

SEL0339 Introdução à Visão Computacional

SEL 5886 – Visão Computacional

Aula 4

Processamento de Imagens Coloridas

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

mvieira@sc.usp.br

Visão de Imagens Coloridas



- Visão colorida é a capacidade de um organismo ou máquina distinguir objetos baseando-se nas frequências da onda eletromagnética (luz) detectada;
- Em visão computacional, a cor é um poderoso descritor de características de um objeto, que simplifica a classificação de objetos;
- Seres humanos podem distinguir milhares de cores mas apenas algumas dezenas de níveis de cinza.

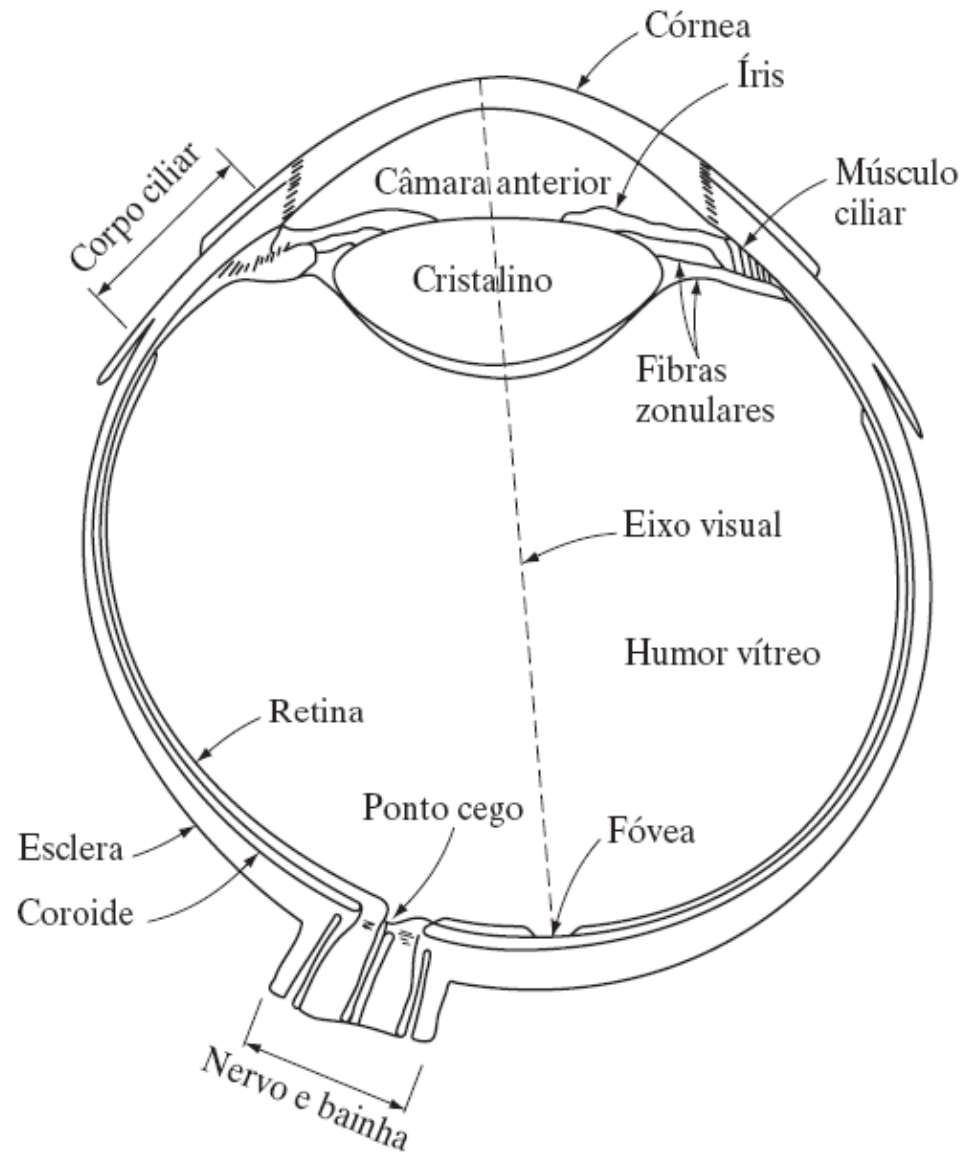
Cor



Cor



O Olho Humano

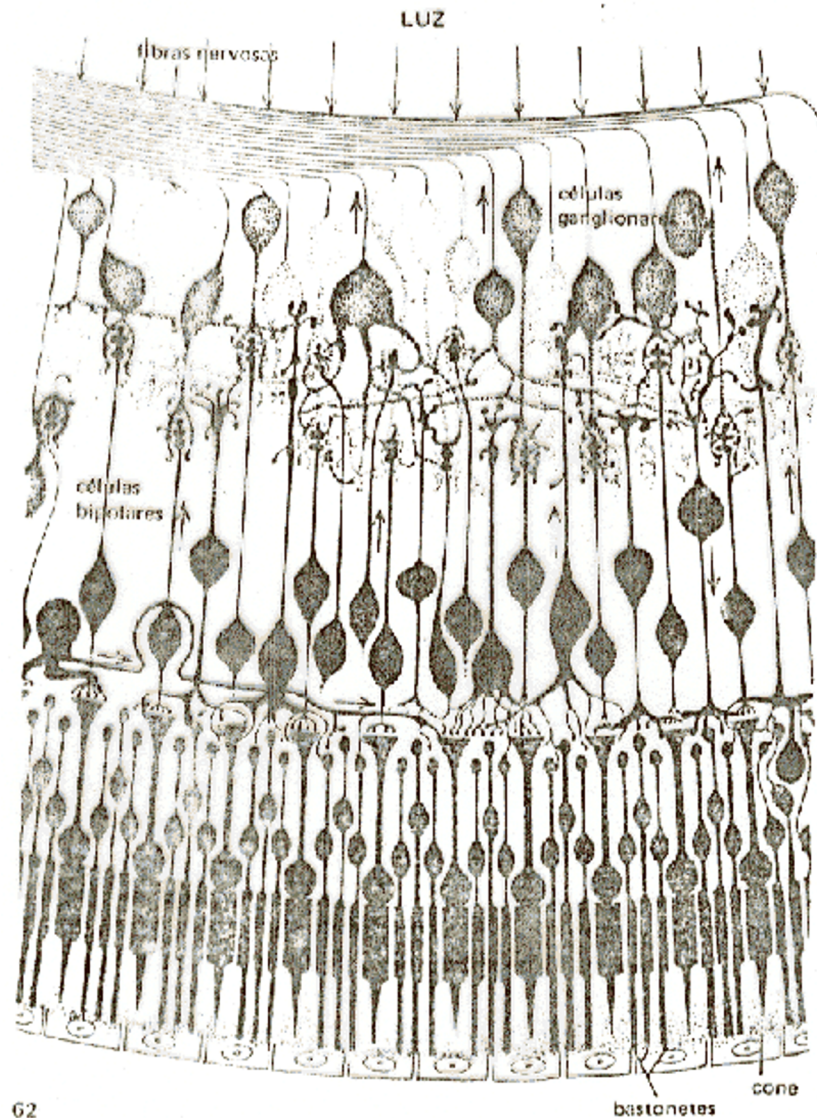


Percepção das Cores

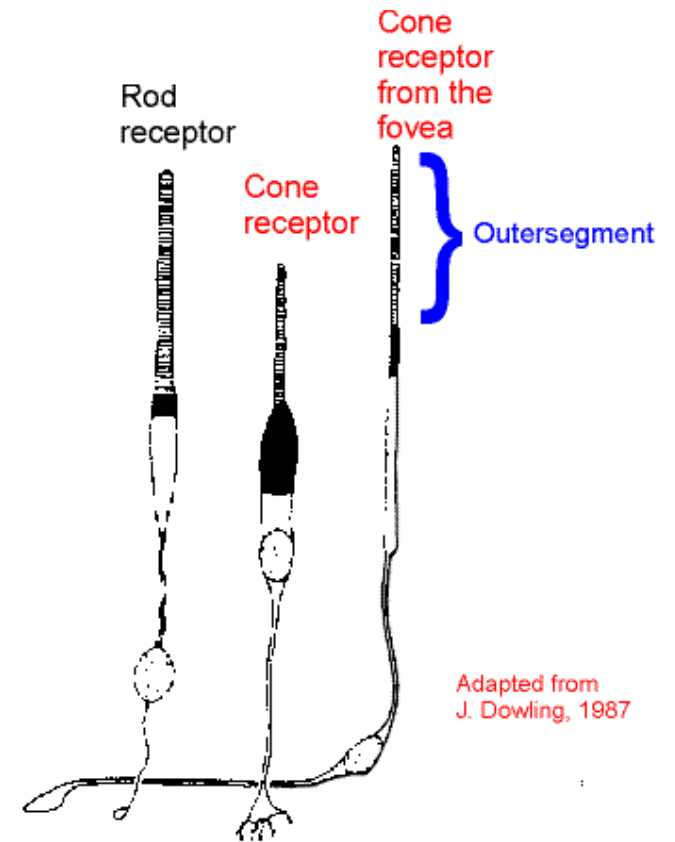


- No olho, as imagens são formadas sobre a retina, numa área composta de células sensíveis à luz localizada no fundo do olho.
- Na retina estão localizados dois tipos de células fotorreceptoras: os bastonetes e os cones;
- Os bastonetes, que são a maioria (>90%), são responsáveis por distinguir a presença ou ausência de luz – são muito sensíveis ao brilho, mas não distinguem as cores;
- Os cones são de três tipos diferentes e são responsáveis por distinguir o comprimento de onda da luz recebida – distinguem as cores mas são pouco sensíveis ao brilho;

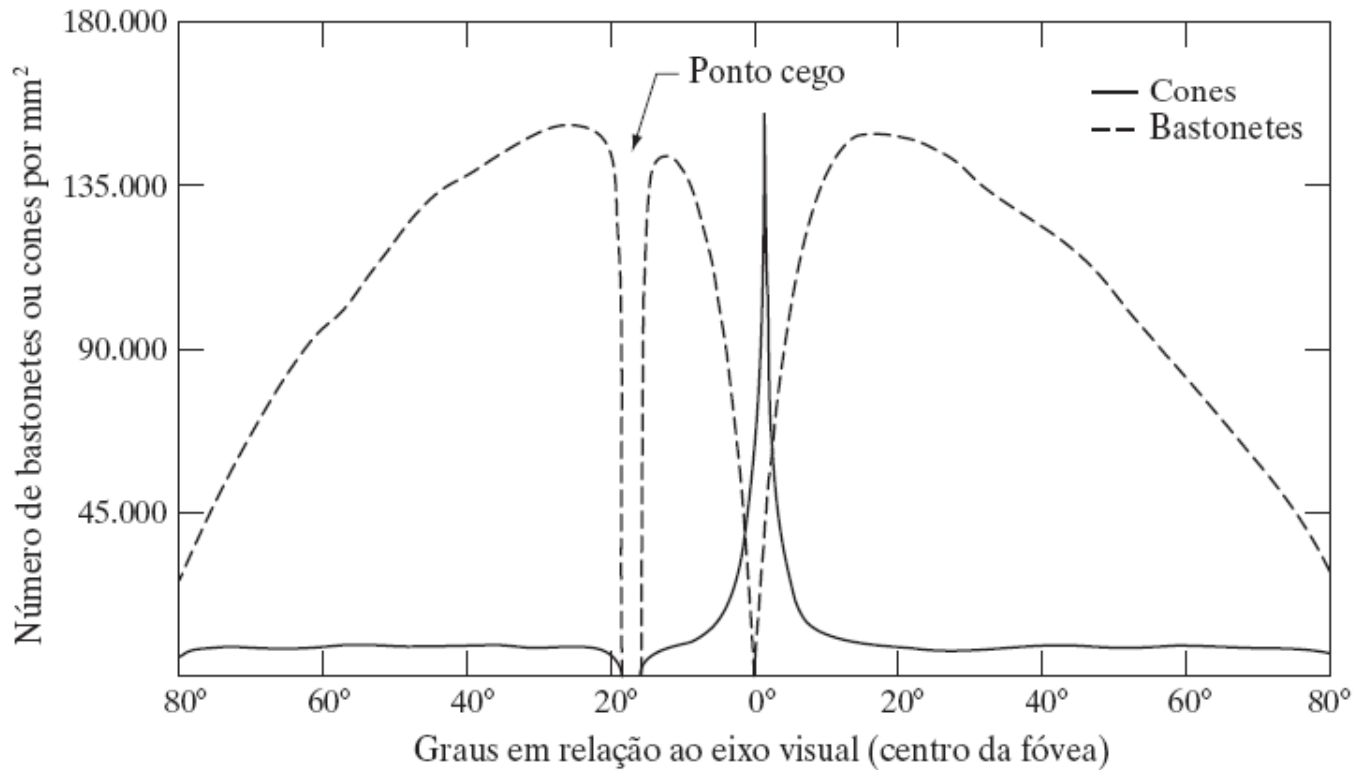
Retina



Cones e Bastonetes:



Distribuição de Cones e Bastonetes na Retina



Cones ==> 6 a 7 milhões (em cada olho) ==> sensível a cores

Bastonetes ==> 75 a 150 milhões (em cada olho) ==> sensível a brilho

Percepção das Cores



➤ Existem três diferentes tipos de cones na retina (concentrados na fóvea) e cada tipo produz um sinal diferente dependendo do comprimento de onda da luz recebida:

➤ **Cones do tipo L (*Long Wavelength*)**

- Sensível às ondas longas (vermelho): 575 ηm
- Representam ~64% dos cones da retina;

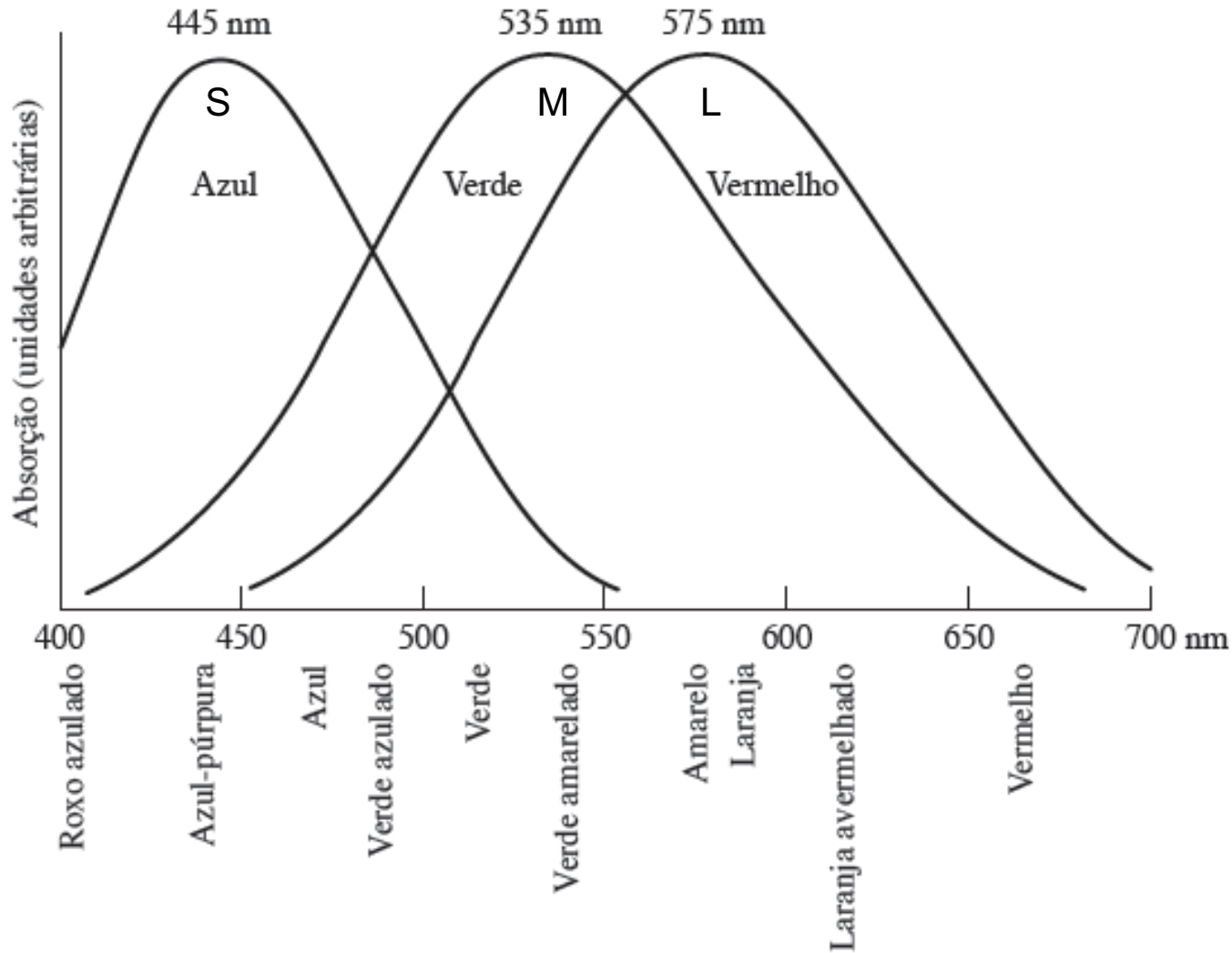
➤ **Cones do tipo M (*Middle Wavelength*):**

