

# Fundamentos de Cor

Prof. Antonio L. Apolinário Jr.

---

*Bcc-Dcc-Im-Ufba 2014.2*

## Roteiro

---

- ❖ Diferentes abordagens para cor:
  - ❖ Sensorial
  - ❖ Físico
- ❖ Modelos
  - ❖ Matemático
  - ❖ Representação
  - ❖ Implementação

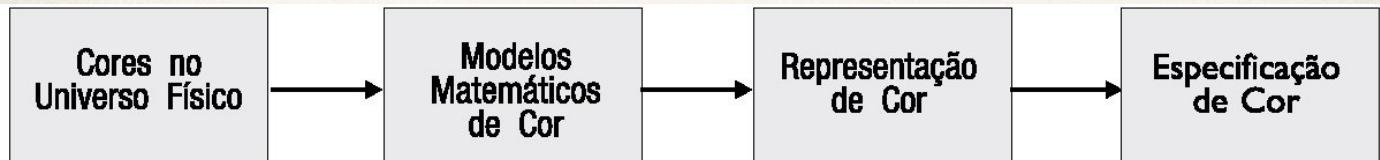
# Leitura de referencia

- Capítulo 28  
**Computer Graphics : Principles and Practice  
Third Edition in C**  
John F. Hughes / Andries van Dam  
Morgan McGuire / David F. Sklar  
James D. Foley / Steven K. Feiner  
Addison-Wesley. 2013.
- Capítulo 6  
**Processamento Digital de Imagens**  
3a. edição  
GONZALEZ, R. C.  
WOODS, R. E.  
PEARSON EDUCATION DO BRASIL - 2010.



## Diferentes abordagens

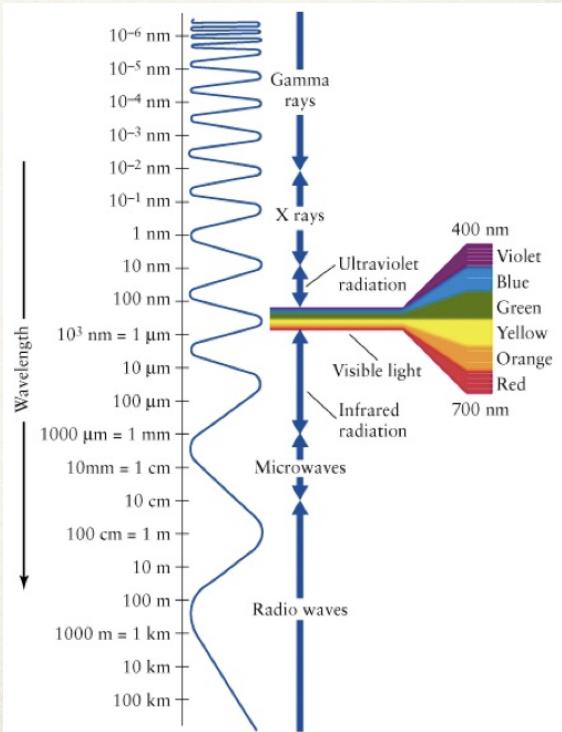
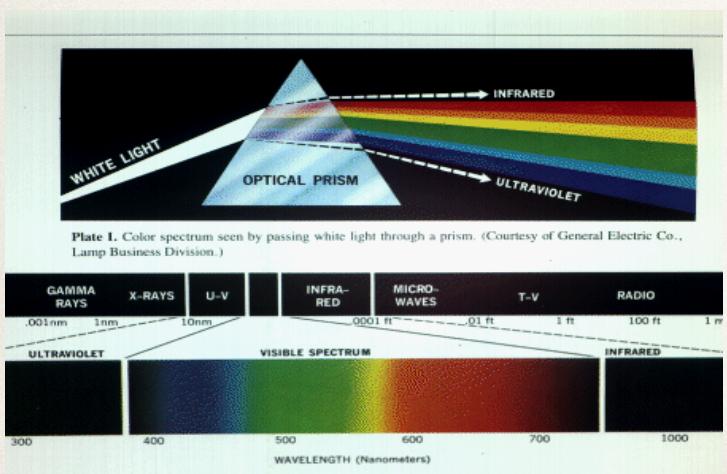
# Diferentes Abordagens



**Figura 5.1** Paradigmas no estudo de cor.

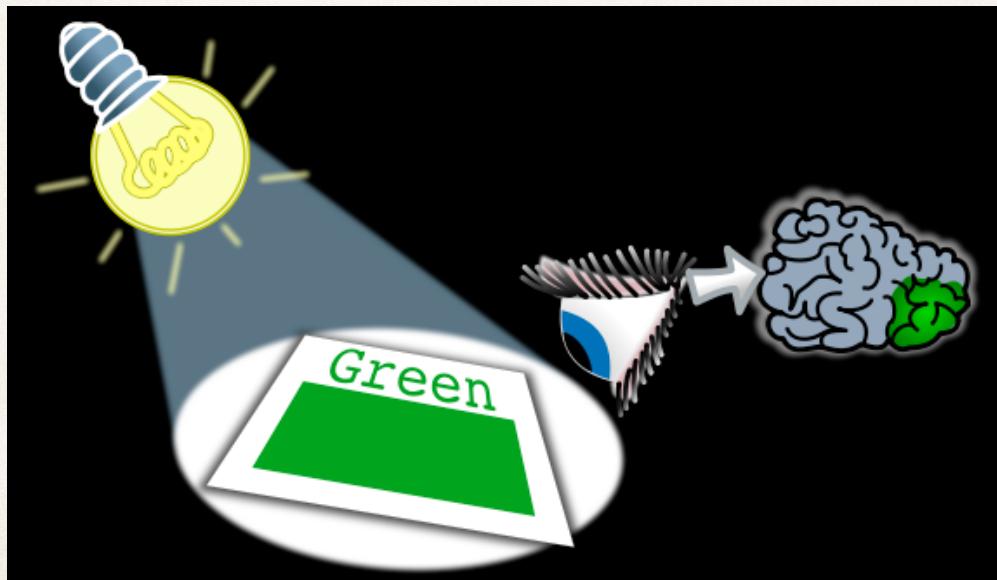
## Cor - Fenômeno Físico

- Luz é uma onda eletromagnética
  - Diversos comprimentos de onda
  - Apenas alguns visíveis



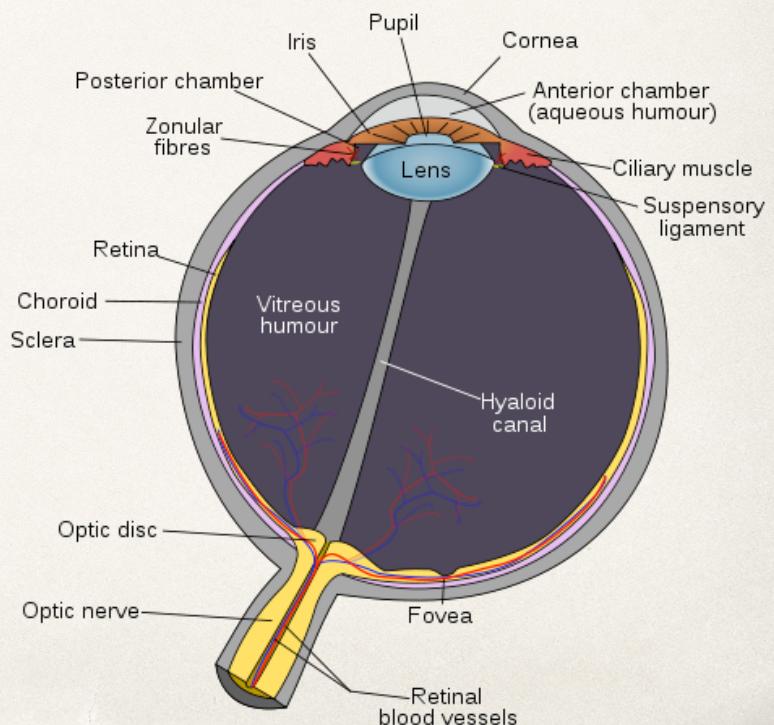
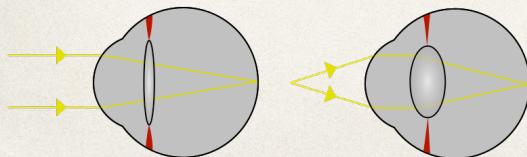
# Cor – Interpretação Sensorial

- A sensação visual de cor depende do sistema visual humano



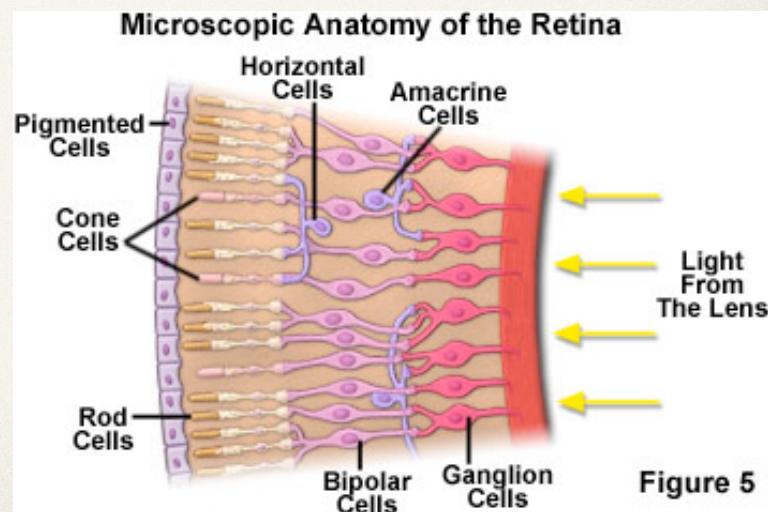
# Cor – Interpretação Sensorial

- Sistema visual humano:
  - Córnea
  - Pupila
  - Íris
  - Cristalino (lentes)
  - Retina
  - Fóvea
  - Nervo Óptico



