A + 36,6$$

$$Z_T = 131 A + 0,08$$

As coordenadas de cromaticidade da luz total serão:

$$x = \frac{9,0 A + 38,6}{(9,0 + 58,6 + 131)A + (38,6 + 36,6 + 0,08)} = \frac{9,0A + 38,6}{198,6A + 75,3}$$

$$y = \frac{58,6 A + 36,6}{(9,0 + 58,6 + 131)A + (38,6 + 36,6 + 0,08)} = \frac{62,2A + 38,9}{198,6A + 75,3}$$

Escolhendo a primeira equação e igualando à coordenada x desejada, temos

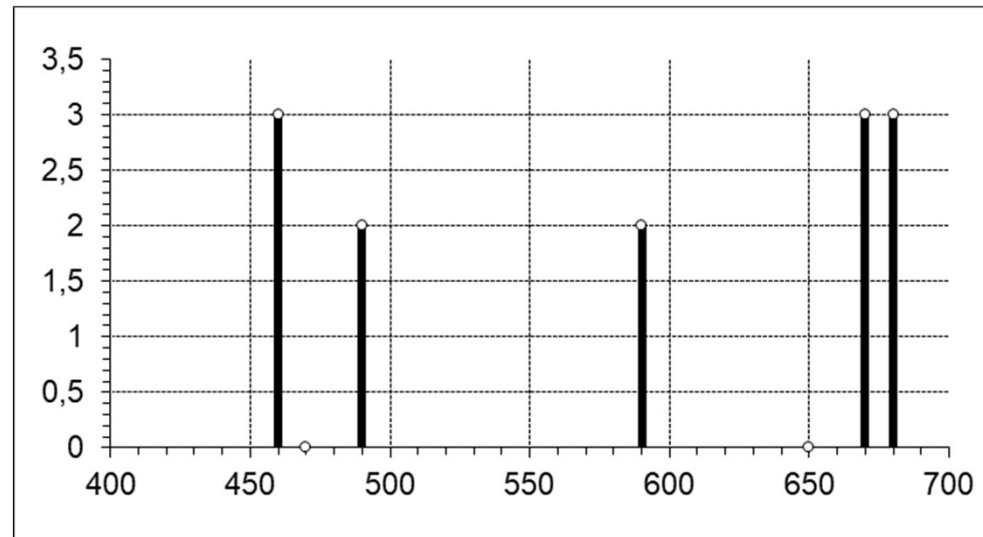
$$0,275 = \frac{9,0A + 38,6}{198,6A + 75,3} \rightarrow 54,6A + 20,7 = 9,0A + 38,6 \rightarrow 45,6A = 17,9 \rightarrow A = \frac{17,9}{48,4} = 0,39$$

Portanto, se o LED amarelo operar com 20 mA, o LED azul deverá operar com 7,8 mA .

Questão 4.2 – Colorimetria de Lâmpada a Gás

4.2 - Uma lâmpada a gás possui emitância espectral dada pelo gráfico abaixo:

- **a)** Quais as coordenadas de cromaticidade (x, y) correspondentes à cor da luz emitida? (use as tabelas das funções de cromaticidade da apostila).
- **b)** Qual o comprimento de onda dominante, e qual a cor aparente da luz emitida por essa lâmpada? (desenhe no gráfico de cromaticidade abaixo)



Questão 4.2 – Colorimetria de Lâmpada a Gás

Componente		Funções de Cromaticidade					
λ (nm)	$P(\lambda)$	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	X	Y	Z
460	3	0,2908	0,0600	1,6692	0,8724	0,18	5,008
490	2	0,0320	0,2080	0,4652	0,064	0,416	0,9304
590	2	1,0263	0,7570	0,0011	2,0526	1,514	0,0022
670	3	0,0874	0,0320	0,00	0,2622	0,096	0,00
680	3	0,0468	0,0170	0,00	0,1404	0,051	0,00
Componentes Totais					3,392	2,257	5,941

Coordenadas de Cromaticidade:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} = \frac{3,392}{3,392 + 2,257 + 5,941} = \frac{3,392}{11,59} = 0,292$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} = \frac{2,257}{11,59} = 0,195$$