- Sensível às ondas médias (verde): 535 ηm
- Representam ~32% dos cones da retina;

➤ **Cones do tipo S (*Short Wavelength*):**

- Sensível às ondas curtas (azul): 445 ηm
- Representam ~4% dos cones da retina;

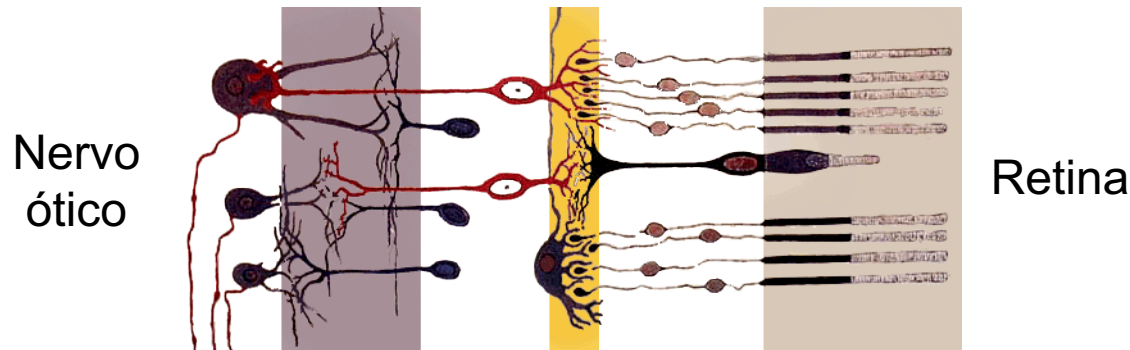
Tipos de Cones da Retina



Percepção das Cores



- Os cones nunca são estimulados individualmente, há sempre uma sobreposição dos sinais recebidos por eles;
- Além disso, não há uma conexão independente de cada cone ou bastonetes com o cérebro;
- Os fotorreceptores são combinados (adicionados ou subtraídos) formando três campos receptores no nervo ótico:
Tricromatismo;



Tricromatismo



➤ Os três campos receptores formados pela adição ou subtração dos sinais dos cones **L**, **M** e **S** também são chamados de canais oponentes:

➤ Canal L*: *Luminance* = $L + M$;

➤ Canal a*: *Red-Green*: $L - M$;

➤ Canal b*: *Blue-Yellow*: $(L + M) - S$;

Percepção das Cores



- Assim, apesar dos cones possuírem picos de sensibilidade em três faixas distintas do espectro eletromagnético, a percepção das cores pelo cérebro humano é feita de forma diferente, combinando informações de luminância e cromaticidade.
- As cores não são propriedades dos objetos;
- A percepção das cores pelos seres humanos é um fenômeno psicofísico, e depende da interpretação que o nosso cérebro faz ao receber os sinais de cada um dos três canais do nervo ótico;
- Assistam esse vídeo: https://youtu.be/gg_XP1MQflk

Ilusão de cores!



**Foto em tons de cinza – Listas coloridas!
O cérebro preenche o resto!**



Daltonismo: ausência de um dos cones



VISÃO NORMAL



DEUTERANOPIA

Ausência do cone **M**



PROTANOPIA

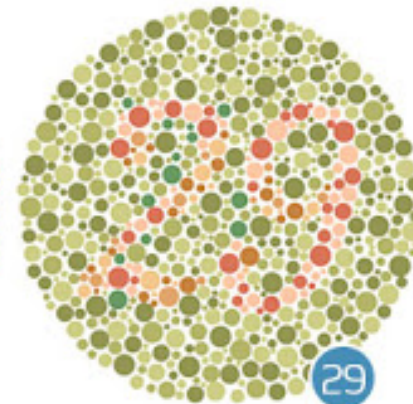
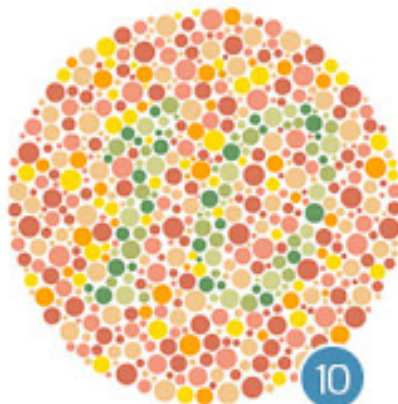
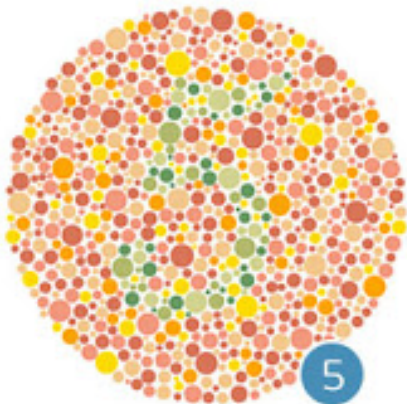
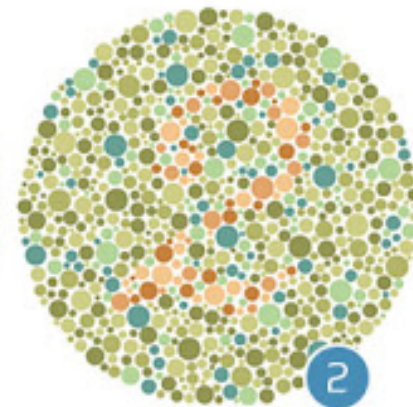
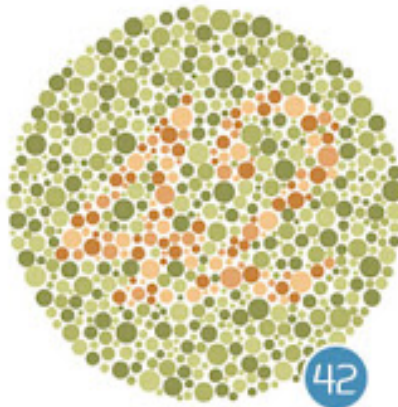
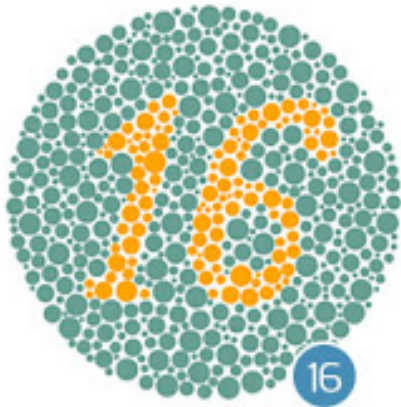


TRITANOPIA

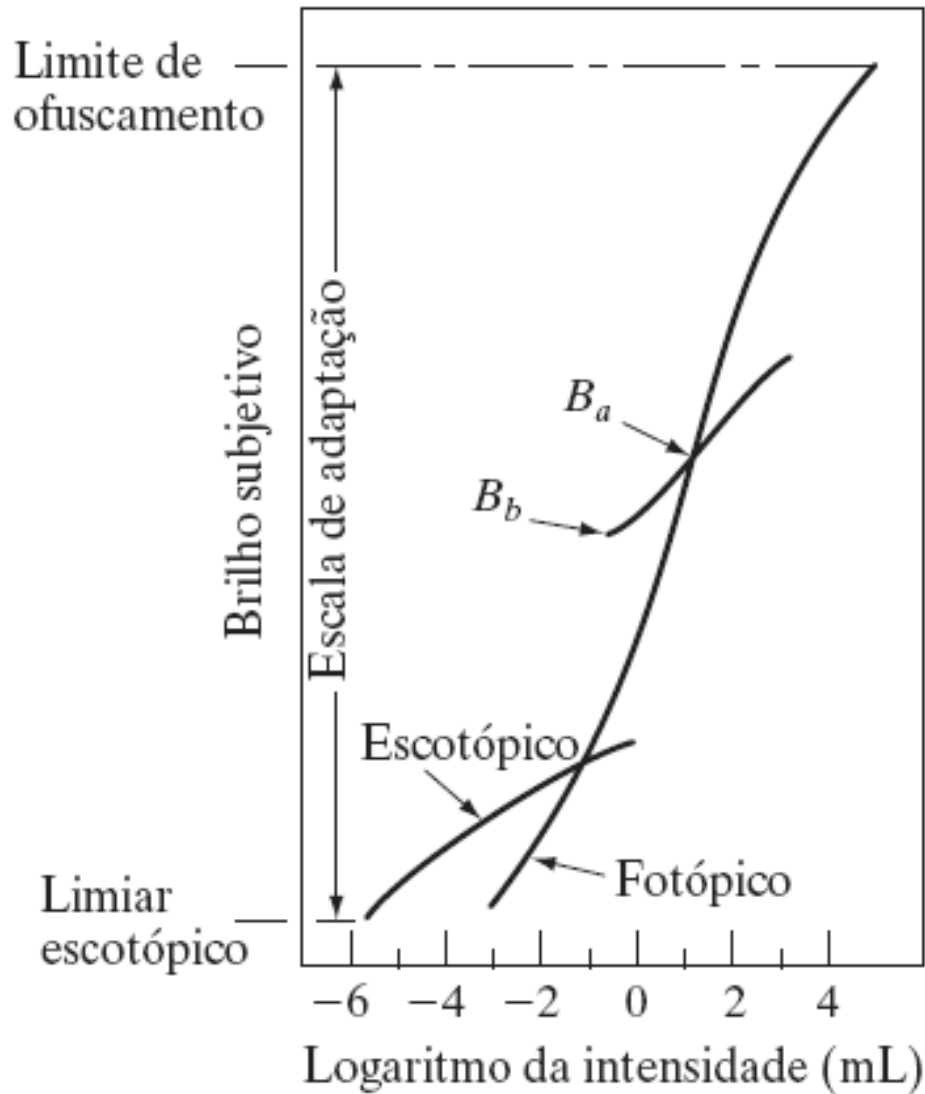
Ausência do cone **S**

Ausência do cone **L**

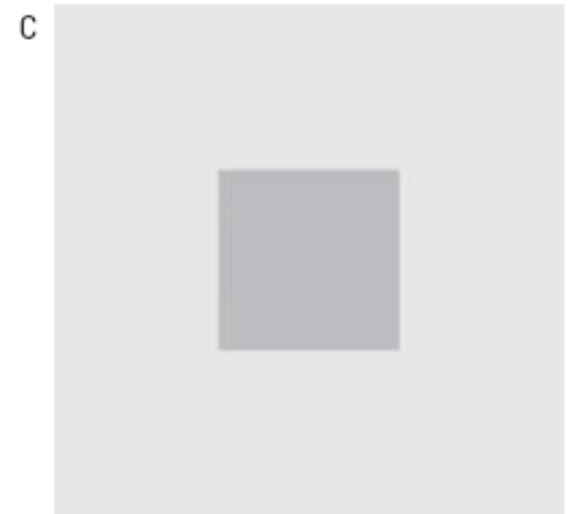
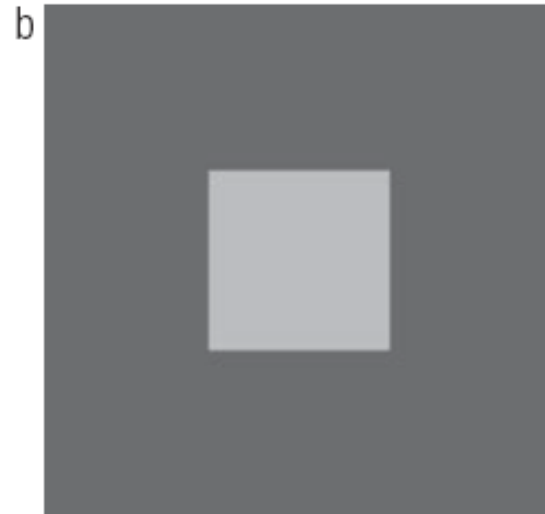
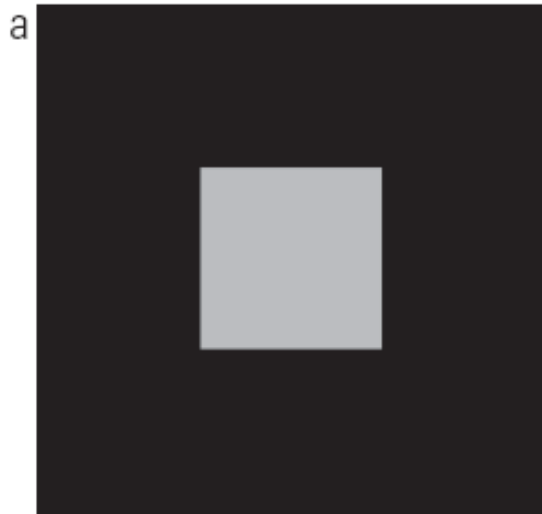
Teste de Daltonismo



Adaptação ao Brilho



Adaptação ao Brilho



Modelo de Cores



- O objetivo de um modelo de cor é padronizar a especificação de cores nos dispositivos, como monitores, impressoras, etc.;
- A especificação é feita em um sistema de coordenadas no qual cada cor é representada por um único ponto;
- Cada modelo de cor representa um método numérico diferente para descrever a cor;
- É importante que sejam definidos métodos (equações) para transformar uma imagem de um modelo para outro, sem modificar as suas cores;

Modelo de Cores



➤ Os modelos de cor em geral são divididos em dois tipos:

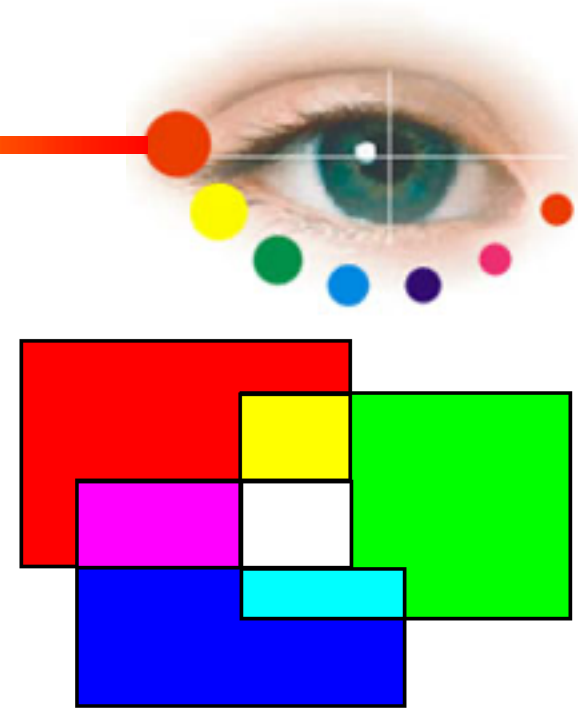
- Descrição orientada ao hardware:
 - RGB (*Red, Green, Blue*)
 - CMY (*Cyan, Magenta, Yellow*)
 - CMYK (*Cyan, Magenta, Yellow, Black*)
- Descrição orientada à percepção humana:
 - HSI (*Hue, Saturation, Intensity*)
 - HSV (*Hue, Saturation, Value*)
 - HSL (*Hue, Saturation, Lightness*)
 - CIE L*a*b* (*Lightness, a, b*)