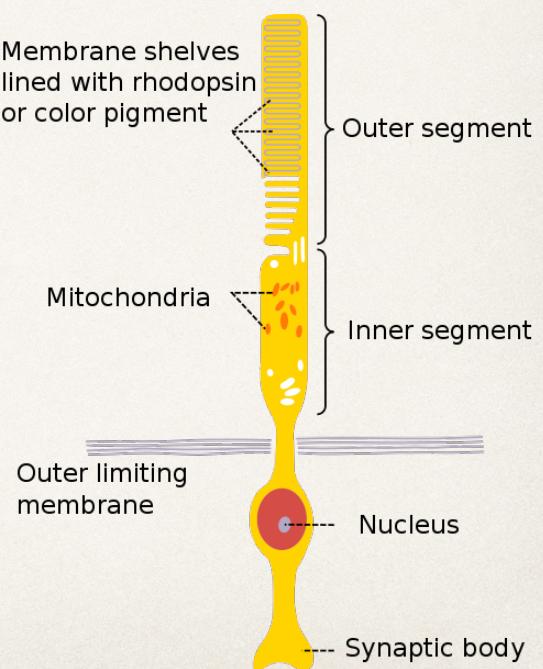
# Cor – Interpretação Sensorial

- No tecido da retina encontram-se as células responsáveis pela detecção de luz e cor:
  - Bastonetes
  - Cones



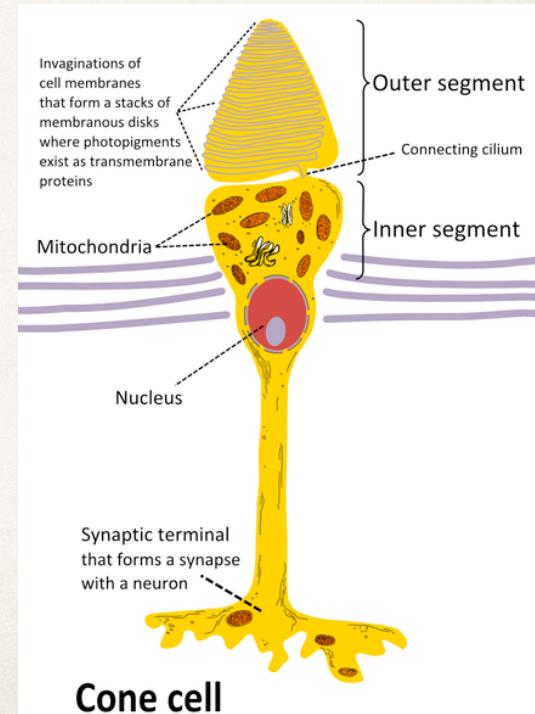
# Cor – Interpretação Sensorial

- Bastonetes
  - Formato cilíndrico
  - Em média 92 milhões de células na retina
  - Concentram-se nas regiões externas da retina
    - responsável pela visão periférica
  - Respondem a intensidade mais baixa de luz
    - visão noturna
    - Pico de sensibilidade em 498 nm



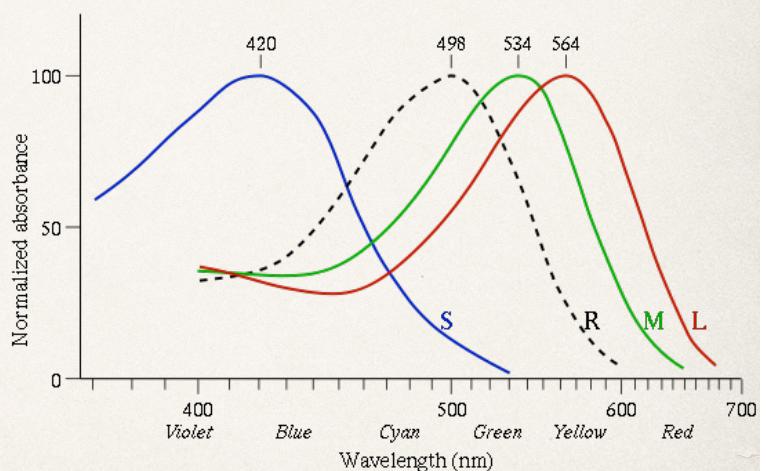
# Cor – Interpretação Sensorial

- Cones:
  - Formato de cone
  - Em média 4.5 milhões de células
    - Concentram-se na região da fóvea
    - Tornam-se mais esparsos na região externa da retina
  - Menos sensíveis a luz que os bastonetes
    - Permitem a percepção de cor
    - Percebem mais detalhes finos
  - Respondem mais rápido a estímulos que os bastonetes
    - Mudanças na imagem



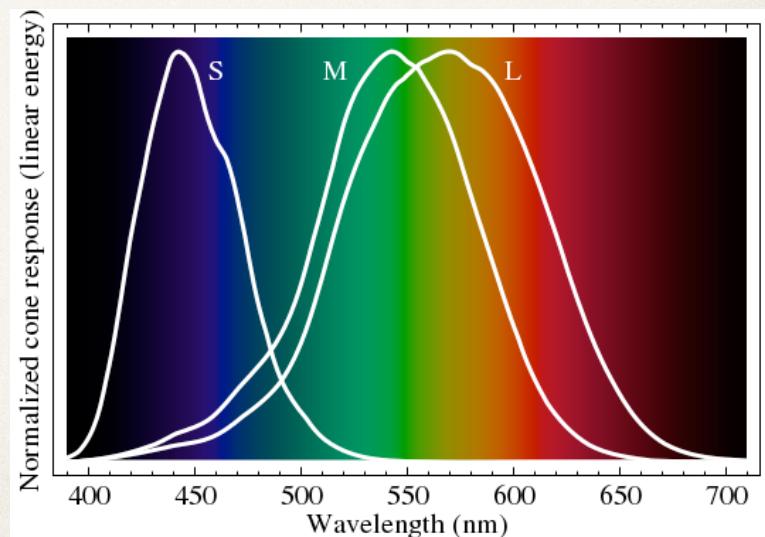
# Cor – Interpretação Sensorial

- Cones:
  - Possuem 3 tipos:
    - L
      - Comprimentos de onda longos 564–580 nm
      - Vermelho
    - M
      - Comprimento de onda médios 534–545 nm
      - Verde
    - S
      - Comprimentos de onda curtos 420–440 nm
      - Azul



# Cor – Interpretação Sensorial

- Visão Tricomática:
  - Cores são percebidas como a combinação dos estímulos dos 3 diferentes tipos de cones



# Cor – Interpretação Sensorial

- Resumindo
  - Cores - 3 tipos de cones
  - Luminosidade e visão periférica - bastonetes

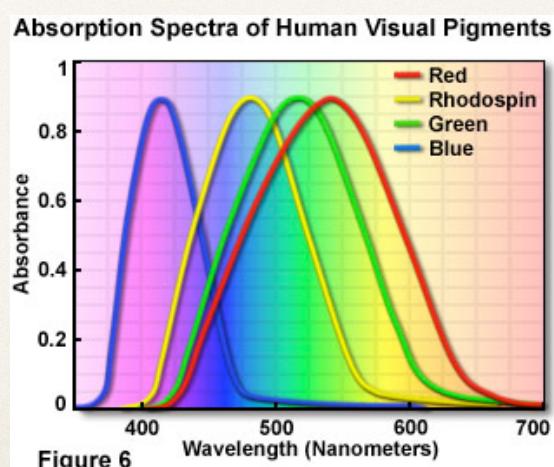
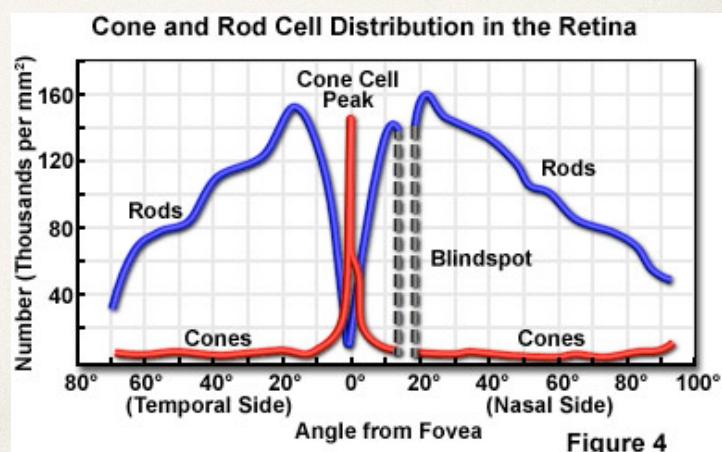


Figure 6

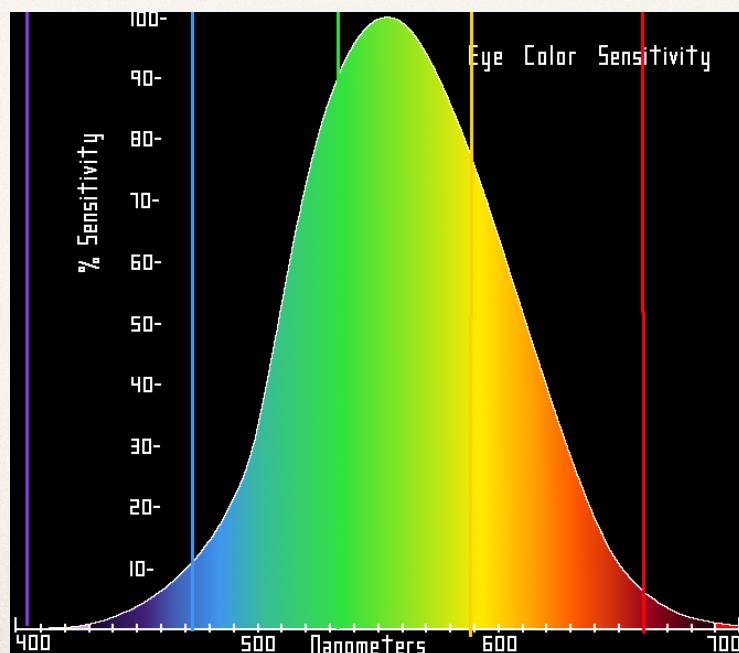
# Cor – Interpretação Sensorial

- Diferente distribuição de células na retina:
  - Área periférica predominam os bastonetes
    - $\pm 30K$  bastonetes por  $mm^2$
  - Fóvea tem predomínio de cones
    - $\pm 150K$  cones por  $mm^2$