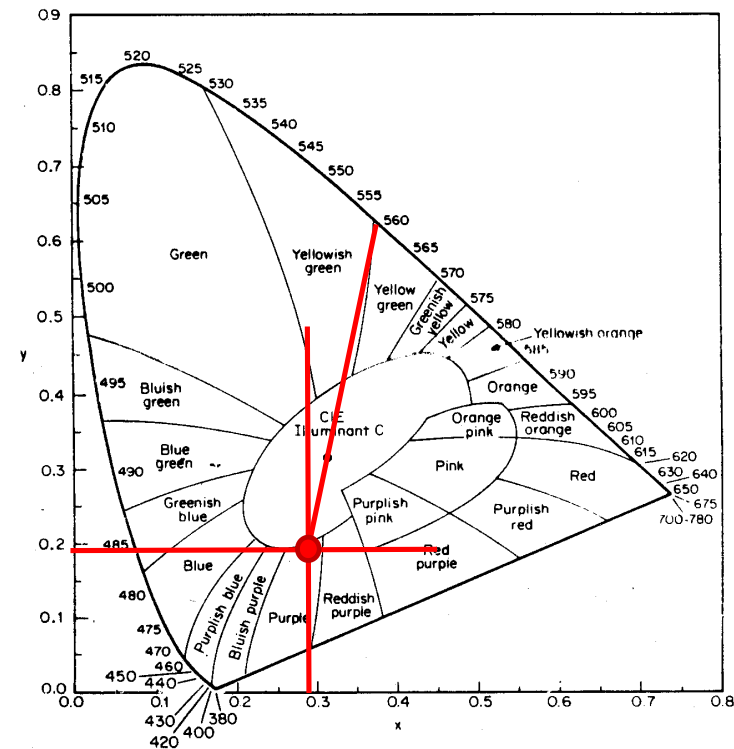
Questão 4.2 – Colorimetria de Lâmpada a Gás

- Coordenadas de Cromaticidade:

$$x = 0,292$$

$$y = 0,195$$

- A cor é “púrpura”
- O comprimento de onda dominante (complementar) é ~560 nm.



Questão 4.3 – Espaços de Crominância

4.3 - Praticamente todo display colorido produz a imagem através da emissão independente dos 3 estímulos primários R' , G' e B' . Considerando que as respectivas amplitudes de entrada possam variar de 0 a 1, todas as cores produzidas estarão contidas dentro de um cubo de aresta 1 no espaço dos 3 estímulos, conforme indicado na fig. 1. O ponto $K = (0, 0, 0)$ corresponde ao preto, e o ponto $W = (1, 1, 1)$ corresponde ao branco.

Por outro lado, quando a informação é codificada na forma de componentes analógicas (Y' , P_B' e P_R'), como é o caso do padrão SMPTE 274M, a componente Y' pode variar de 0 a 1, enquanto as componentes P_B' e P_R' variam de -0,5 a +0,5. O espaço definido por estas componentes está representado na fig. 2. No entanto, nem todos os sinais contidos nesse espaço podem ser convertidos para RGB ; existem muitas combinações ilegais de componentes que produziram valores negativos para R' , G' e/ou B' . Os sinais “legais” compreendem então um subconjunto do espaço Y' , P_B' e P_R' , delimitado pelos vértices correspondentes aos da fig.1, convertidos para o espaço da fig. 2.

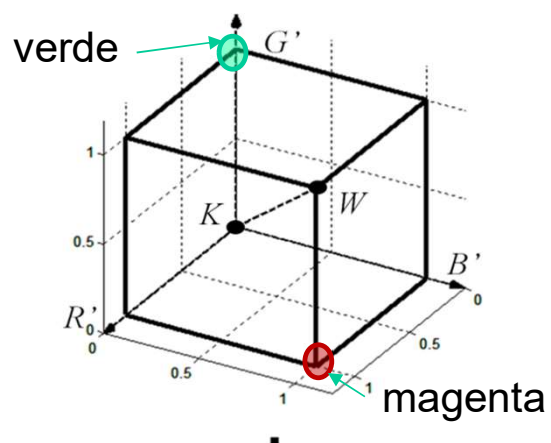


Fig. 1 = Espaço $R' G' B'$

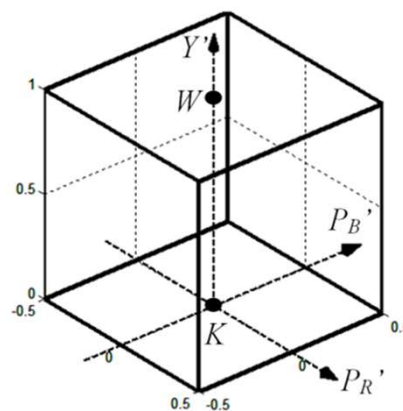


Fig. 2 = Espaço Y', P_R', P_B'

Questão 4.3 – Espaços de Crominância

- Pede-se então:
 - Avalie e determine qual das figuras abaixo (fig. 3, 4, 5 ou 6) corresponde ao conjunto de sinais permissíveis dentro do espaço Y' , P_B' e P_R' (explique e demonstre);
 - Assinale nessa figura (e também na figura 1) o vértice correspondente à cor magenta.