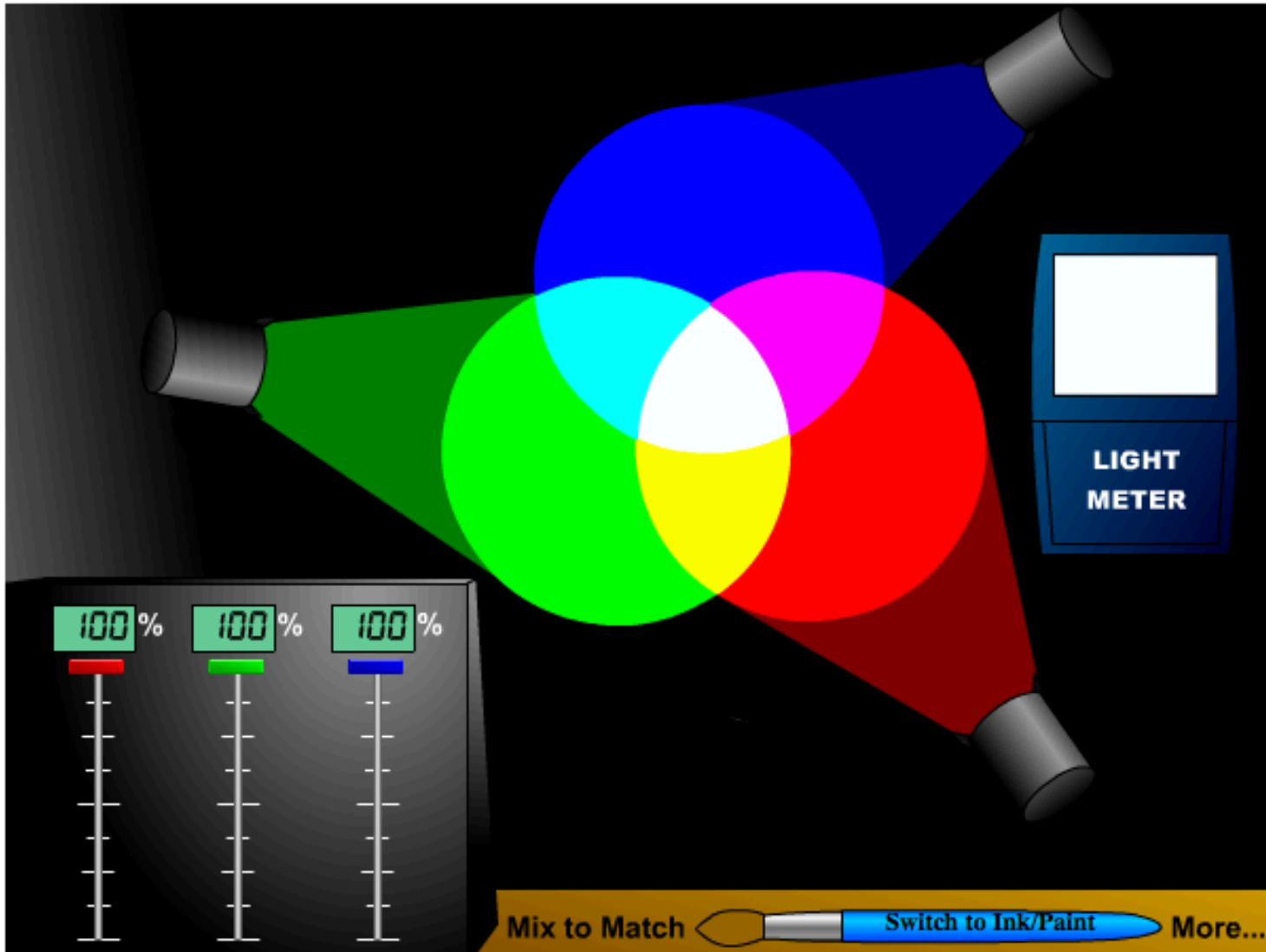
Modelos de cores com descrição
orientada ao *hardware*

Modelo RGB

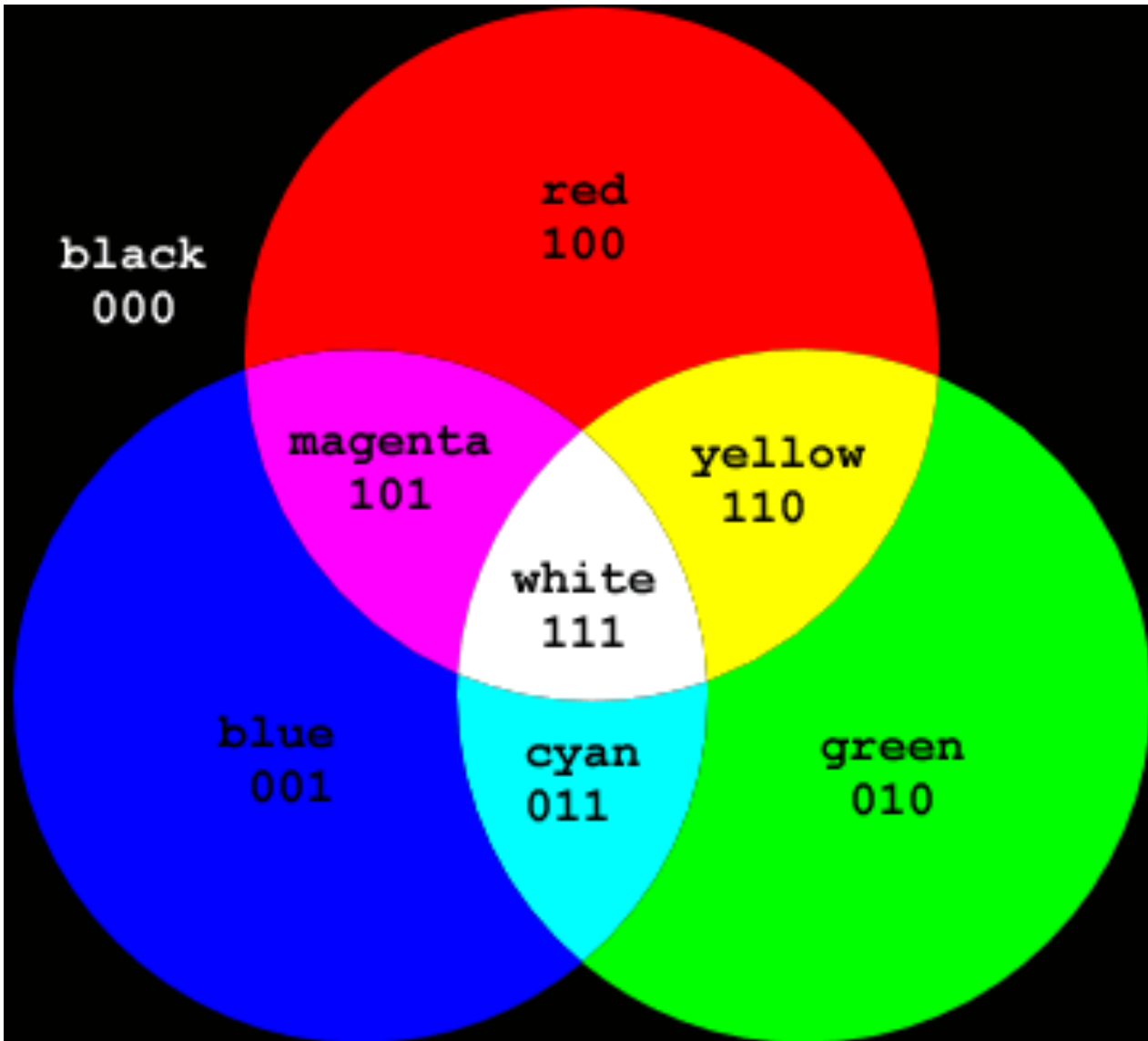
- Representa a cor como uma combinação de 3 canais de cor: **RED**, **GREEN** e **BLUE** em um sistema de coordenadas cartesianas 3D;
- É um modelo **aditivo**. As cores são criadas por adição e mistura das cores primárias de luz: **RED**, **GREEN** e **BLUE**;
- Funciona de forma semelhante à detecção de luz pela retina (cones LMS = cores RGB);
- Usados em monitores e detectores de imagem;
- A cor branca corresponde à representação simultânea das 3 cores primárias (1,1,1) e a cor preta corresponde à ausência das mesmas (0,0,0);



Modelo RGB – Aditivo (Luz)

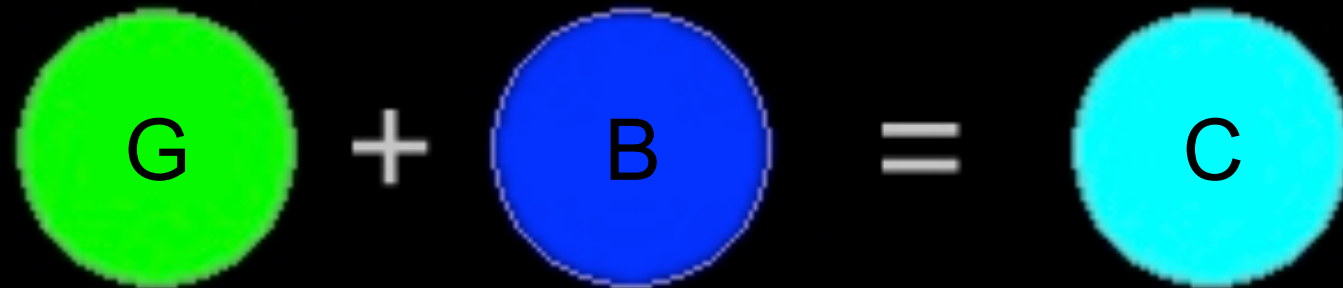


Modelo RGB – Aditivo (Luz)

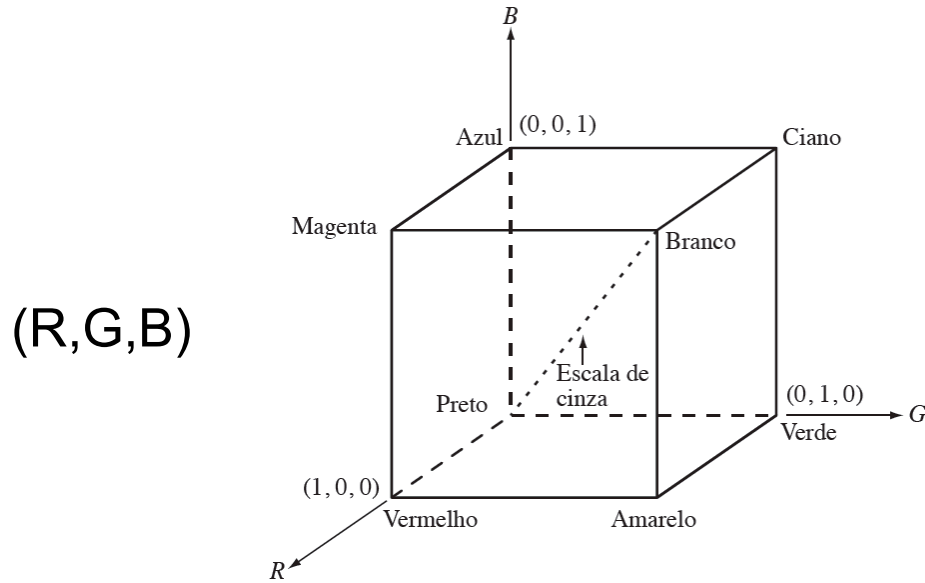


(R,G,B)

Modelo RGB – Aditivo (Luz)



Cubo de Cores RGB



- O espaço de cores RGB pode ser identificado por um cubo, no qual as cores são pontos definidos por vetores que partem da origem;
- O cubo é normalizado;
- Nos vértices do cubo estão as cores primárias (Vermelho, Verde, Azul) e as cores secundárias (Ciano, Magenta, Amarelo);
- O Preto está localizado na origem e o Branco na extremidade oposta;
- A diagonal do cubo entre o preto e o branco é a Escala de Cinza.

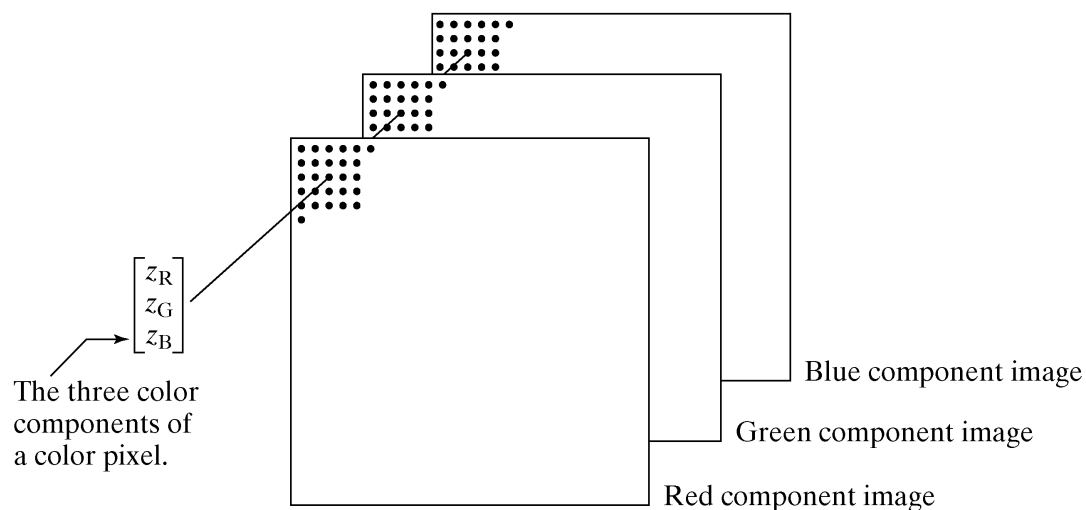
Imagens RGB



- Uma Imagem colorida RGB é um arranjo de $M \times N \times 3$ pixels onde cada um é uma tripla correspondente às cores Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B) em uma localização espacial específica.

- Se cada componente R,G,B possui 8 Bits, então a Imagem é dita de 24 Bits.

- Uma imagem de 8-bits por cor pode gerar 16.777.216 cores diferentes.



Exemplo de Canais RGB



Red

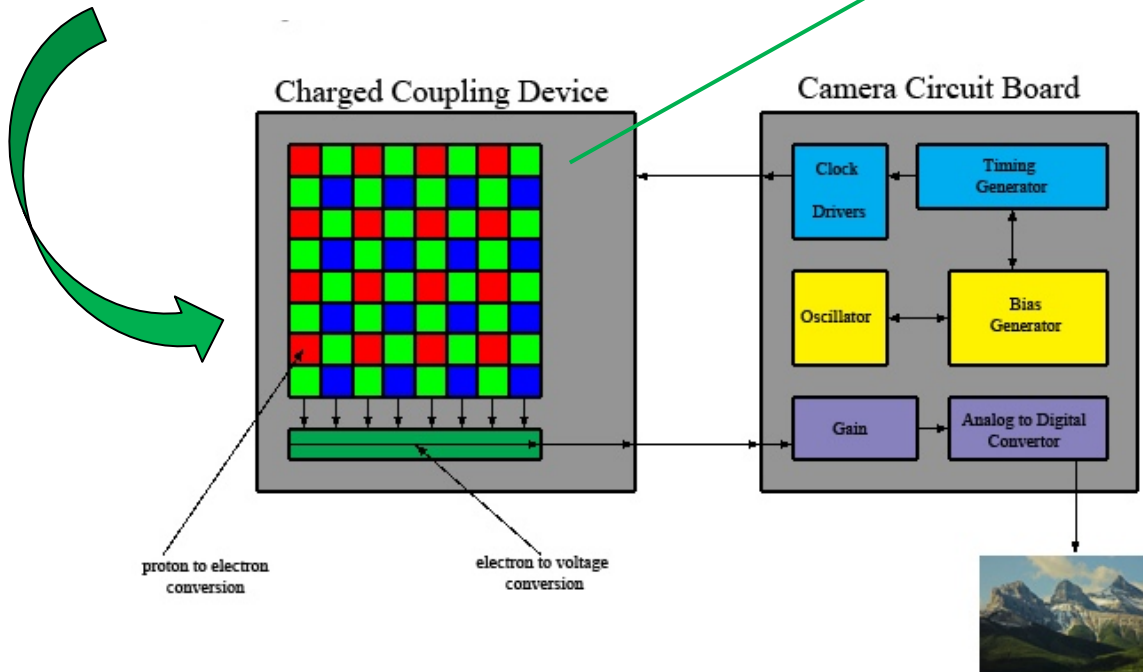
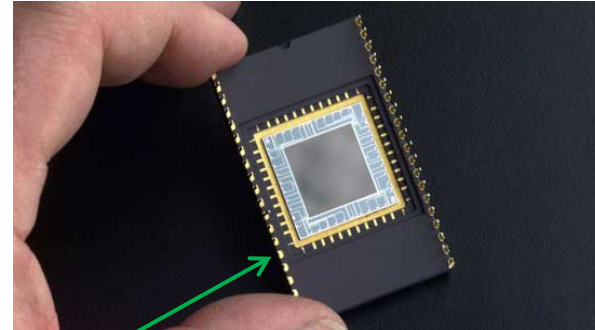