# Cor – Interpretação Sensorial

- Sensibilidade do olho é mais alta na faixa central do espectro visível



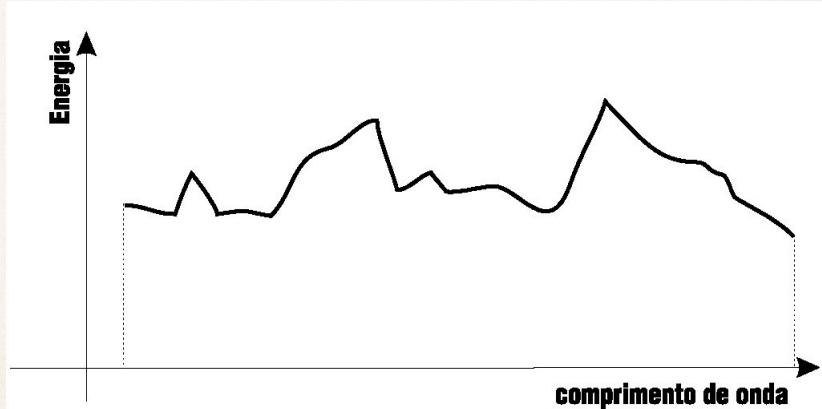
# Modelo Matemático

---

## Cor – Modelo Matemático

---

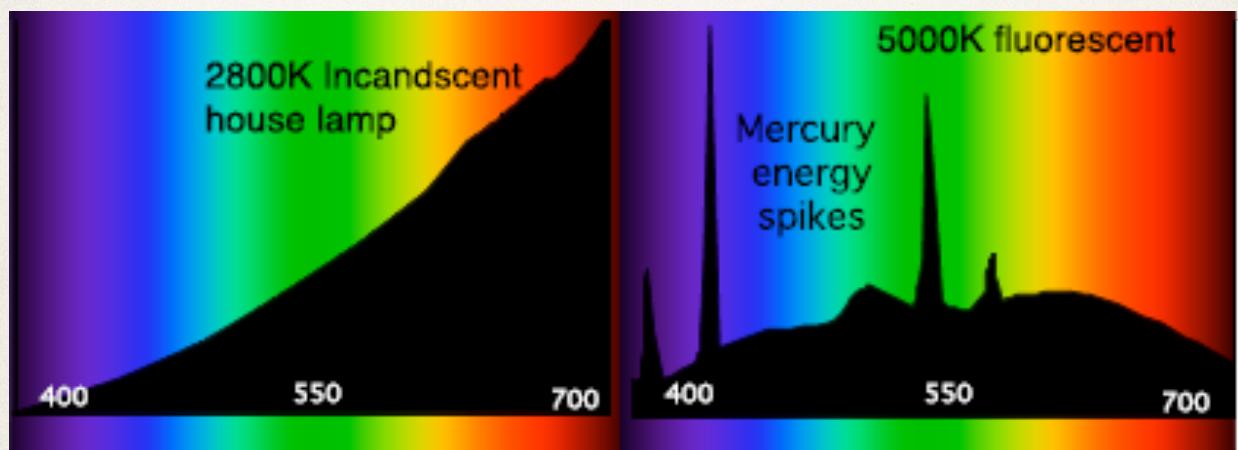
- Descrição matemática de uma cor é dada por uma função que associa a cada comprimento de onda ( $\lambda$ ) uma intensidade (energia).
- $C = \int C(\lambda) d\lambda$



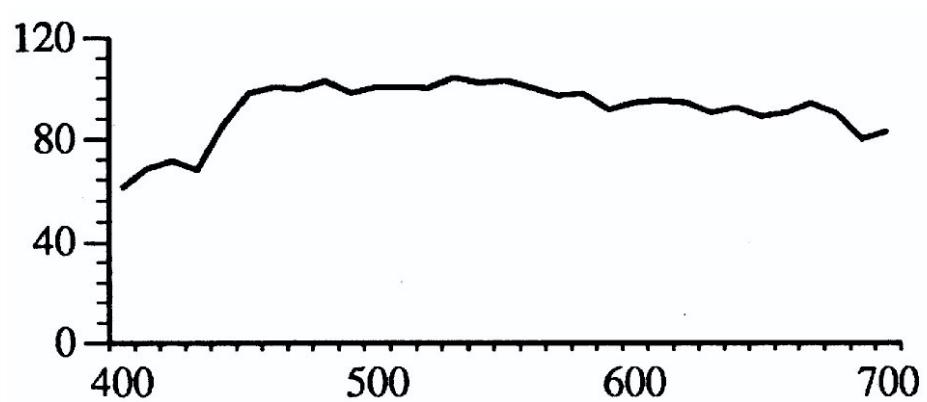
**Figura 5.2** Função de distribuição espectral.

# Cor – Modelo Matemático

- Cada tipo de luz possui sua assinatura espectral



# Cor – Modelo Matemático

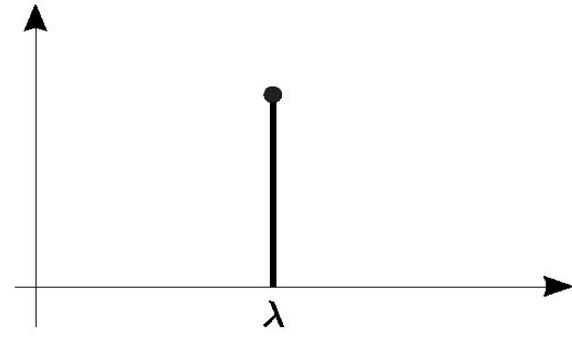


**Figura 5.4** Distribuição espectral do branco solar.

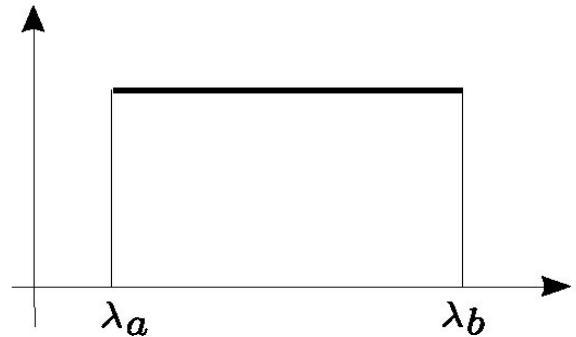
# Cor – Modelo Matemático

---

• Cor Pura



• Cor Branca

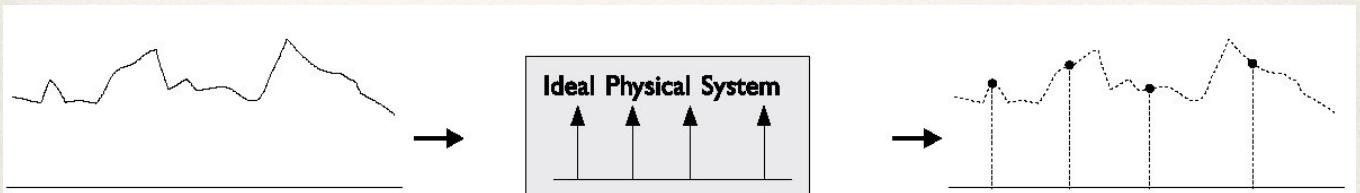


**Figura 5.3** Cor espectral pura e cor branca.

## Modelo de Representação

---

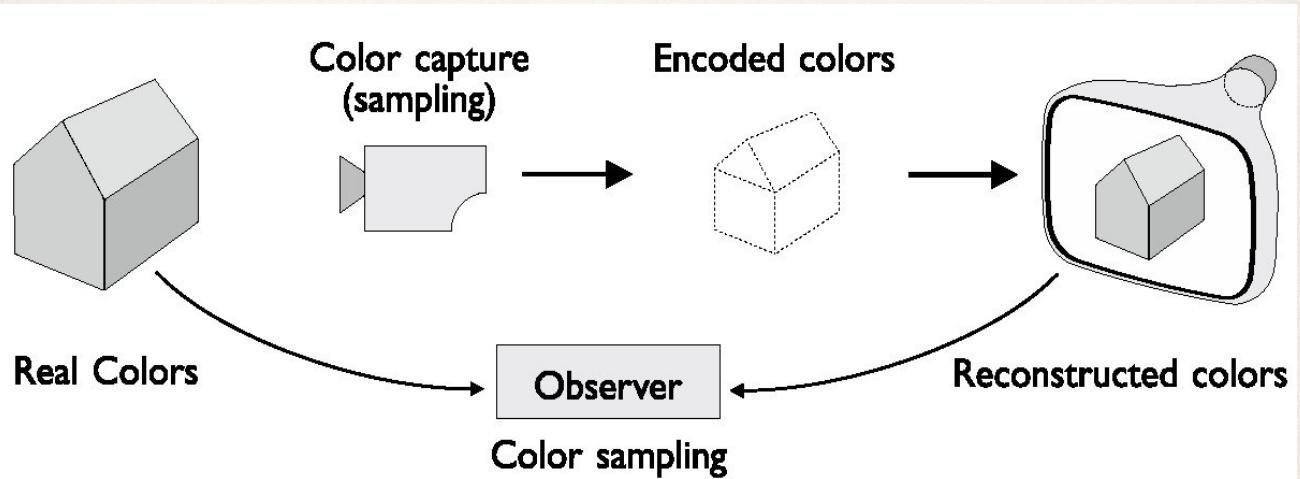
# Cor – Modelo de Representação



**Figura 5.5** Amostragem de cor.

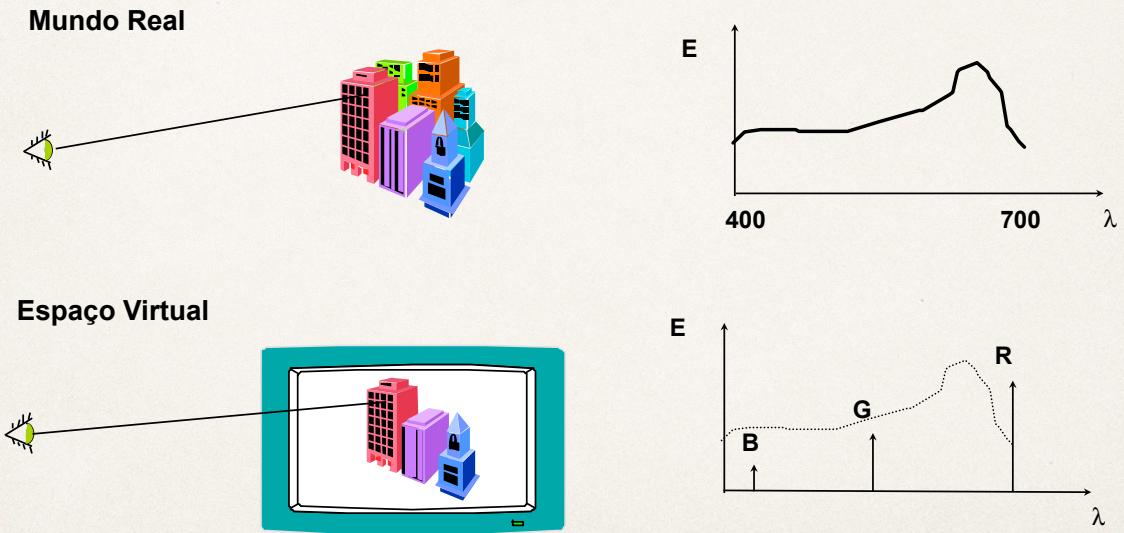
$$C_r(\lambda) = \sum_{k=1}^n c_k P_k(\lambda).$$