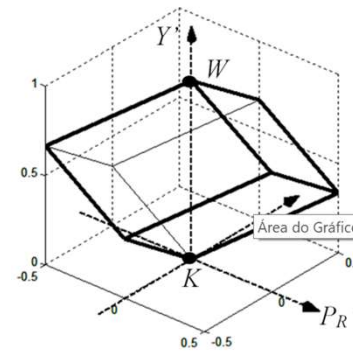


Fig 3

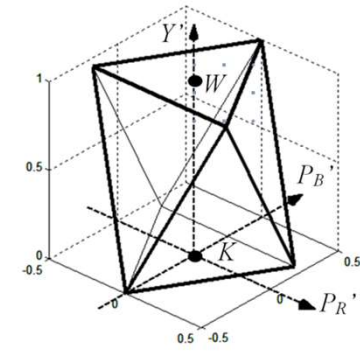


Fig.4

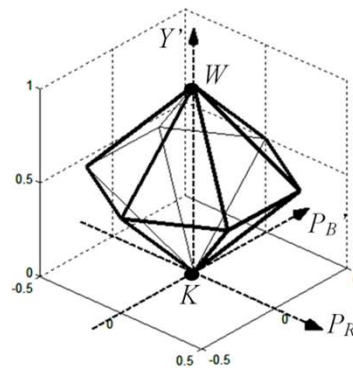


Fig. 5

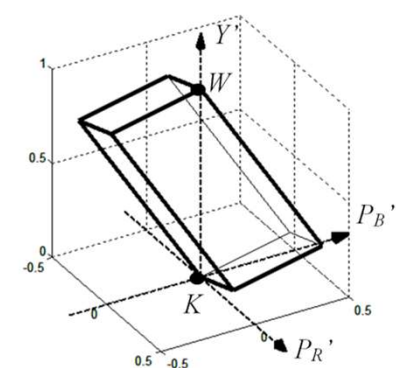


Fig. 6

Questão 4.3 – Espaços de Crominância

$$\begin{aligned}Y' &= 0.2126 R' + 0.7152 G' + 0.0722 B' \\P'_B &= -0.1146 R' - 0.3854 G' + 0.5 B' \\P'_R &= 0.5 R' - 0.4541 G' - 0.0458 B'\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R' &= 1Y' + 0.0P'_B + 1.5748 P'_R \\G' &= 1Y' - 0.1873 P'_B - 0.4681 P'_R \\B' &= 1Y' + 1.8556 P'_B + 0.0P'_R\end{aligned}$$

$$\text{Magenta} = 1 R' + 0 G' + 1 B'$$

$$Y' = 0,2126 + 0,0722 = 0,2848$$

$$P'_B = -0,1146 + 0,5 = 0,3854$$

$$P'_R = 0,5 - 0,0459 = 0,4541$$

$$\text{Verde} = 0 R' + 1 G' + 0 B'$$

$$Y' = 0,7152$$

$$P'_B = -0,3854$$

$$P'_R = -0,4541$$

Questão 4.3 – Espaços de Crominância

Como as transformações $(R', G' e B') \leftrightarrow (Y', P_B' e P_R')$ são lineares, os espaços devem ser semelhantes; as figuras 4 e 5 são eliminadas por não corresponderem ao espaço cúbico $(R', G' e B')$.

Conferindo as coordenadas calculadas para os pontos opostos (magenta e verde), eliminamos a figura 3, restando a figura 6 como a solução correta.

Os vértices correspondentes estão assinalados.

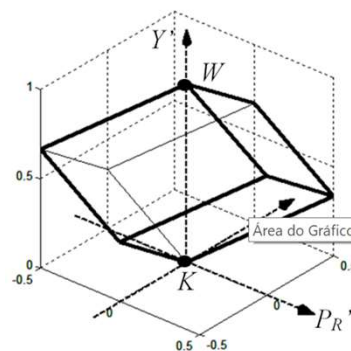


Fig. 3

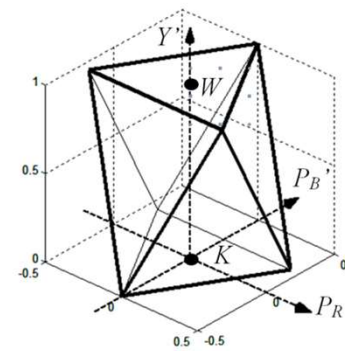


Fig. 4

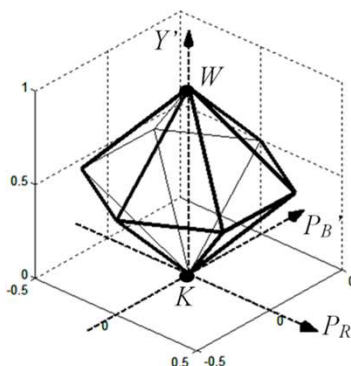


Fig. 5

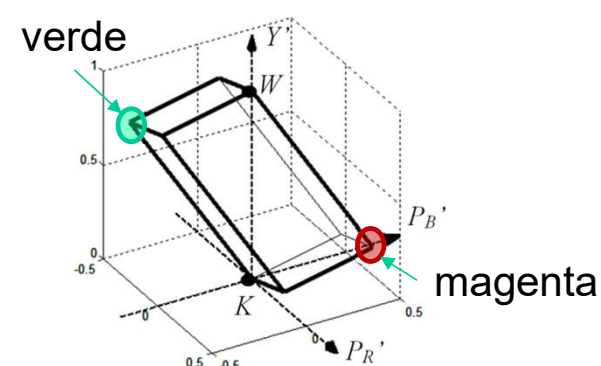


Fig. 6