Green

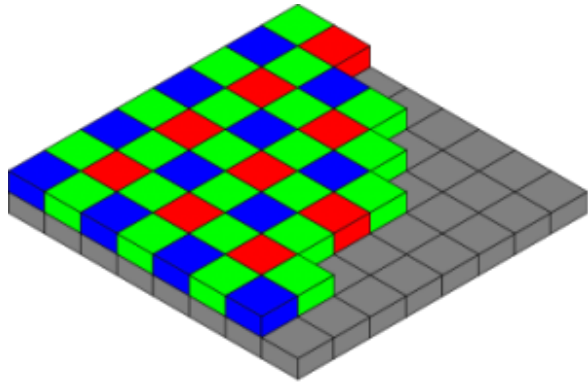


Blue

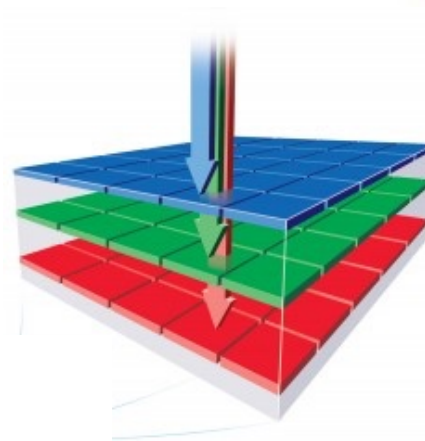
Detectores para imagens coloridas RGB



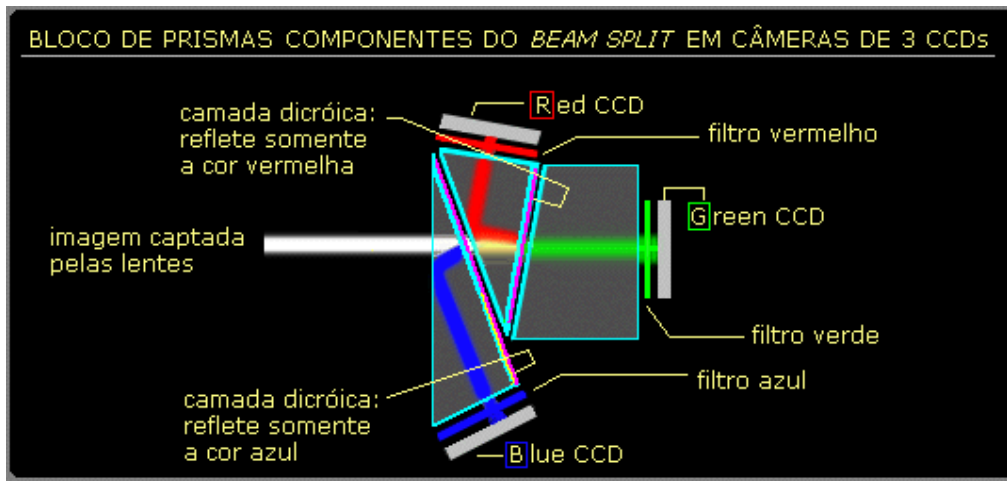
Detectores para imagens coloridas RGB



Filtros Padrão Bayer



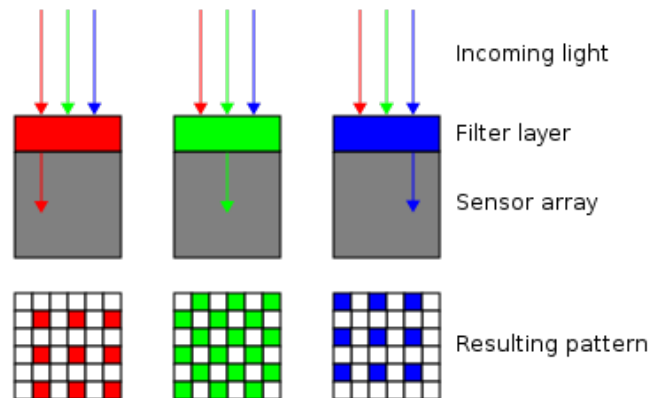
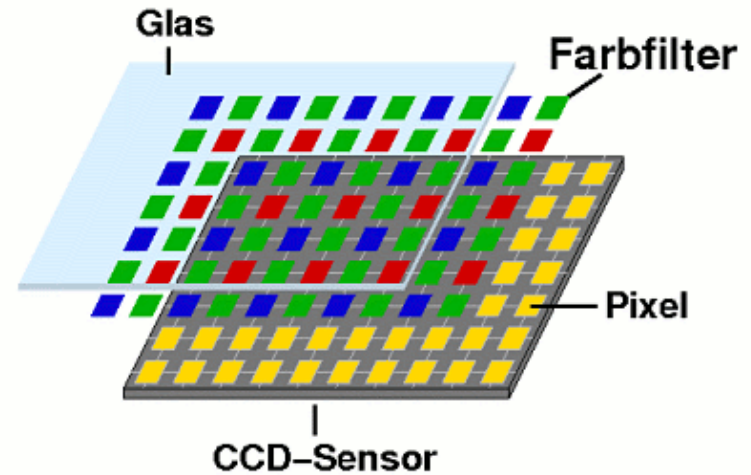
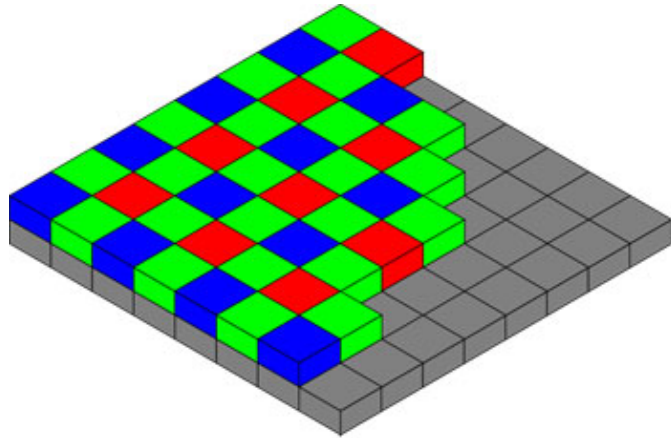
Stack Filters



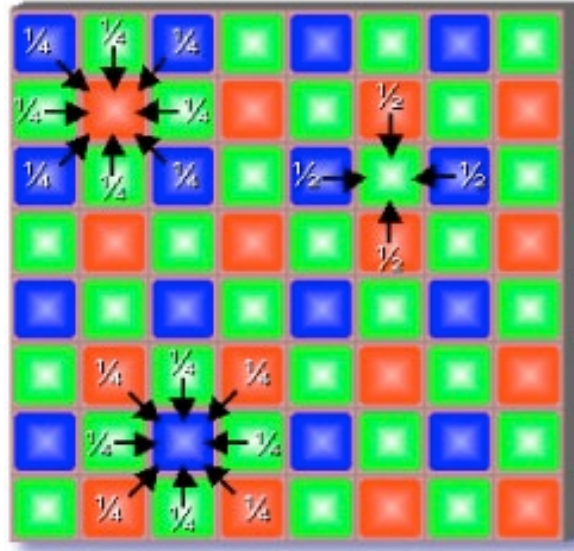
Beam Splitter

Filtros Padrão Bayer

Utiliza-se filtros RGB para selecionar os sensores que irão captar informações dos canais Vermelho, Verde e Azul.



Filtros Padrão Bayer



- Cada matriz 2x2 representa um pixel colorido na imagem, com 1 filtro vermelho, 1 filtro azul e dois filtros verdes;
- No total, a matriz contém 50% de filtros verde, 25% de azul e 25% de vermelho. Isso porque a cor verde tem comprimento de onda com valor intermediário entre o vermelho e o azul, e o olho humano é mais sensível à cor verde.
- A cor de cada pixel é determinada pela interpolação dos pixels vizinhos, como mostra a figura acima.
- Essa interpolação causa perda de resolução espacial da imagem colorida, em relação às imagens adquiridas no modo monocromático ou pelos detectores *beam splitter* e *stack filters*.

Monitores coloridos RGB



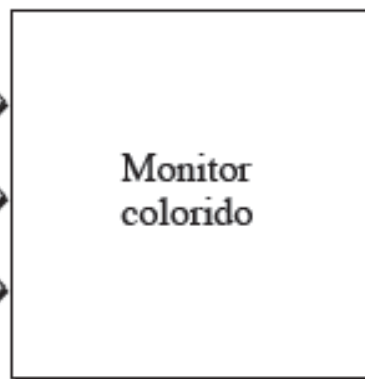
Vermelho



Verde



Azul

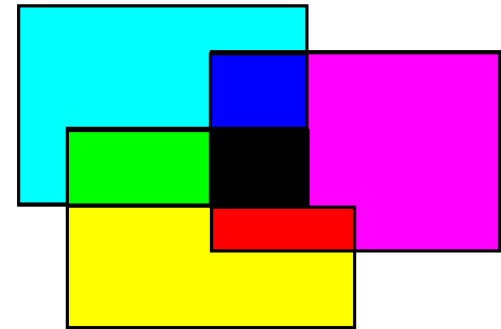


RGB

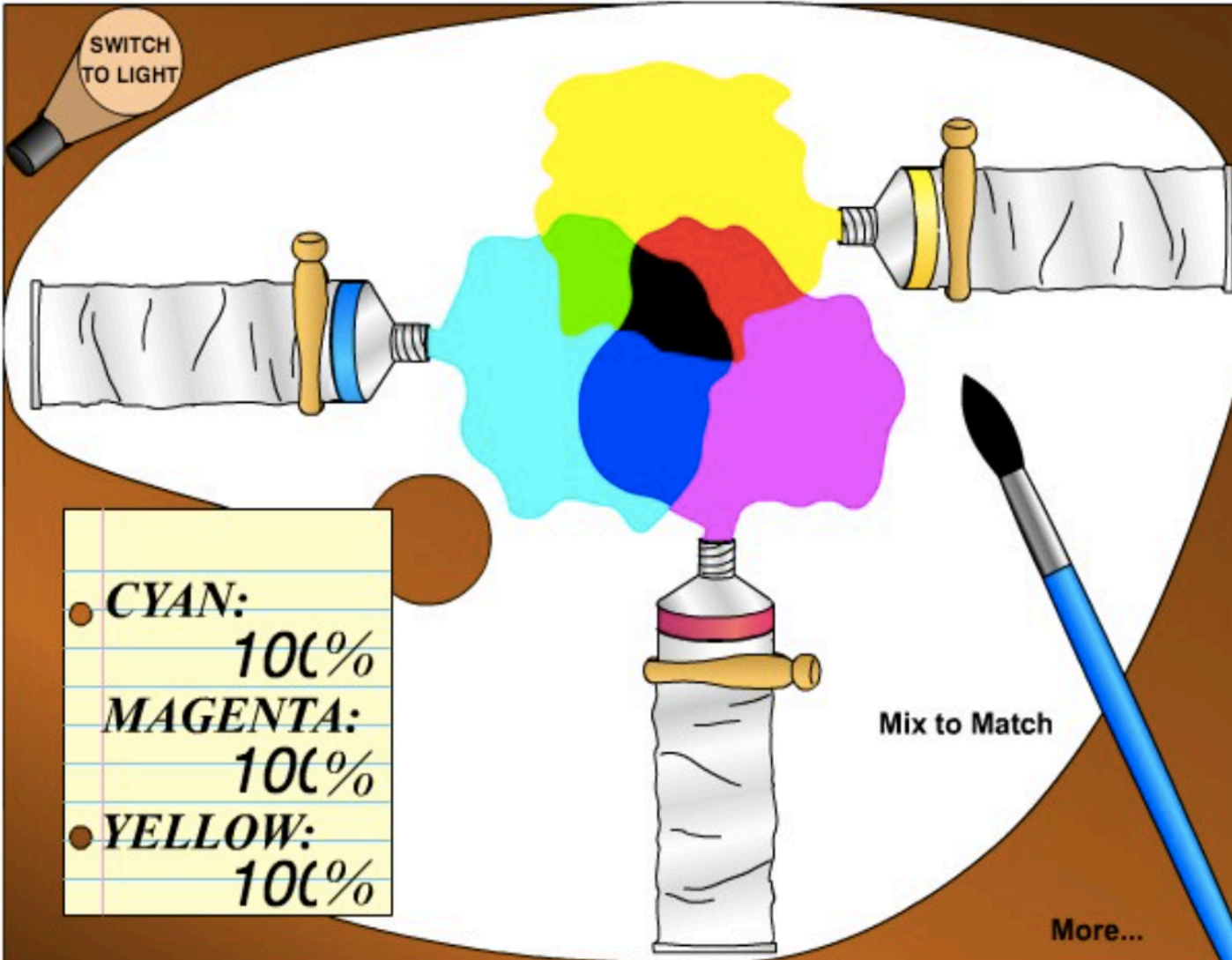


Modelo CMY

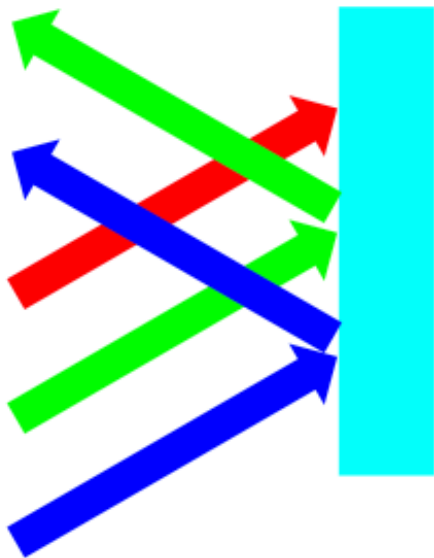
- Representa a cor como uma combinação de 3 canais de cor: **CYAN**, **MAGENTA**, **YELLOW** em um sistema de coordenadas cartesianas 3D;
- É utilizado em equipamentos que depositam pigmento sobre um papel: impressoras, plotters, etc.
- É um modelo **subtrativo**: baseia-se na forma como a natureza cria as suas cores, refletindo parte do espectro de luz e absorvendo outras.
- Por exemplo: quando uma superfície com a cor Ciano é iluminada com luz branca, nenhuma luz vermelha é refletida, ou seja, ele filtra a luz vermelha e reflete as luzes azuis e verde, que somadas formam a cor Ciano
- As zonas em branco indicam inexistência de tinta ou pigmentação. As zonas escuras indicam alta concentração de tinta.