# Cor – Modelo de Representação

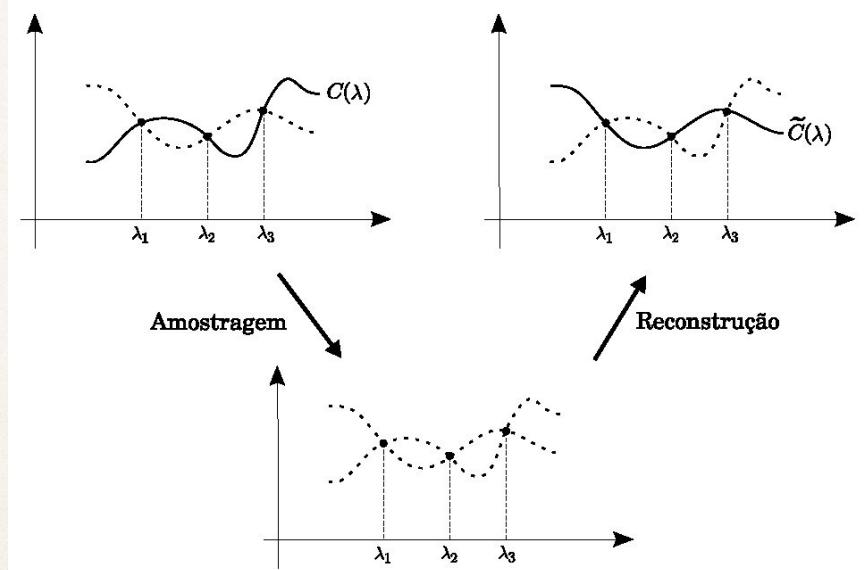


**Figura 5.8** Amostragem e Reconstrução.

# Cor – Modelo de Representação



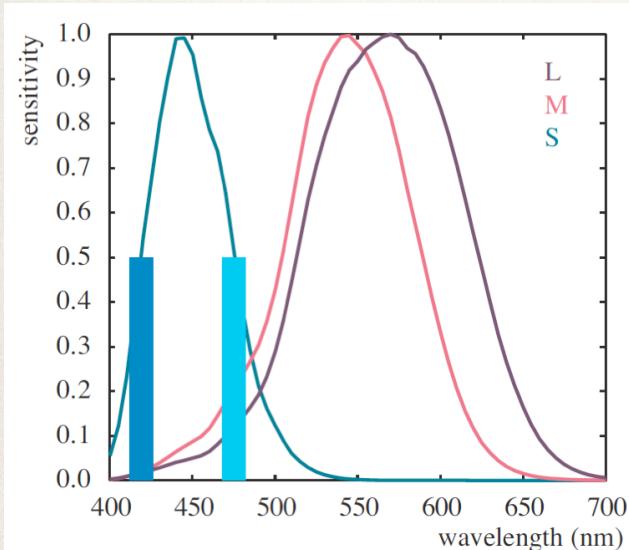
# Cor – Modelo de Representação



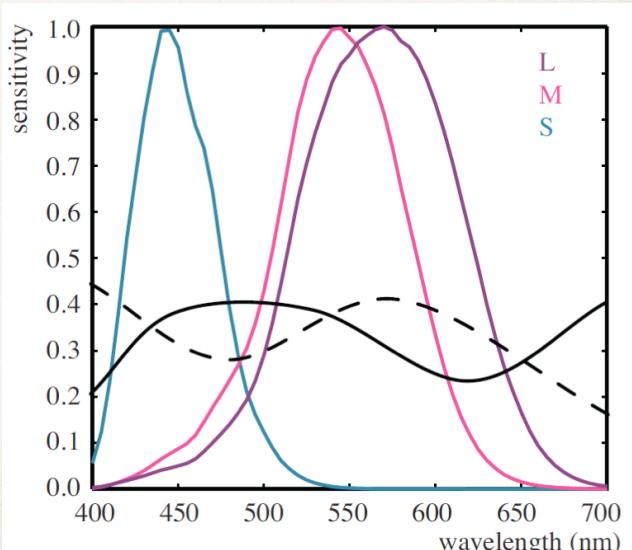
**Figura 5.7** Reconstrução perceptualmente equivalente.

# Cor – Modelo de Representação

- Univariância

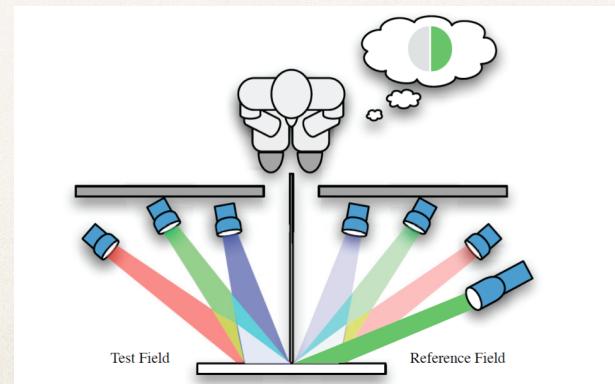


- Metamerismo



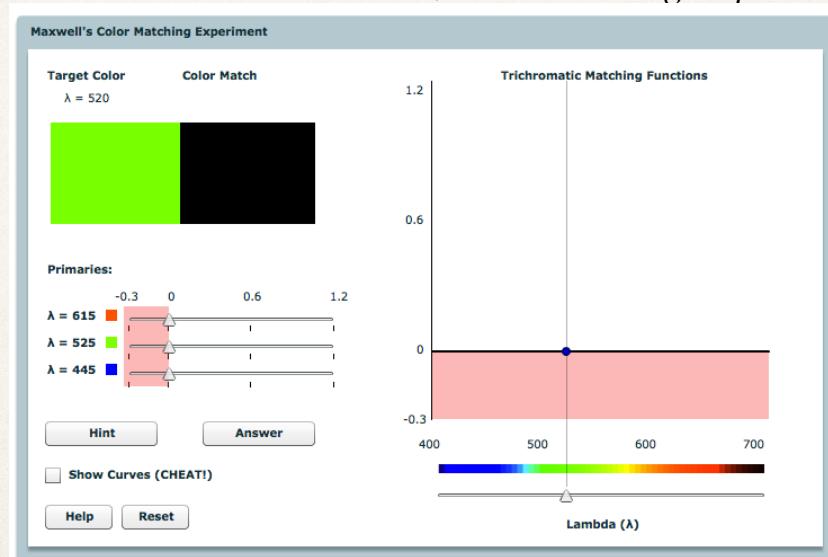
# Cor – Modelo de Representação

- Experimento do casamento de cores (*Color Matching Experience*)
  - Dada uma cor qualquer, ajustar a intensidade das 3 cores primárias (RGB) de forma a obter aquela cor.
    - Mudança apenas da intensidade
  - O teste cobre todo o espectro de cores visíveis



# Cor – Modelo de Representação

- Experimento do casamento de cores (*Color Matching Experience*)



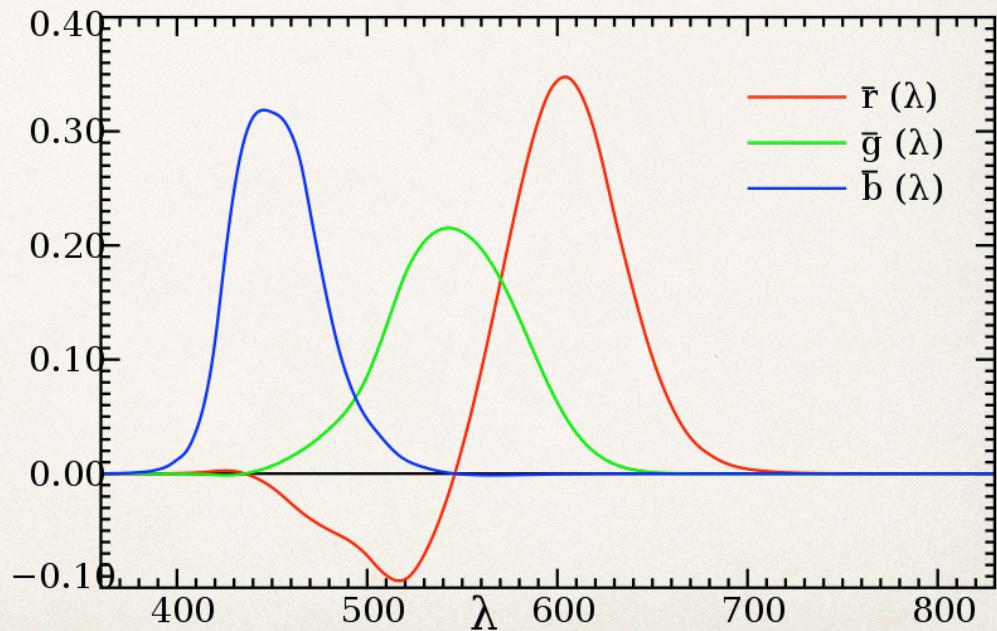
• <http://courses.cs.washington.edu/courses/cse131/12sp/applets/colormatching.html>

# Cor – Modelo de Representação

- Experimento do casamento de cores (*Color Matching Experience*)
  - Nem todas as cores podem ser geradas assim.
    - Adicionar uma das cores a cor de teste
    - Controlar as duas cores restantes
    - Nesses casos a quantidade da cor adicionada é considerado um valor negativo.

# Cor – Modelo de Representação

- CIE-RGB:
  - $r = 435.8 \text{ nm}$
  - $b = 546.1 \text{ nm}$
  - $g = 700 \text{ nm}$



# Cor – Modelo de Representação

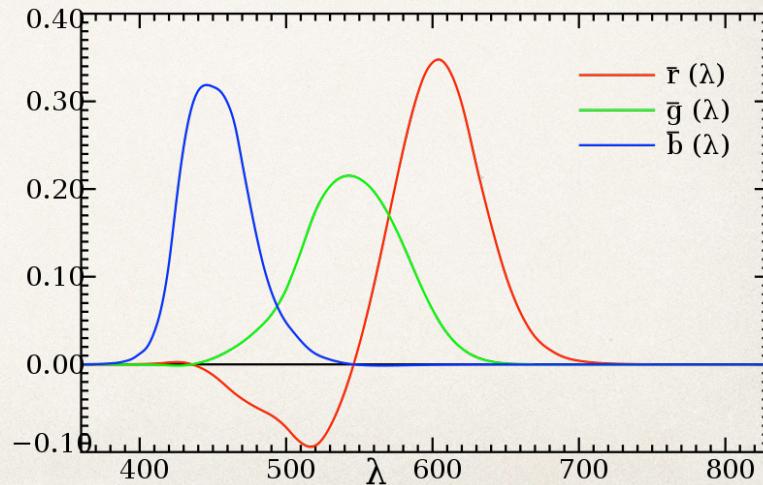
- CIE-RGB:

- Uma cor é definida pela composição das distribuições dadas por  $r, g, b$

$$R = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \cdot \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

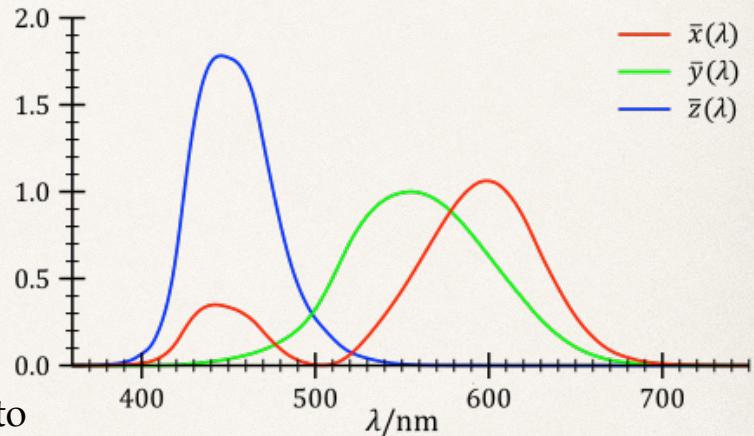
$$G = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \cdot \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \cdot \bar{b}(\lambda) d\lambda$$



# Cor – Modelo de Representação

- CIE-XYZ
  - Transformação linear do CIE-RGB que elimina valores negativos
  - Representação a partir de cores “imaginárias”
  - Não é possível reproduzir o experimento de casamento de cores.



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

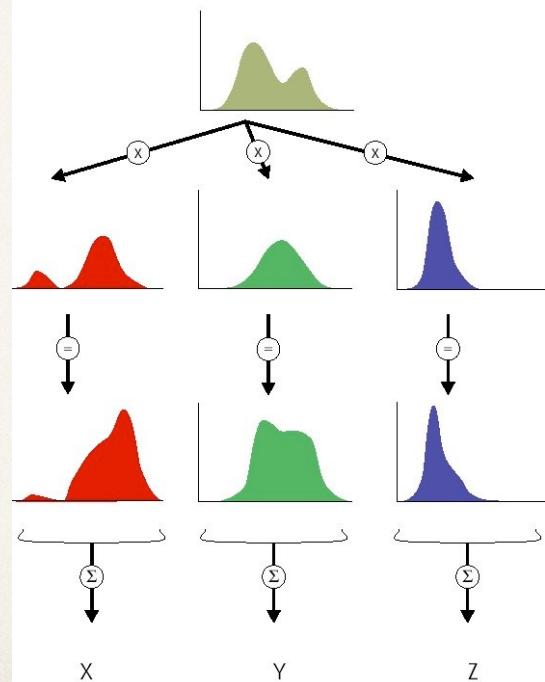
# Cor – Modelo de Representação

- CIE-XYZ
  - Y - Luminância
  - X,Z - informação cromática

$$X = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

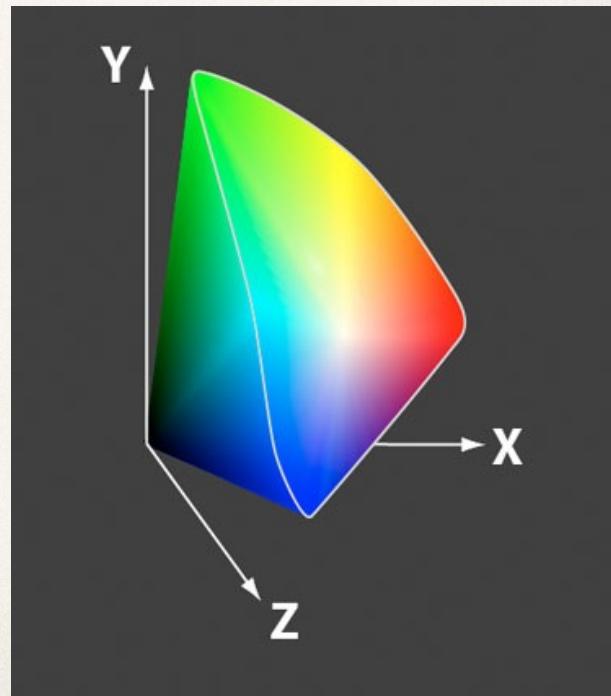
$$Y = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$



# Cor – Modelo de Representação

- Diagrama de cromaticidade CIE XYZ



# Cor – Modelo de Representação

- Diagrama de cromaticidade CIE xyY
  - Normalização das coordenadas XYZ

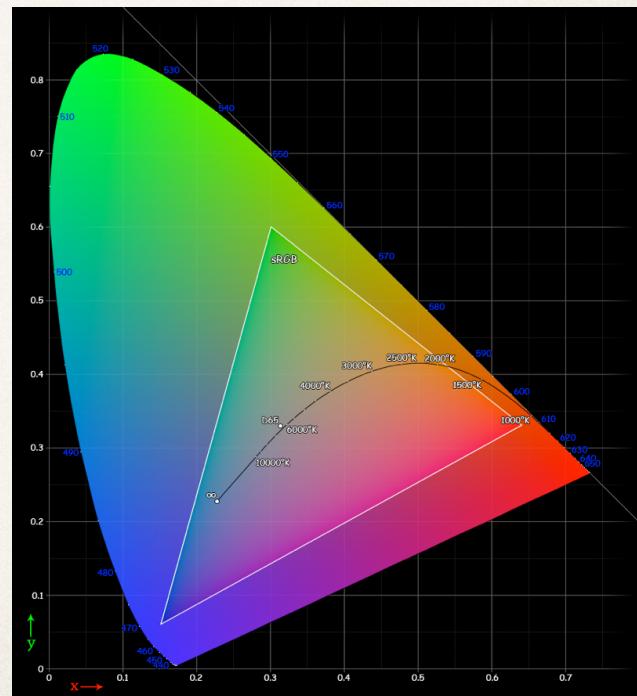
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

$$x + y + z = 1$$

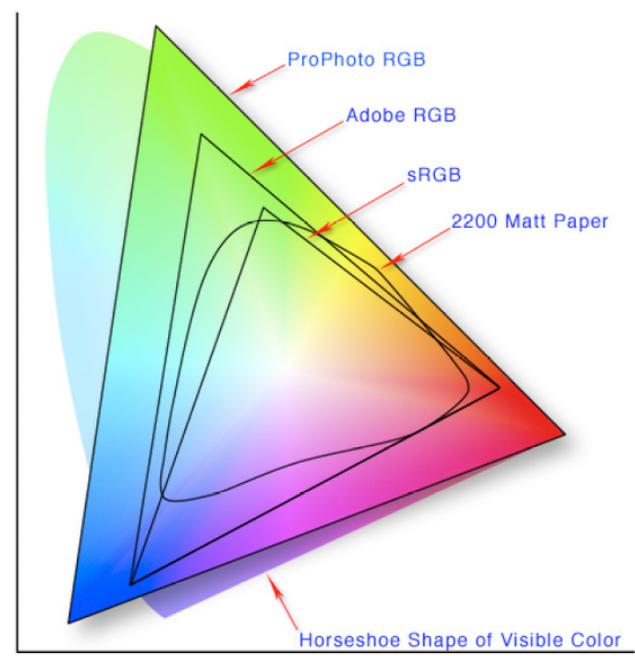
$$X = \frac{x}{y} Y, y = Y, Z = \frac{z}{y} Y \Rightarrow (X, Y, Z) = Y \left( \frac{x}{y}, 1, \frac{1-x-y}{y} \right)$$