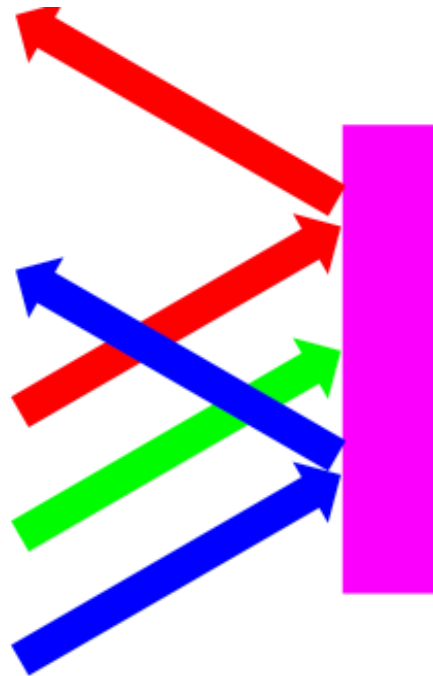
Modelo CMY - Subtrativo (tinta)



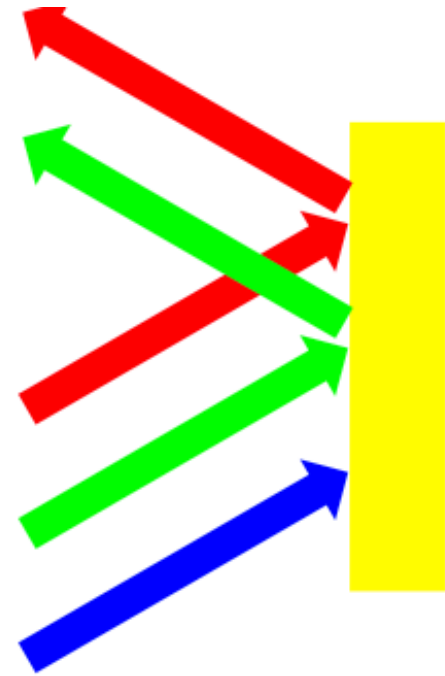
Modelo CMY - Subtrativo (tinta)



Ciano
(filtra o vermelho)

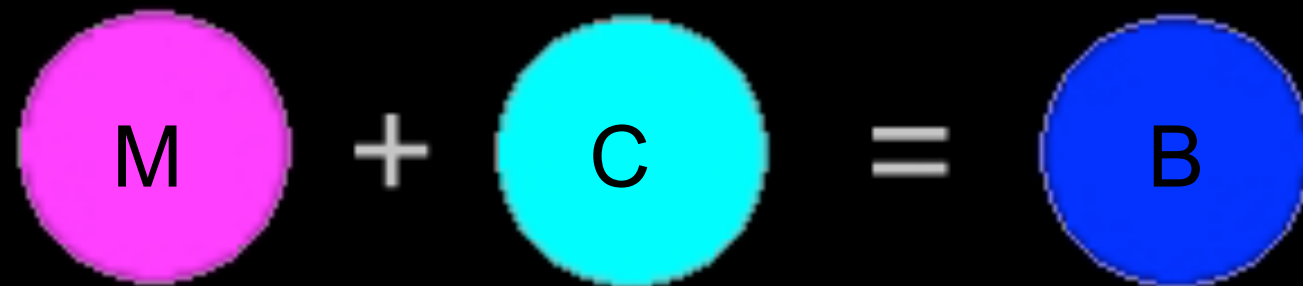
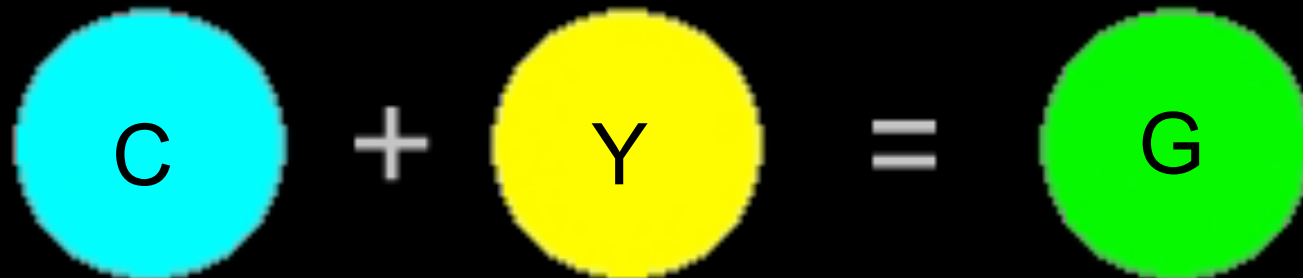
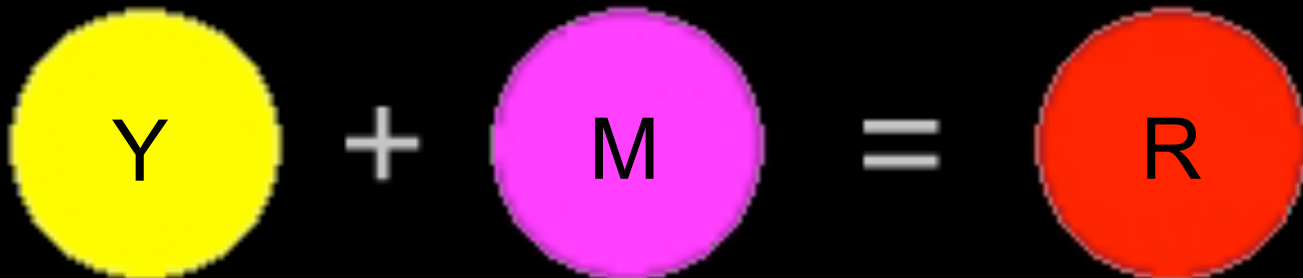


Magenta
(filtra o verde)

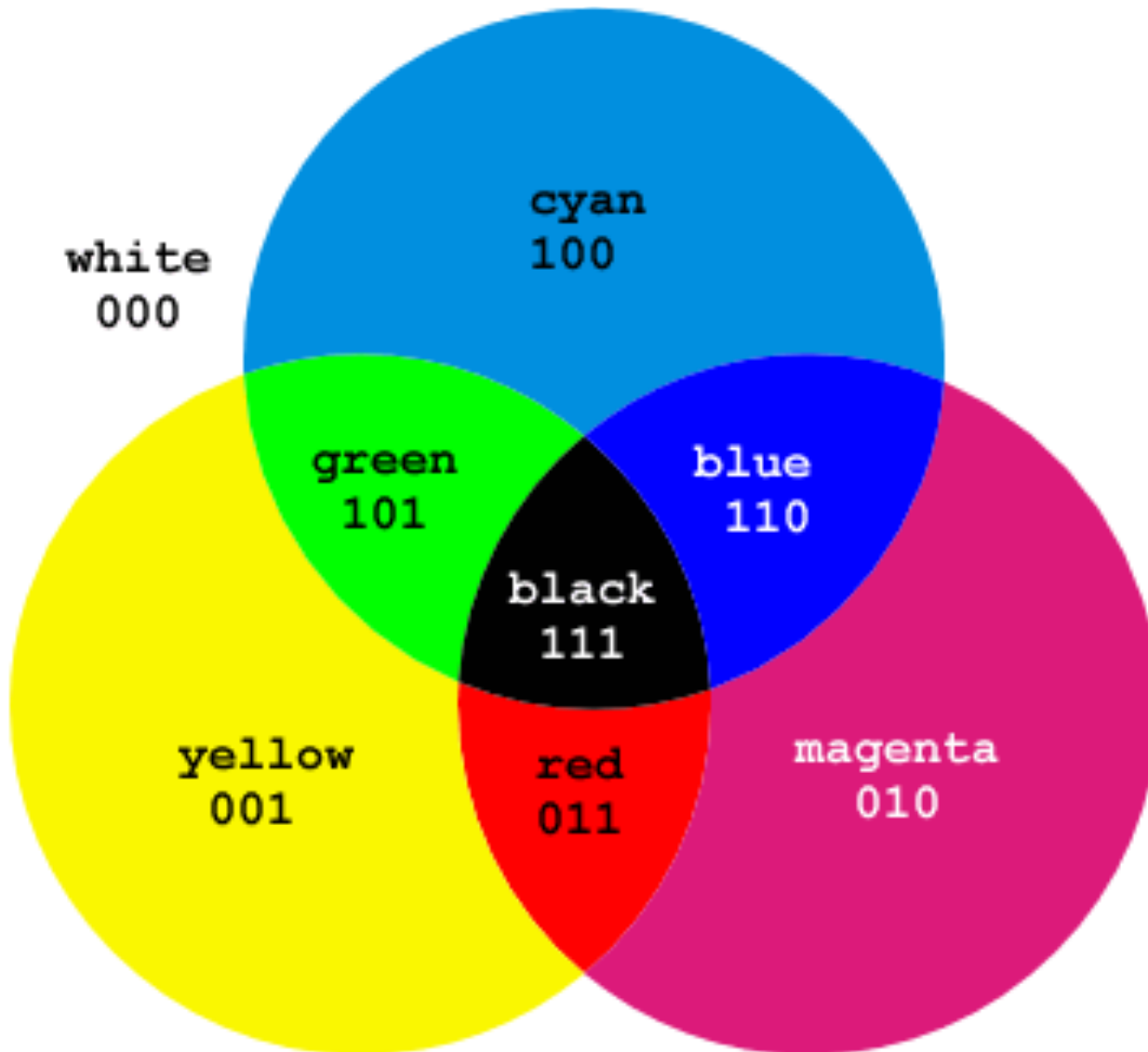


Amarelo
(filtra o azul)

Modelo CMY - Subtrativo (tinta)

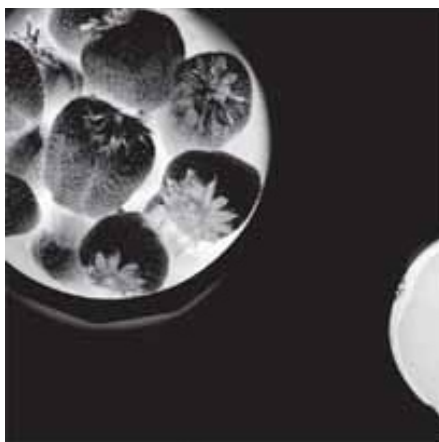


Modelo CMY - Subtrativo (tinta)



(C,M,Y)

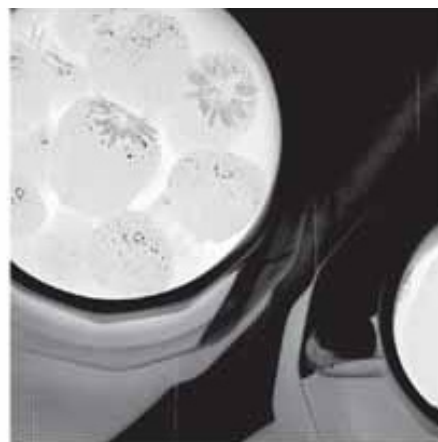
Exemplo de Canais CMY



Cyan



Magenta



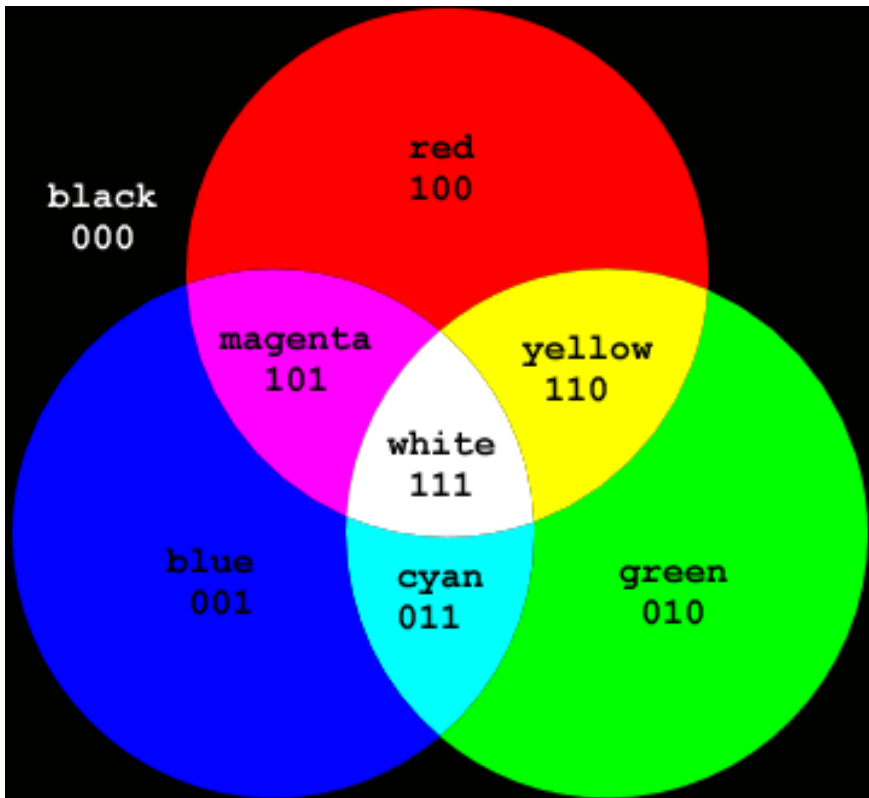
Yellow

Conversão entre os Modelos RGB e CMY

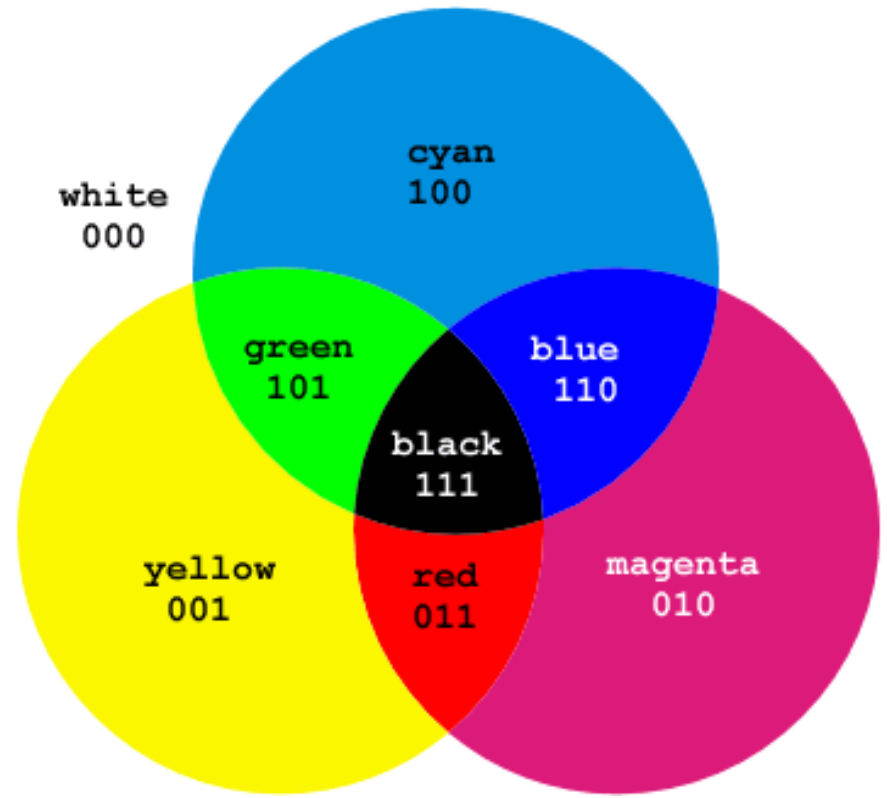


$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Conversão entre os Modelos RGB e CMY



(R,G,B)



(C,M,Y)

Conversão entre os Modelos RGB e CMY



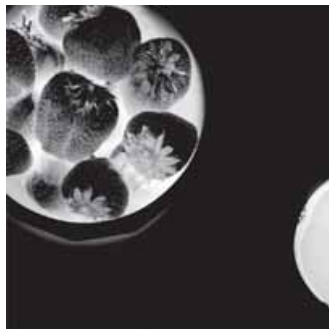
Red



Green



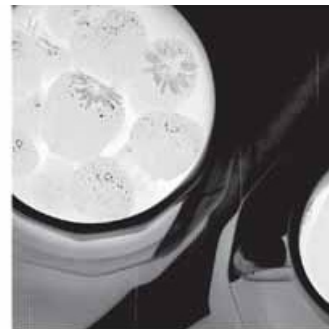
Blue



Cyan



Magenta



Yellow

SPIDER-MAN 2
JULY 2004



G



B



R



M

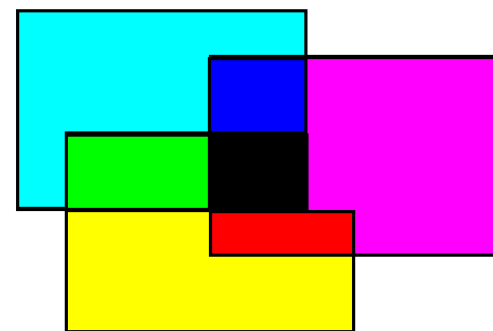
C

Y

Modelo CMYK



- A cor preta no modelo CMY é representada pela soma da máxima quantidade de magenta, amarelo e ciano (1,1,1);
- Na prática, o uso de tintas nessa proporção isso produz pigmento preto com aparência “molhada”, não muito realista;
- Além disso, isso causa um gasto de grandes quantidades de tinta para impressão em preto (alto custo);
- Assim, a tinta preta (**K = BLACK**) foi somada ao modelo CMY para produzir o modelo CMYK;