# Cor – Modelo de Representação

---

- CIE-xyY
  - Outros sistemas
  - gamuts diferentes



## Sistemas de Cores

---

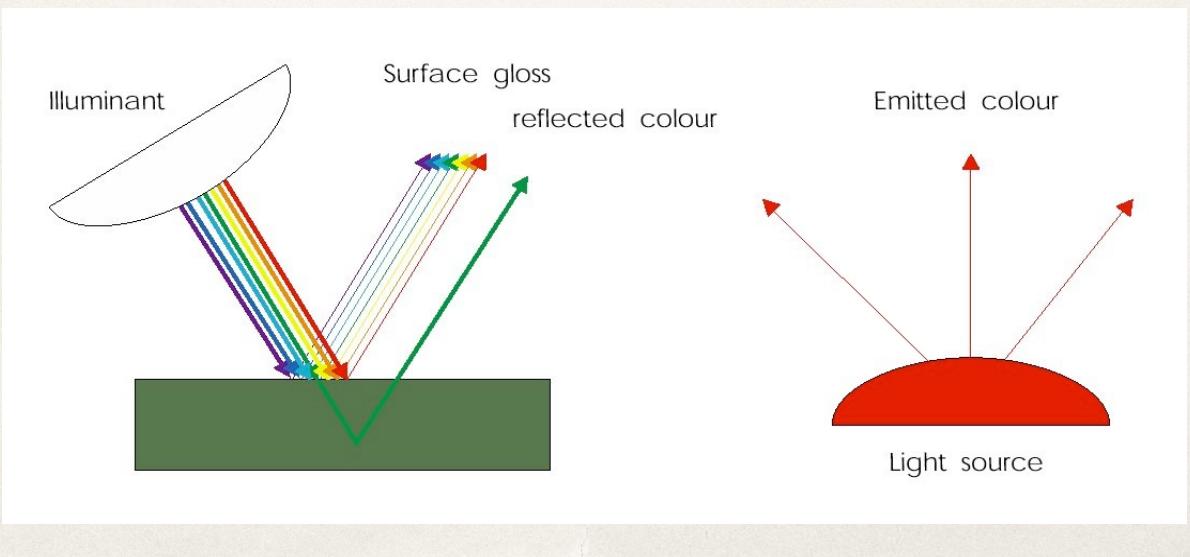
# Sistemas de Cores

- Dispositivos
- Padrões
  - Munsell
  - Pantone
- Computacional
- Interface



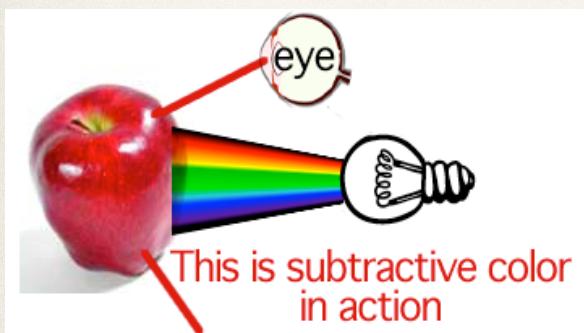
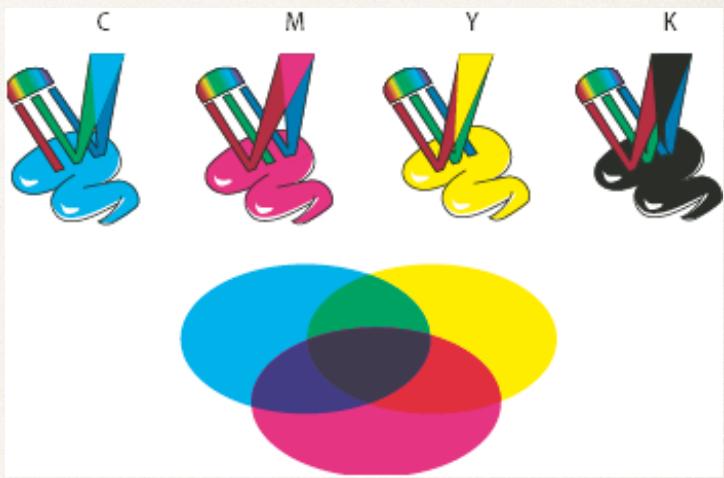
# Sistemas de Cores

- Dispositivos
  - Subtrativos ou Refletores
- Aditivos ou Emissores



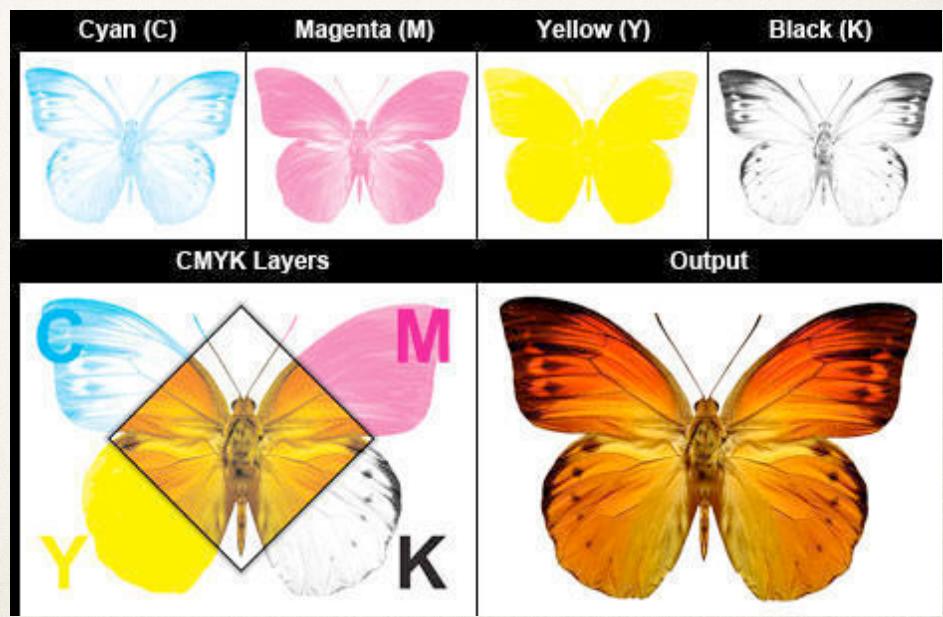
# Sistemas de Cores

- Dispositivos subtrativos



# Sistemas de Cores

- Impressão baseada em pigmentos



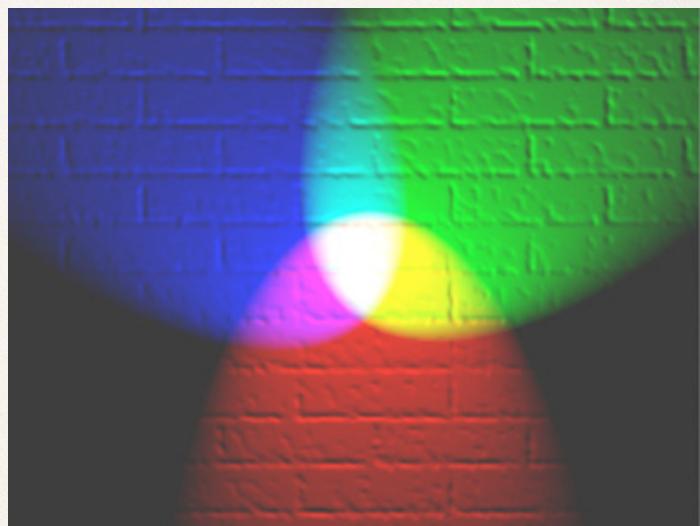
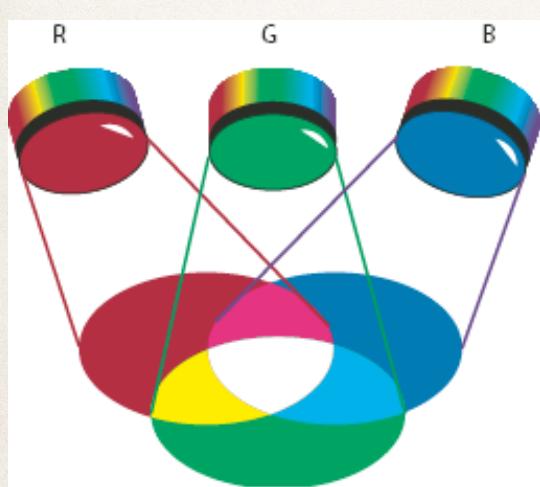
# Sistemas de Cores

- Impressão baseadas em pigmentos



# Sistemas de Cores

- Dispositivos aditivos



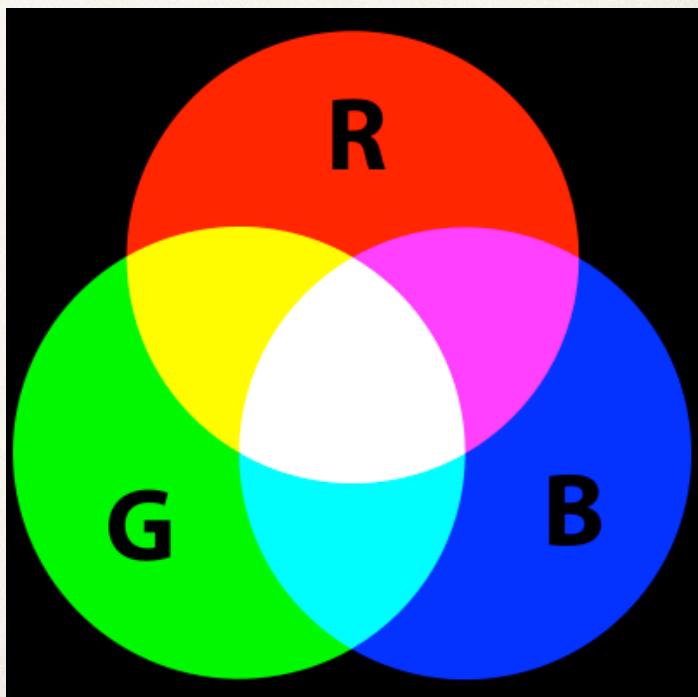
# Sistemas de Cores

- Dispositivos aditivos



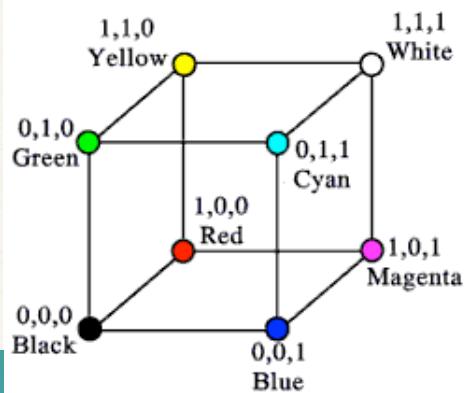
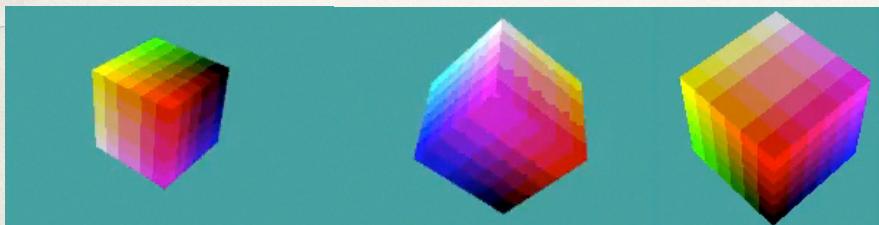
# Sistemas de Cores

- Sistema RGB
  - Aditivo
  - utilizado em dispositivos baseados em emissão de luz



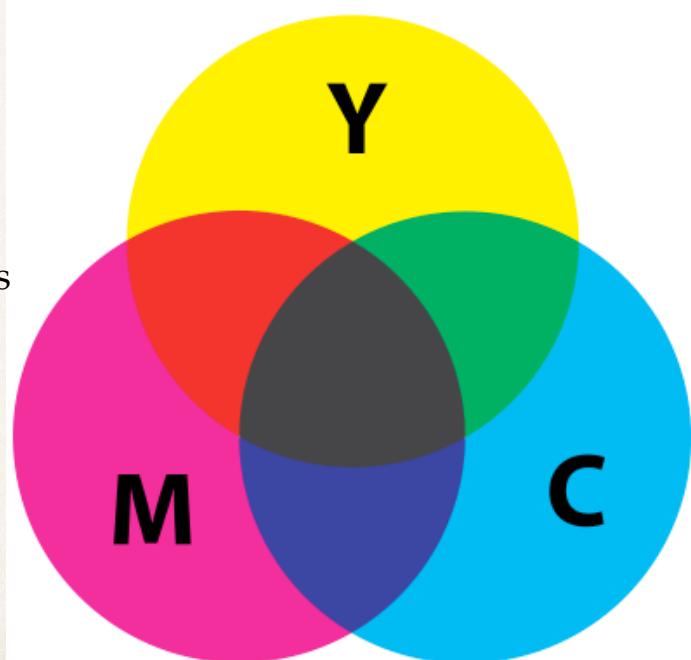
# Sistemas de Cores

- Sistema RGB
  - Gráfico é um cubo sólido
  - Diagonal encontram-se os tons de cinza
  - Cores complementares nas diagonais das faces



# Sistemas de Cores

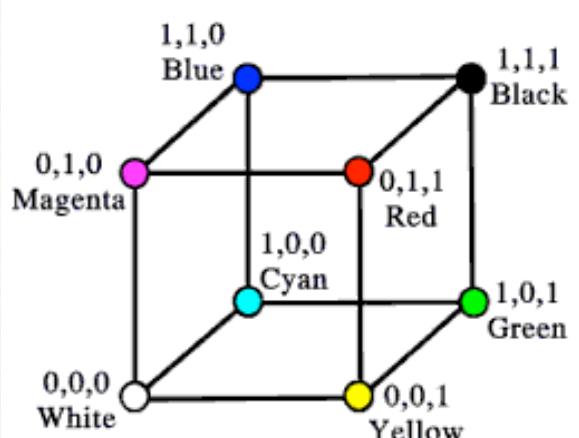
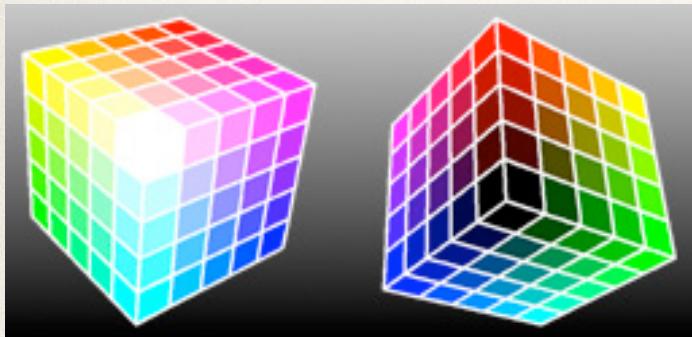
- Sistema CMY
  - Subtrativo
  - Baseados nas cores complementares ao RGB
  - Muito utilizado em dispositivos de impressão



# Sistemas de Cores

## • Sistema CMY

- Gráfico é um cubo sólido
- Diagonal encontram-se os tons de cinza
- Cores primárias nas diagonais das faces



# Sistemas de Cores

## • Complementariedade entre RGB e CMY

$$R = 1 - C$$

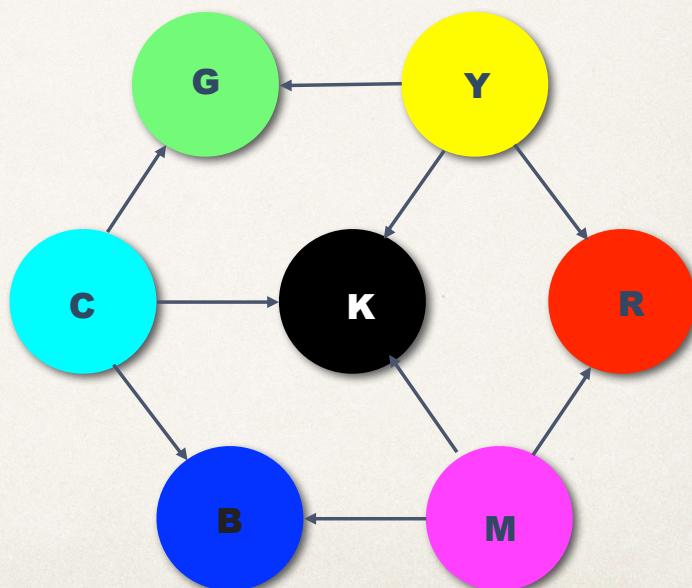
$$G = 1 - M$$

$$B = 1 - Y$$

$$C = 1 - R$$

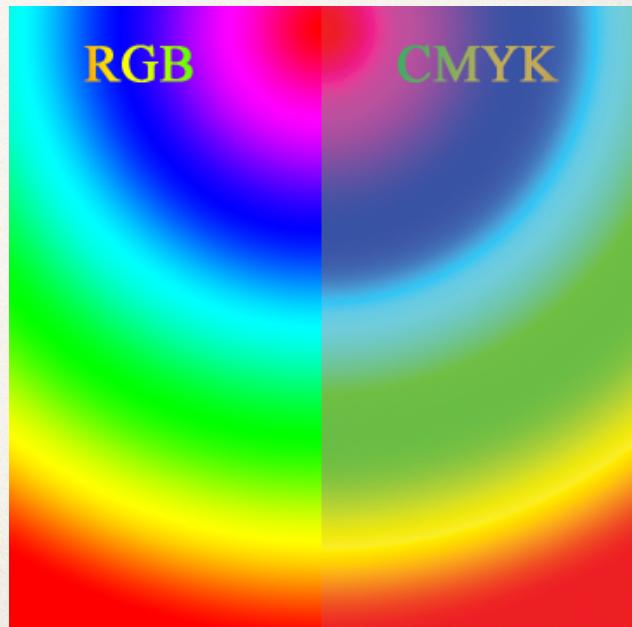
$$M = 1 - G$$

$$Y = 1 - B$$



# Sistemas de Cores

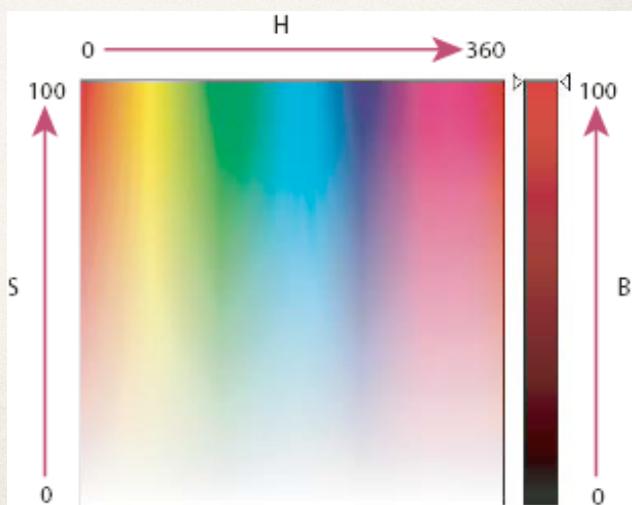
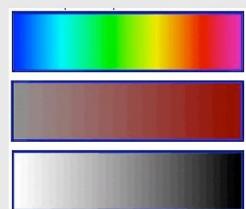
- RGB x CMY
  - Diferença de representação



# Sistemas de Cores

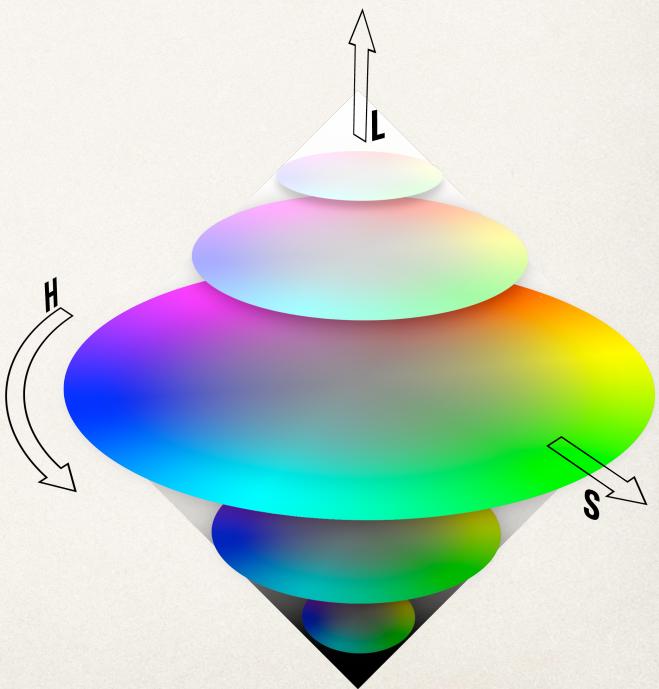
- HSL
  - Matiz
  - Saturação
  - Luminosidade
- Representação mais utilizada por artistas e profissionais que lidam com cores

- HUE
- SATURATION
- LIGHTNESS



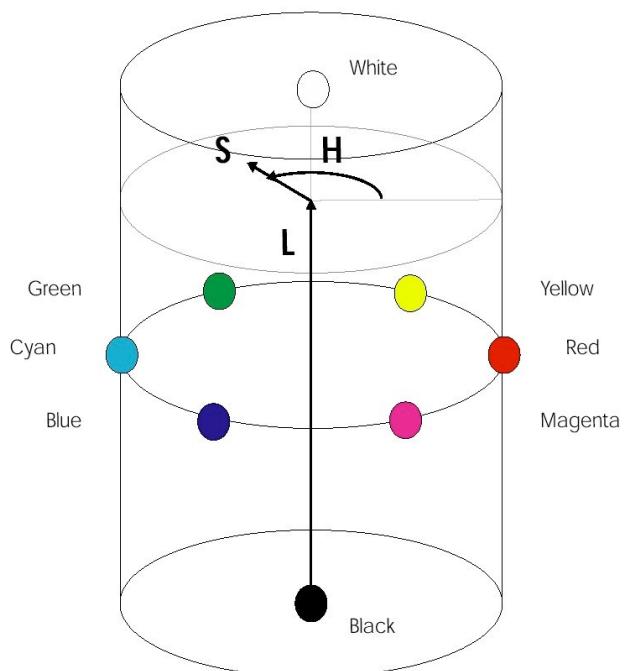
# Sistemas de Cores

- Sistema HSL
  - Gráfico é composto de dois cones conectados pela base
  - Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
  - Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