Conversão entre os modelos CMY e CMYK

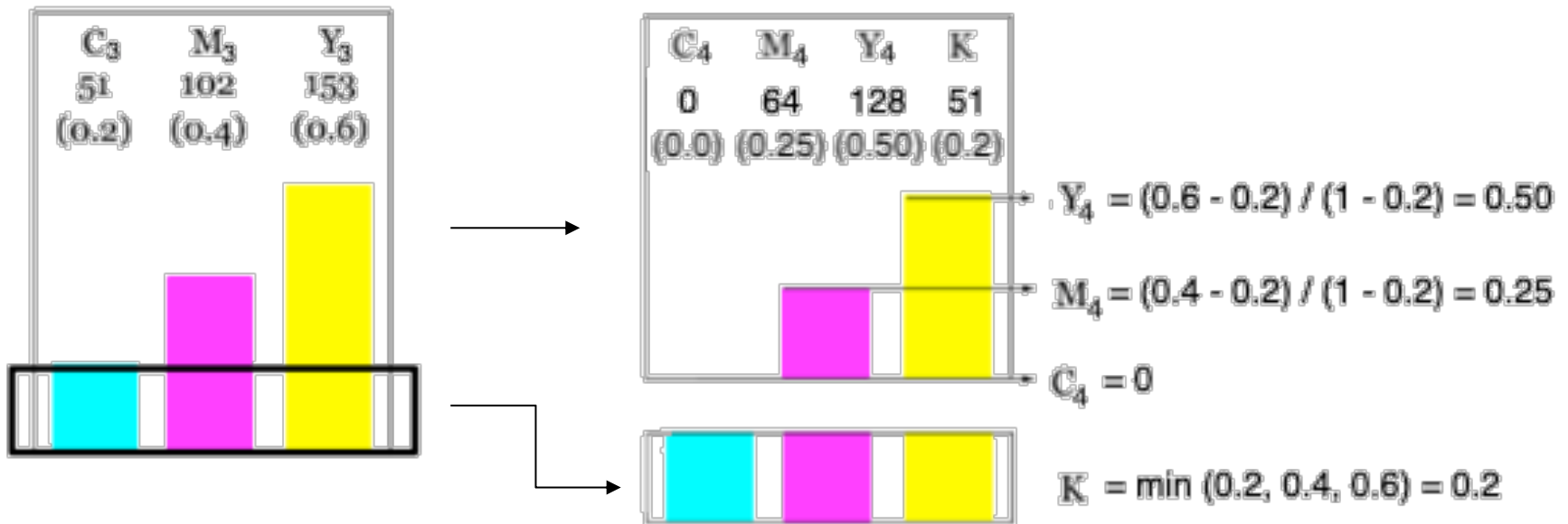


- Para máxima economia de tinta colorida, para cada pixel da imagem, um dos valores (C,M,Y) deve ser sempre zero, ou seja, a cor K (black) deve ser escolhida como o valor mínimo entre os três canais: **$K = \min (C,M,Y)$**

• CMY \rightarrow CMYK:

$$\begin{pmatrix} K \\ C_4 \\ M_4 \\ Y_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \min(C_3, M_3, Y_3) \\ \frac{C_3 - K}{1 - K} \\ \frac{M_3 - K}{1 - K} \\ \frac{Y_3 - K}{1 - K} \end{pmatrix}$$

Conversão entre os modelos CMY e CMYK



Conversão entre os modelos CMYK e CMY

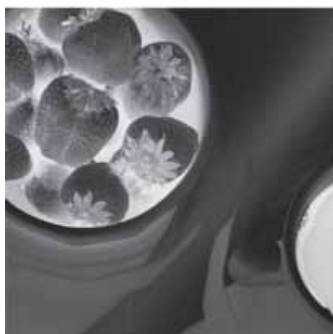


- CMYK \rightarrow CMY
$$\begin{pmatrix} C_3 \\ M_3 \\ Y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_4 \cdot (1 - K) + K \\ M_4 \cdot (1 - K) + K \\ Y_4 \cdot (1 - K) + K \end{pmatrix}$$

Exemplo de Canais CMYK e CMY



Full color image



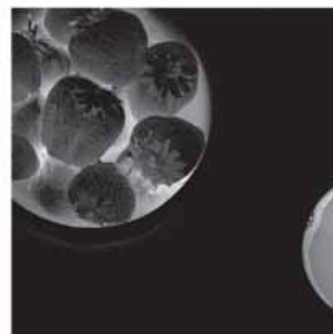
Cyan



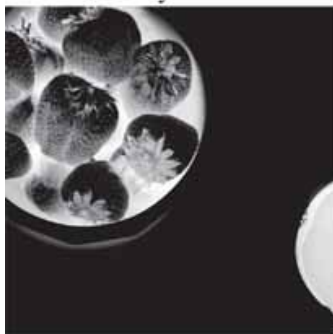
Magenta



Yellow



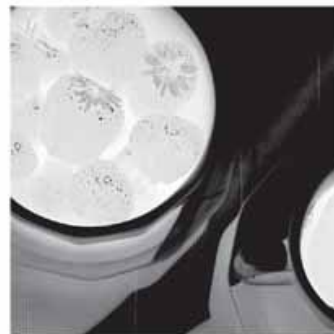
Black



Cyan

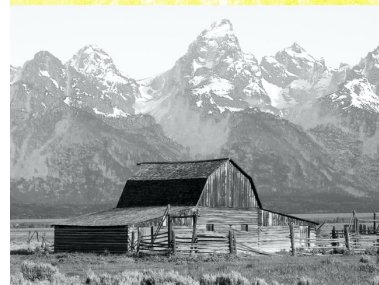


Magenta



Yellow

Impressoras de formato CMY e CMYK

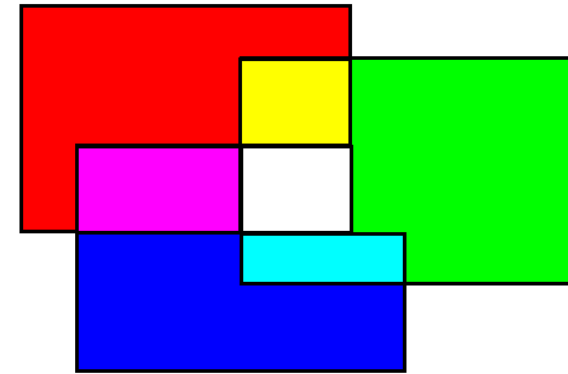




Modelos de cores com descrição orientada à percepção humana

Modelos orientados à percepção humana

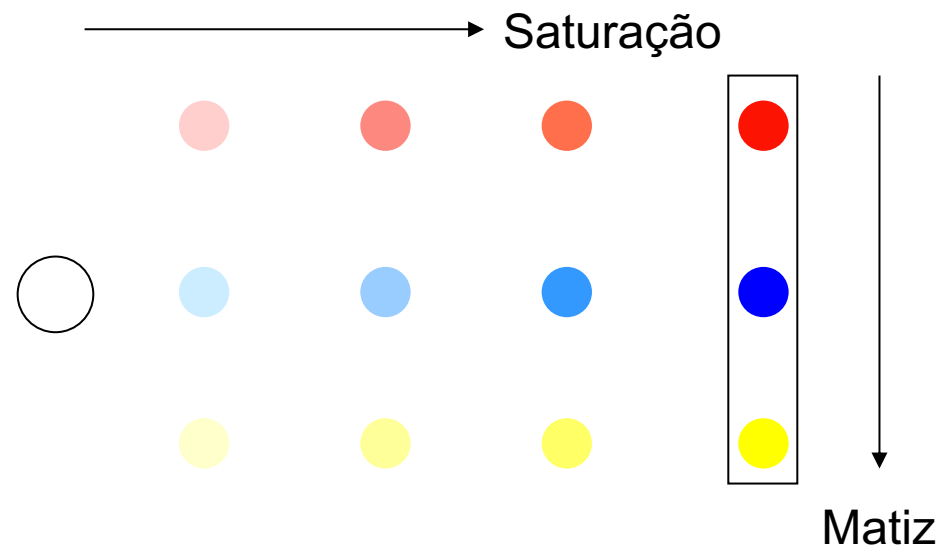
- Os seres humanos não interpretam as cores como uma combinação de cores primárias;
- Não percebemos, por exemplo, que uma parede pintada de amarelo é na verdade uma soma de reflexões de luz vermelha e verde;
- Os humanos percebem a cor em termos de sua luminância e cromaticidade (matiz e saturação).
- Os modelos de cor orientados à percepção humana não são mais adequados para o processamento de imagens pois conseguem separar as informações de cor (cromaticidade) e de brilho (luminância).



Cromaticidade: Matiz e Saturação

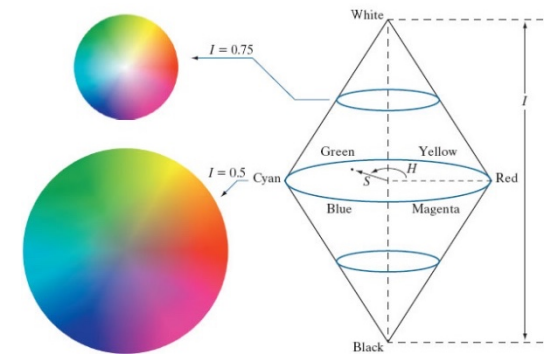


- Matiz (tonalidade) refere-se ao comprimento de onda dominante da cor;
- Saturação (pureza) refere-se à quantidade de luz branca misturada à matiz (cor pura = saturação máxima);
- Cromaticidade é a informação de cor dada pela matiz e saturação juntas.



Modelo HSI

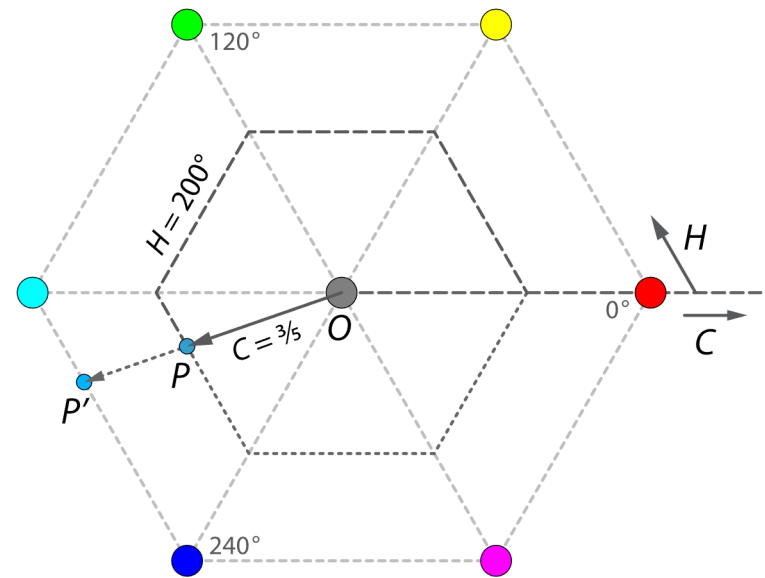
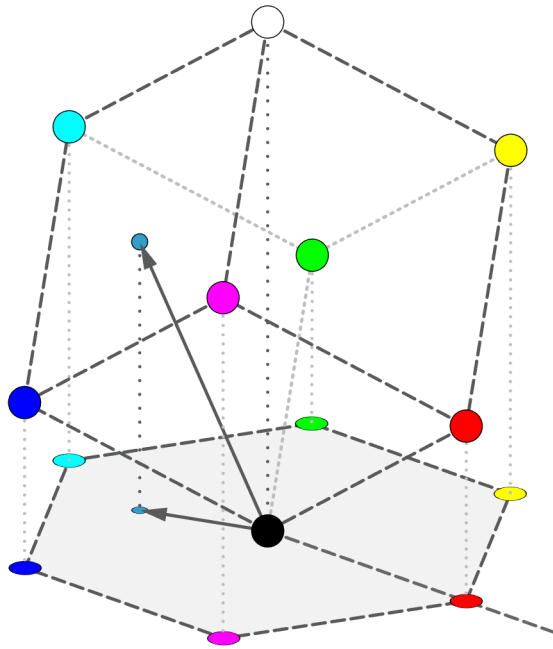
- É definida por 3 valores distintos: HUE, SATURATION e INTENSITY;
- Baseia-se na percepção humana da cor (cromaticidade e intensidade)
- **HUE:** É a matiz ou cor pura. O seu valor varia entre 0 (vermelho), passando pelo laranja, amarelo, verde, azul, púrpura, e novamente vermelho.
- **SATURATION:** Indica a quantidade de luz branca que foi misturada a cor pura. É inversamente proporcional: a cor pura tem saturação máxima, e quanto mais luz branca é adicionada a saturação vai diminuindo;
- **INTENSITY:** Indica a intensidade acromática da cor (refletância), ou seja, a intensidade (em níveis de cinza) que a cor foi refletida ou absorvida.



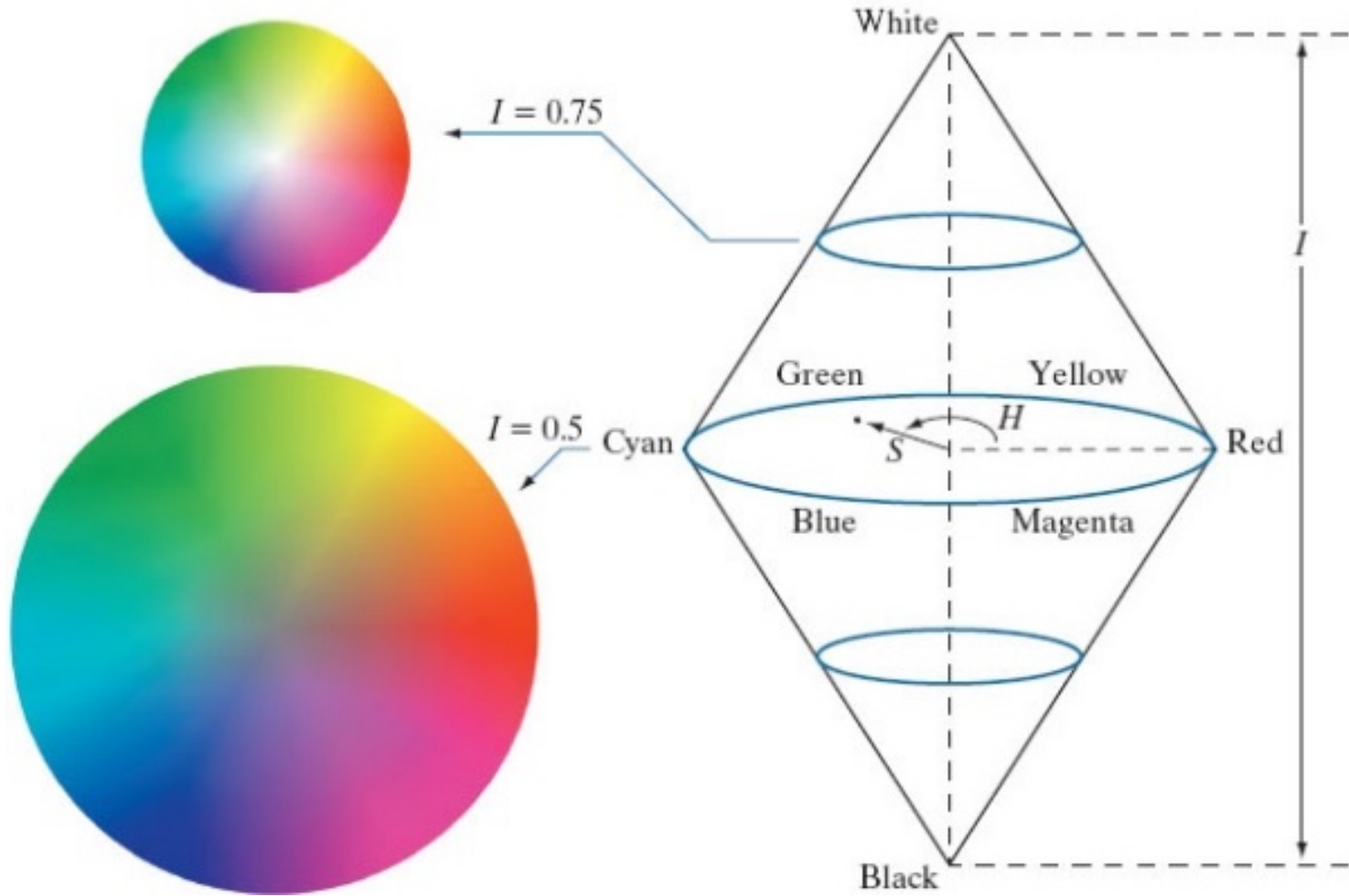
Modelo HSI



Projeção do cubo RGB em um plano, com o vértice preto para baixo



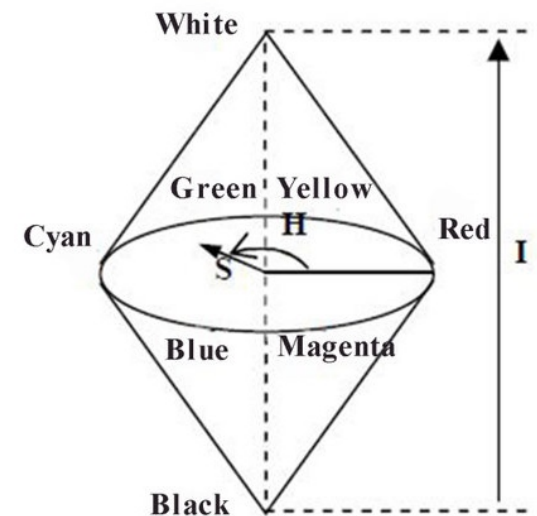
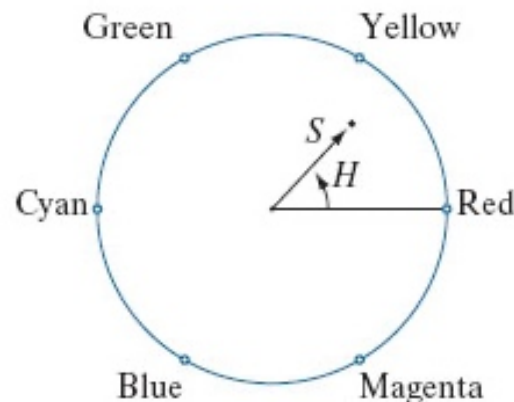
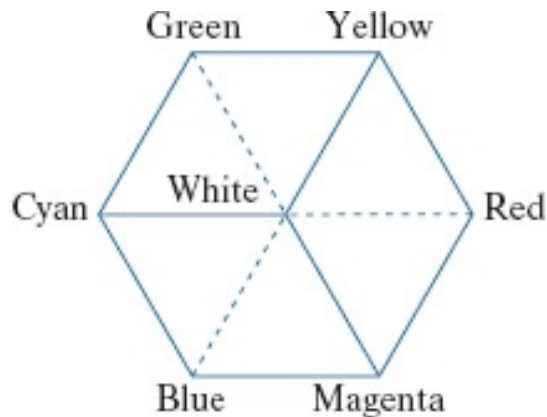
Modelo HSI



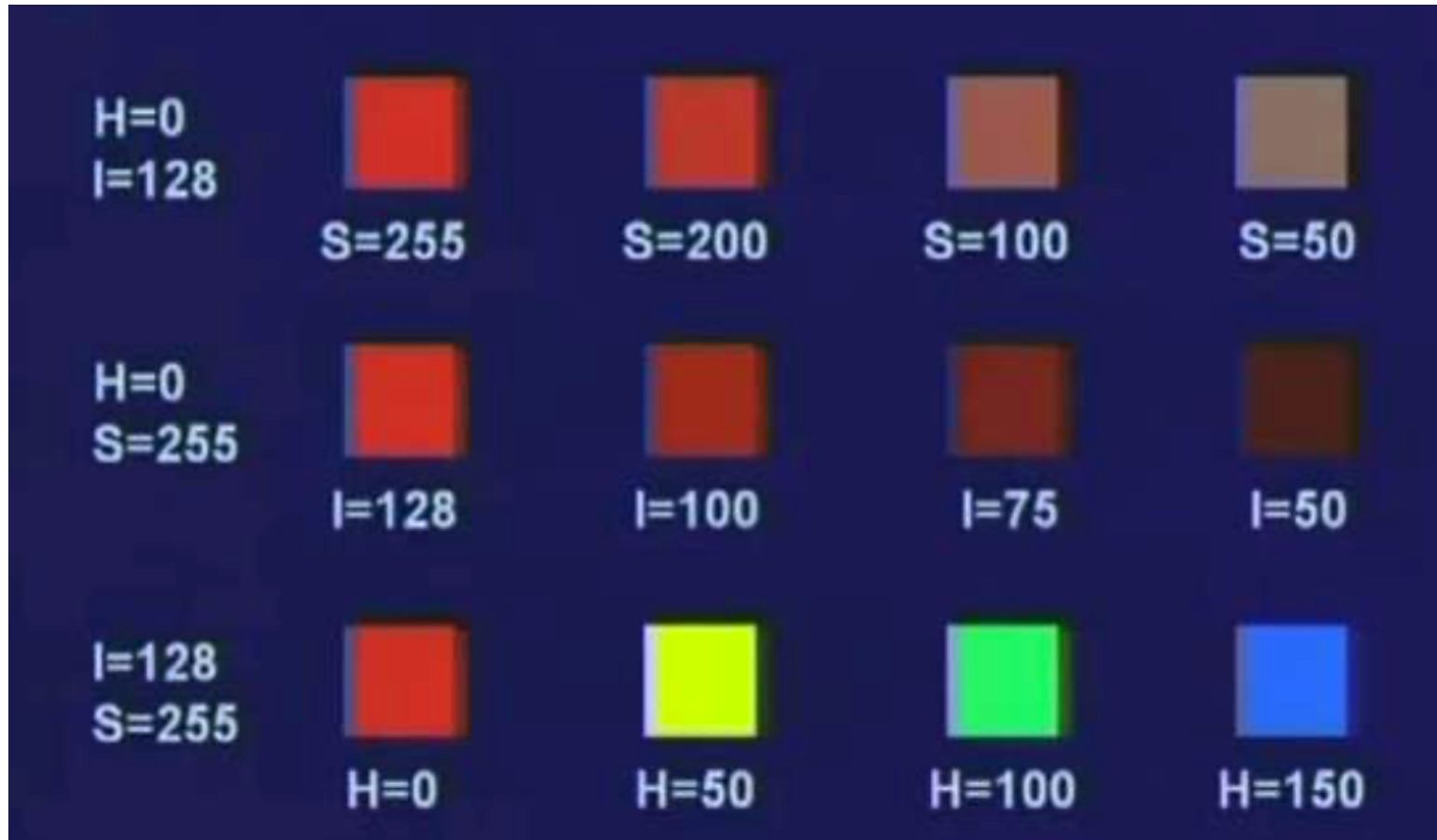
Modelo HSI



- O modelo HSI é definido em coordenadas polares;
- **H** = é a cor pura e é expresso em ângulo, onde 0° representa a cor vermelha.
- **S** = é a “pureza da cor” e é medida pela distância do eixo (raio). Quanto maior a distância, mais saturada (pura) é a cor e menos luz branca é misturada a ela;
- **I** = é medido ao longo do eixo do cone, onde $I = 0$ é o preto e $I = 1$ é o branco (nível de cinza acromático).



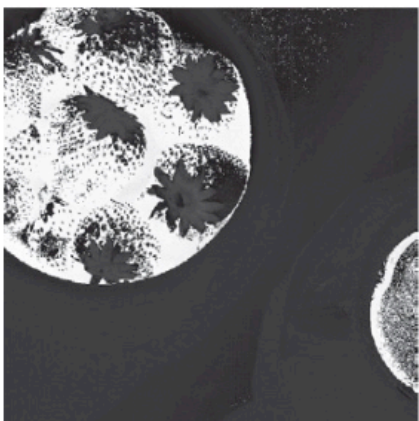
Variações dos canais do Modelo HSI



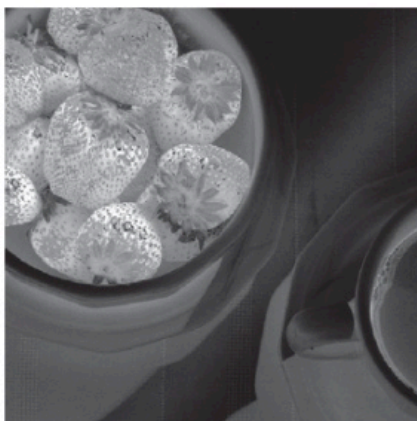
Exemplo de Canais HSI



Colorida



Matiz



Saturação



Intensidade

Exemplo de Canais HSI



Imagem
RGB



H

S



I

Conversão de RGB para HSI



$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

$$\text{HSI} \left\{ \begin{array}{l} H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \\ S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \\ I = \frac{1}{3}(R + G + B) \end{array} \right.$$

Modelos HSV e HSL



- Apresentam pequenas variações ao modelo HSI;
 - **HSV**: Hue, Saturation, **Value**;
 - **HSL**: Hue, Saturation, **Lightness**;
- A principal diferença está na forma de calcular a informação acromática da imagem;
 - I (*Intensity*) = $\text{mean}(R,G,B)$;
 - V (*Value*) = $\text{max}(R,G,B)$;
 - L (*Lightness*) = $\text{mid}(R,G,B) = (\text{max}+\text{min})/2$;

Diferença entre os Canais I, V e L



I

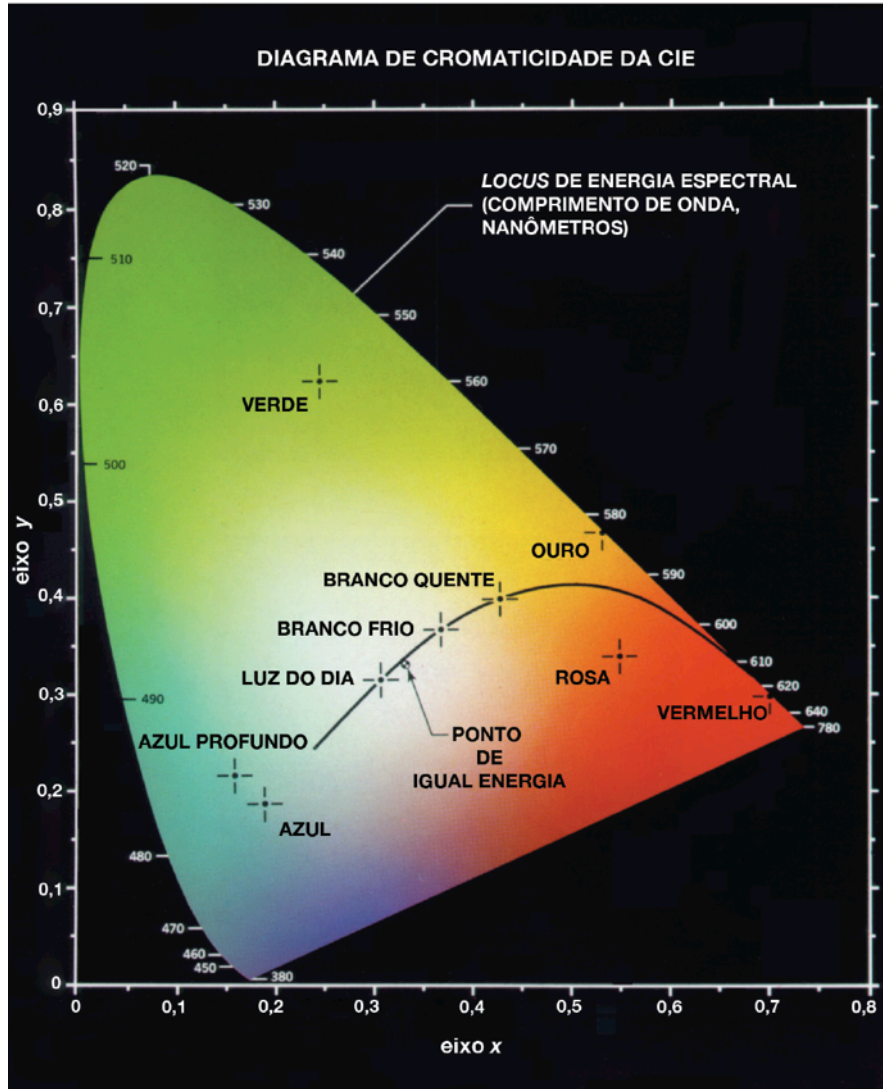


V



L

Diagrama de Cromaticidade



➤ Diagrama definido em 1931 pela CIE (*Commission internationale de l'éclairage*);

➤ Define todas as cores que podem ser obtidas pelas misturas de diferentes comprimentos de onda de luz visível (normalizado);

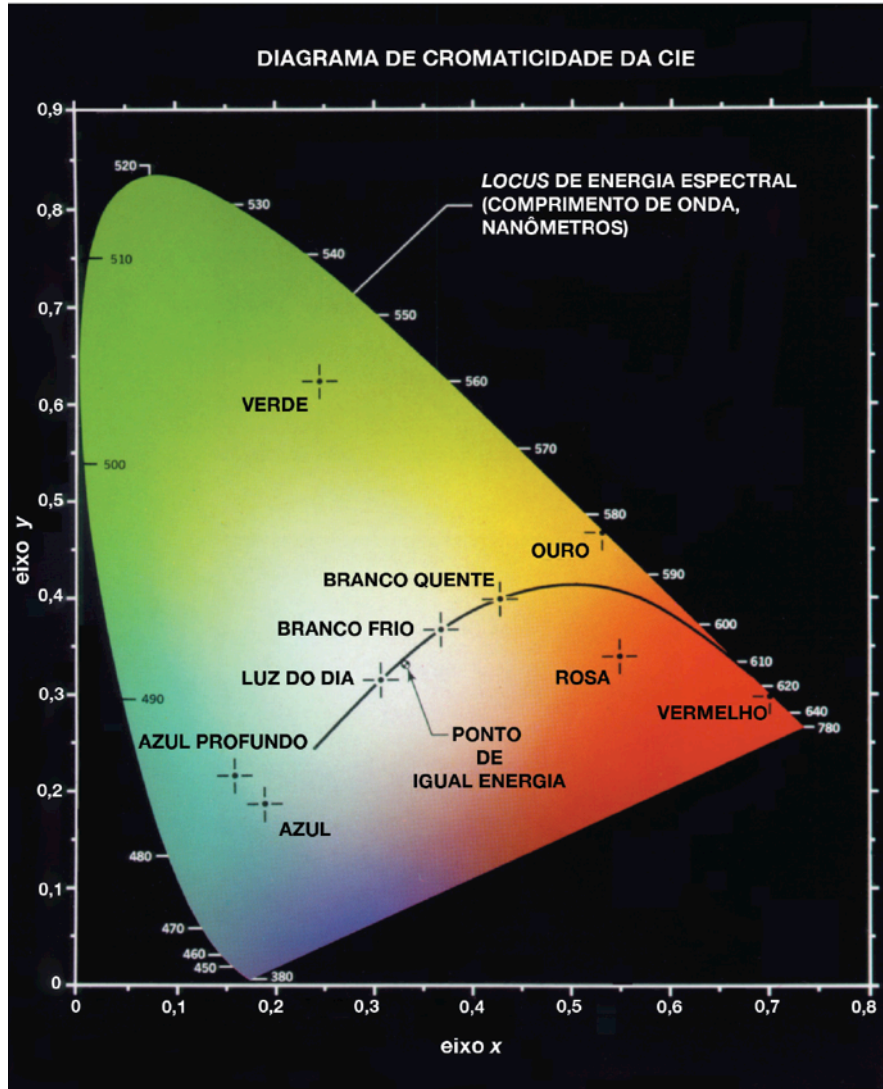
➤ **x** (vermelho);

➤ **y** (verde);

➤ **z** (azul) = $1 - (x + y)$;

➤ Cores puras = fronteira do diagrama = saturação máxima.

Diagrama de Cromaticidade

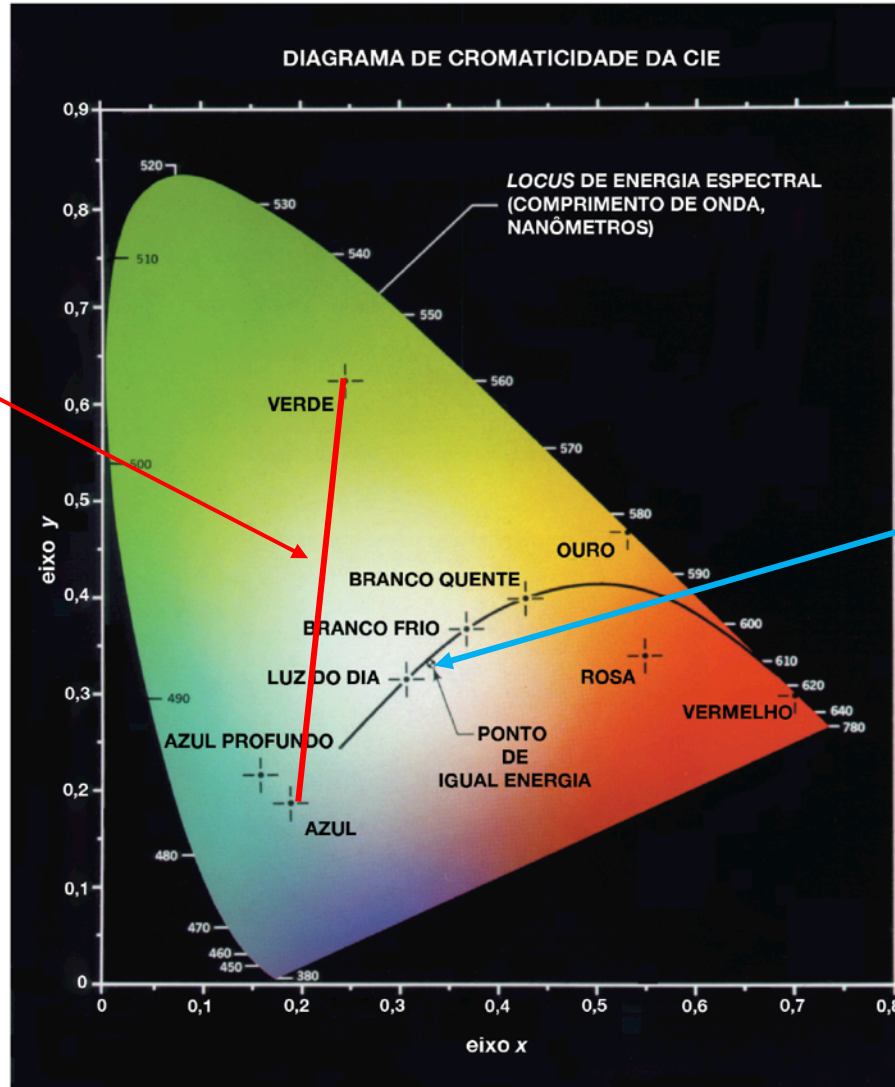


- Indica a proporção com que cada cor primária deve ser misturada para obter qualquer outra cor;
- Mostra a gama de cores (*gamut*) que pode ser percebida por um observador com visão normal;
- Muito útil para comparar *gamut* de cores de diferentes dispositivos, dependendo do modelo de cor utilizado.

Diagrama de Cromaticidade



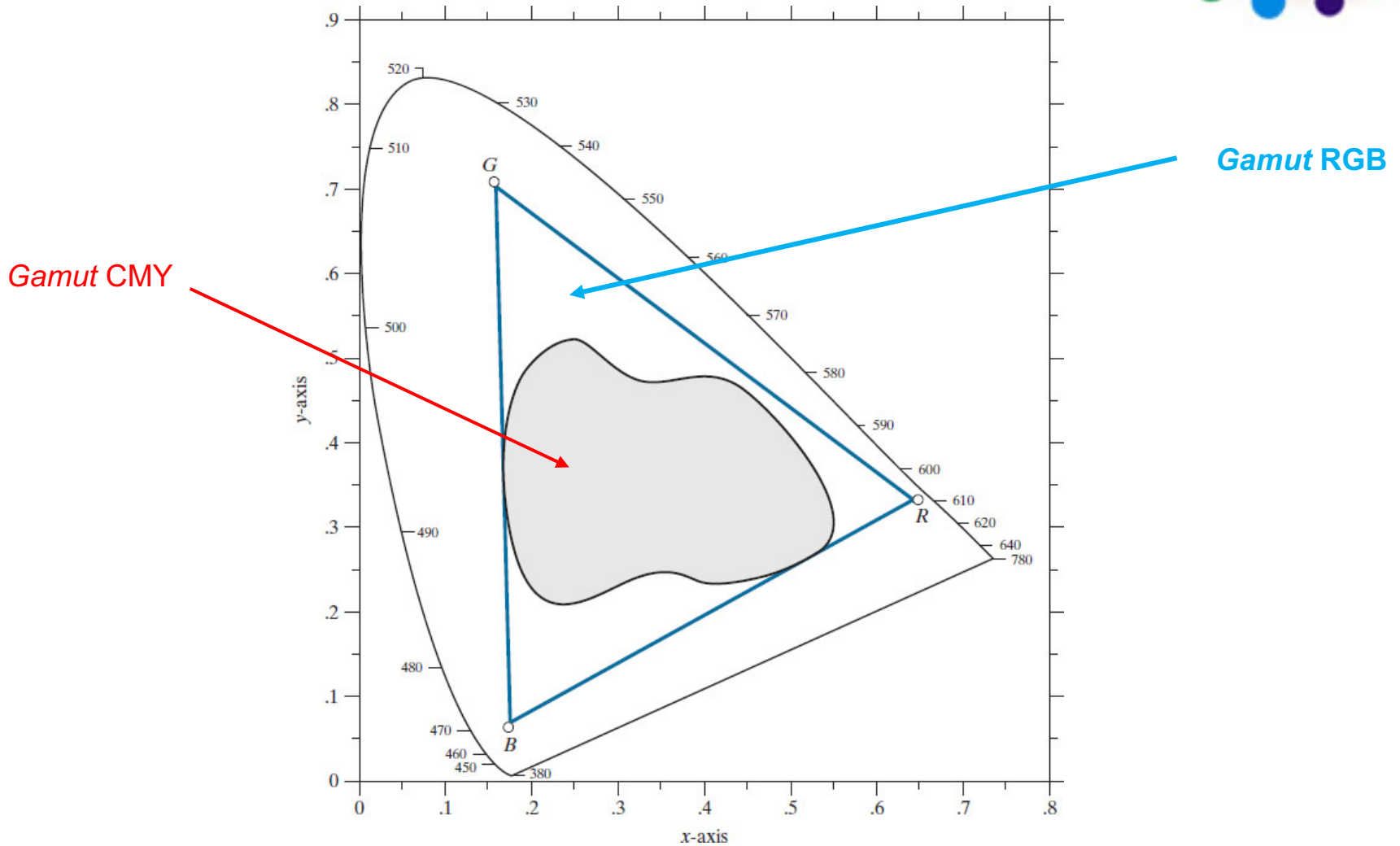
Todas as cores que podem ser formadas pela mistura de azul com verde



Branco:
Saturação = 0;
Adição dos três componentes em igual proporção (0.33, 0.33, 0.33)

Figura 6.5 Diagrama de cromaticidade. (Imagem original: cortesia da General Electric Co., Lamp Business Division.)

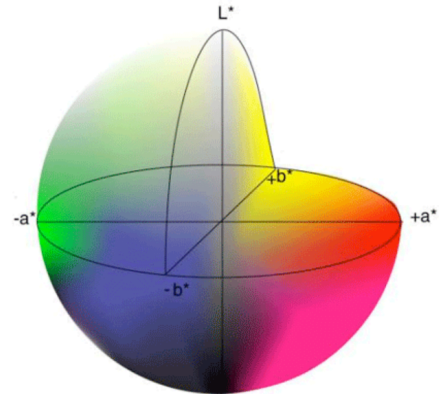
Diagrama de Cromaticidade



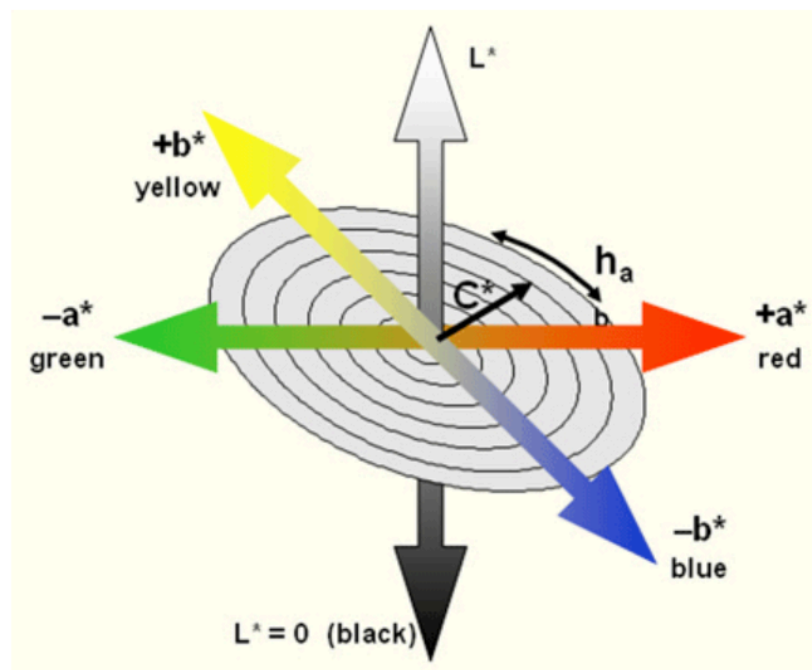
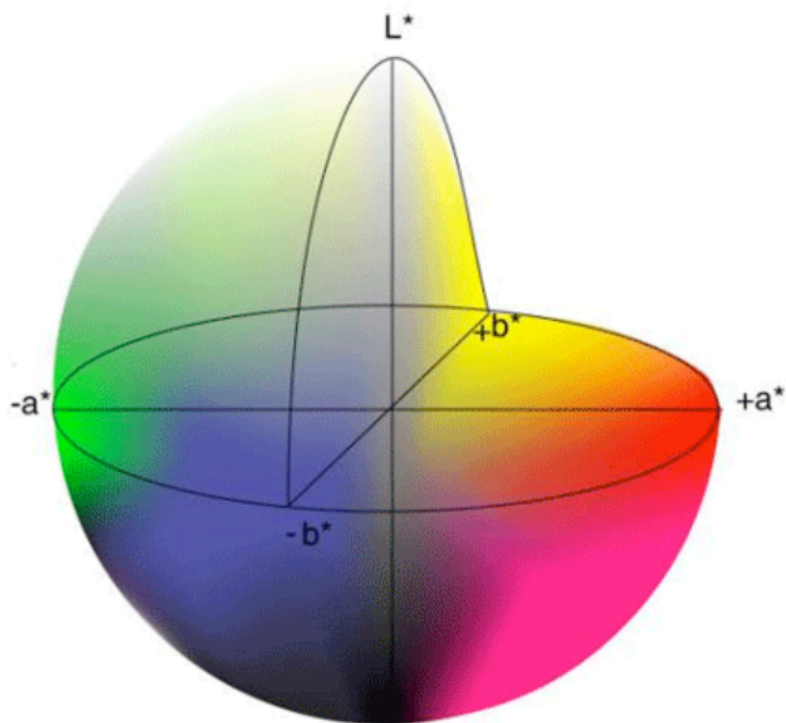
Modelo CIE L*a*b*



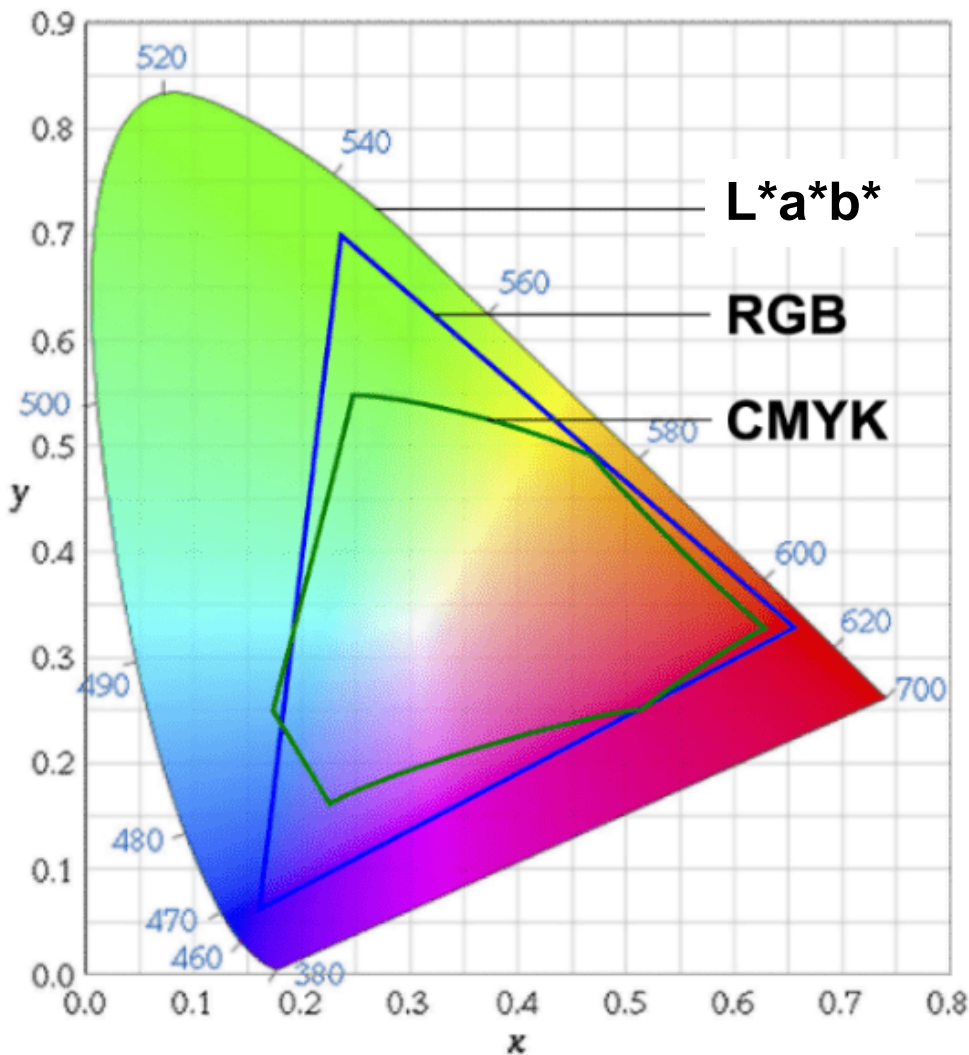
- Modelo de cor proposto em 1976 pela CIE;
- Baseia-se na percepção humana da cor (cores oponentes) pela adição ou soma dos sinais recebidos pelos cones L, M e S:
 - **L*** (Luminância) [0,100]: indica a intensidade acromática (níveis de cinza) da cor;
 - **a*** (red-green) [-128,127]: $(L - M)$;
 - **b*** (blue-yellow): [-128,127]: $\{(L + M) - S\}$;
- Define a cor de forma absoluta, diferente dos modelos RGB ou CMY, por exemplo, que definem a cor adicionando canais de luz ou tinta, respectivamente;



Modelo CIE L*a*b*



Modelo CIE L*a*b*



- Consegue reproduzir todo o *gamut* da visão humana ou seja, todo o digrama de cromaticidade da CIE;
- Muito útil em processamento de imagens pois também consegue separar a informação de intensidade (acromática) da informação de cor de uma imagem.

Diferença entre **L** (HSL) e **L*** (L*a*b*)



L



L*

Conversão de RGB para L*a*b*



- A conversão de RGB para CIE L*a*b* deve ser feita em dois passos:
- Primeiro, deve-se transformar de RGB para o espaço XYZ:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Conversão de RGB para L*a*b*



- Depois, deve-se converter de XYZ para L*a*b* usando uma normalização, que depende das coordenadas da cor branca (X_n, Y_n, Z_n):

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$



Processamento de Imagens Coloridas

Processamento de Imagens Coloridas



- Em geral, o processamento de imagens coloridas pode ser feito individualmente em cada canal de cor, como se cada um deles fosse uma imagem em níveis de cinza;
- No entanto, para garantir que a cor não seja alterada no processamento, deve-se primeiramente converter a imagem colorida para o sistema HSI, HSV, HSL ou $L^*a^*b^*$ e aplicar o processamento apenas no canal acromático (I, V, L ou L^* , respectivamente).

Equalização de histograma



- Equalização de histograma aplicado apenas à componente **I** de uma imagem colorida HSI;
- Note que não houve distorção das informações de cor.



Processamento de Imagens Coloridas



- Filtro passa baixa



a b c

FIGURE 6.40 Image smoothing with a 5×5 averaging mask. (a) Result of processing each RGB component image. (b) Result of processing the intensity component of the HSI image and converting to RGB. (c) Difference between the two results.

Processamento de Imagens Coloridas



- Filtro passa alta



a b c

FIGURE 6.41 Image sharpening with the Laplacian. (a) Result of processing each RGB channel. (b) Result of processing the HSI intensity component and converting to RGB. (c) Difference between the two results.

FIM