# Sistemas de Cores

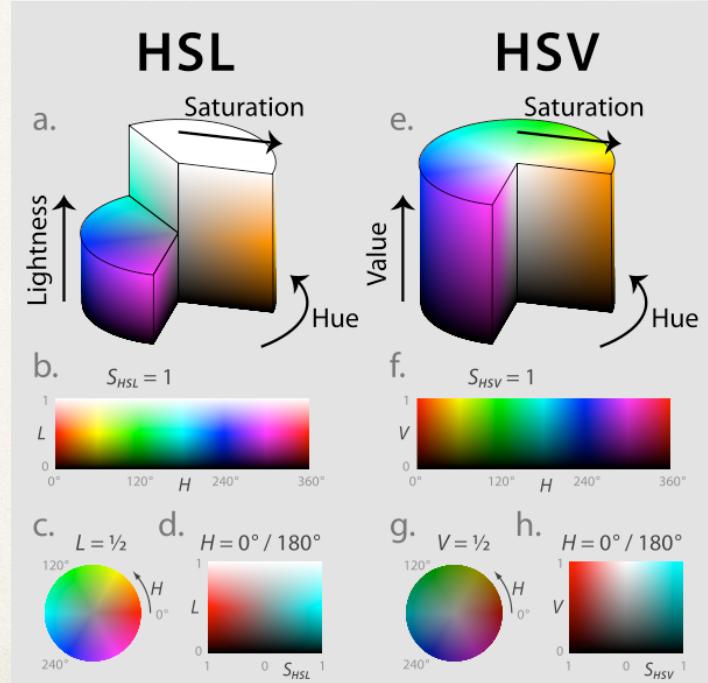
- Sistema HSL
  - Gráfico é composto de dois cones conectados pela base
  - Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
  - Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



# Sistemas de Cores

- HSV

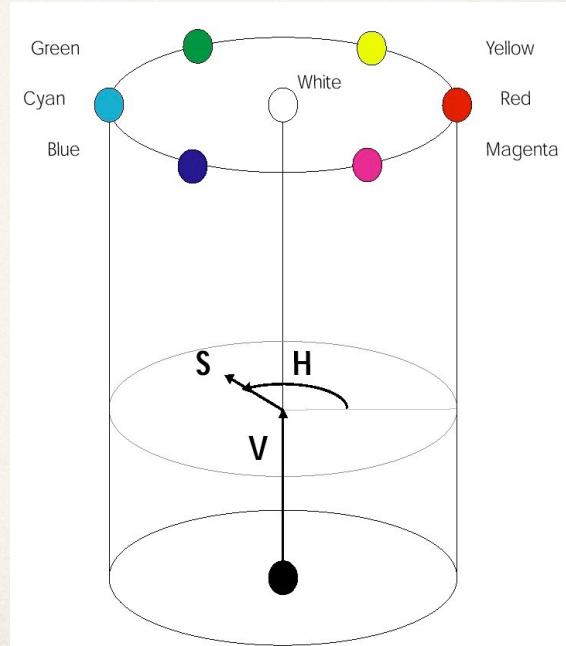
- Modificação do HSL para simplificar a interpretação da luminosidade
  - Matiz
  - Saturação
  - Valor



# Sistemas de Cores

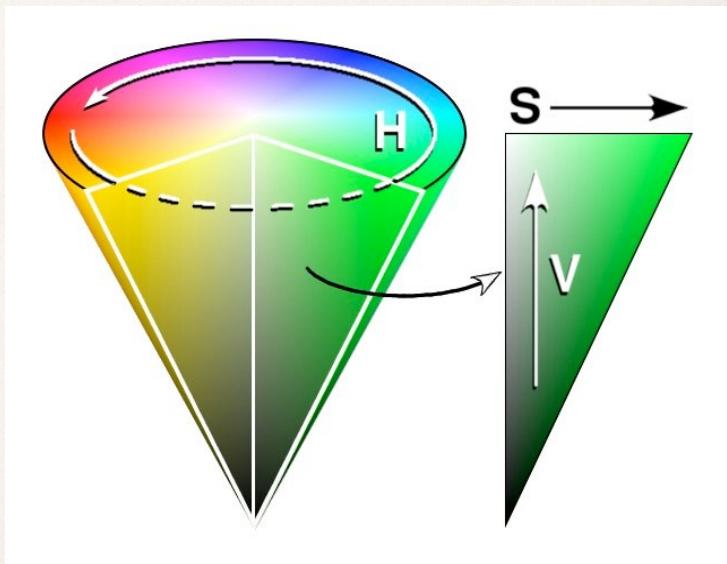
- Sistema HSV

- Gráfico é um cone
- Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
- Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



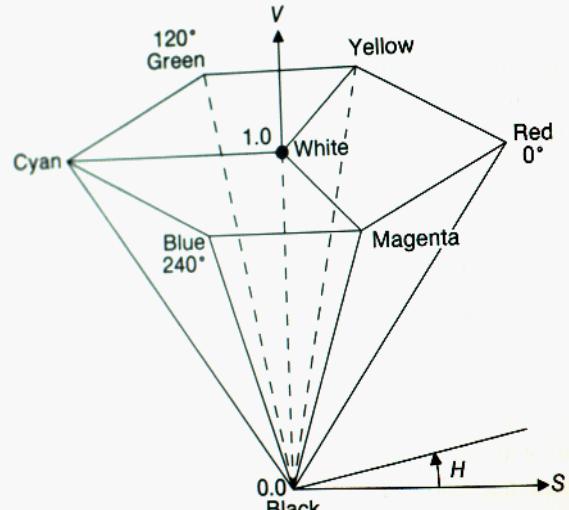
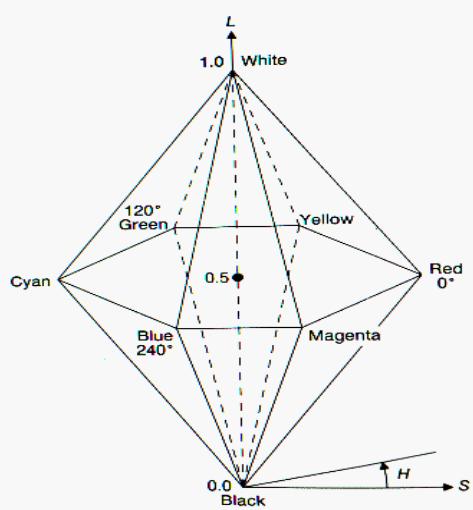
# Sistemas de Cores

- Sistema HSL
  - Gráfico é um cone
  - Ao longo da altura encontram-se os tons de cinza
  - Cores mais saturadas encontram-se na borda da base



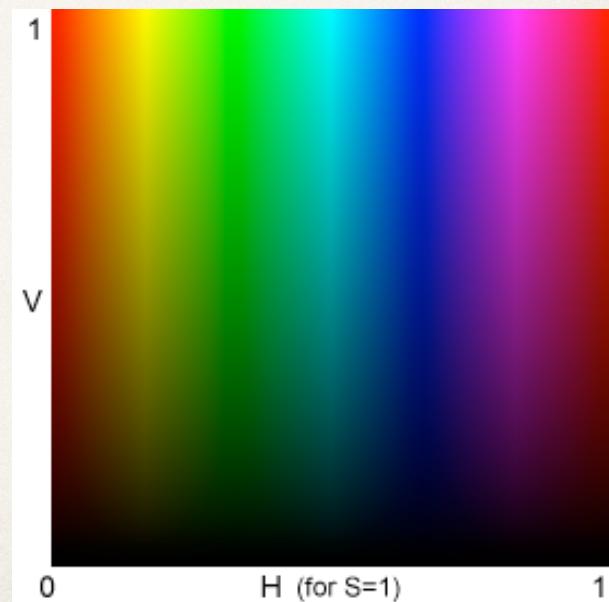
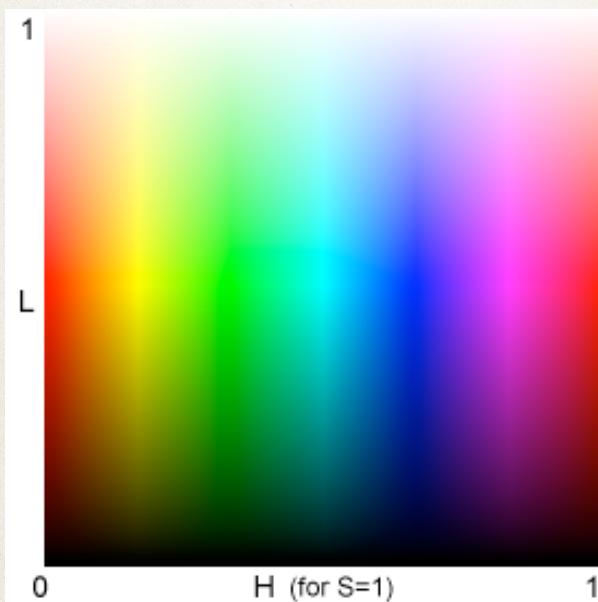
# Sistemas de Cores

- Sistema HSL e HSV
  - Versões discretas são pirâmides de base hexagonal



# Sistemas de Cores

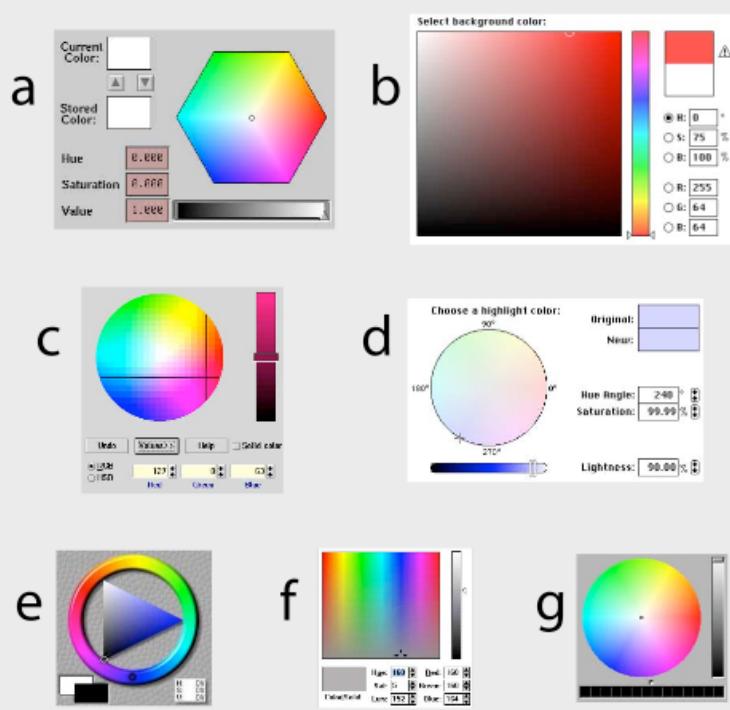
- Sistema HSL e HSV



# Sistemas de Cores

- HLS e HSV

- Muito utilizados em interfaces com o usuário
- Mais intuitivo

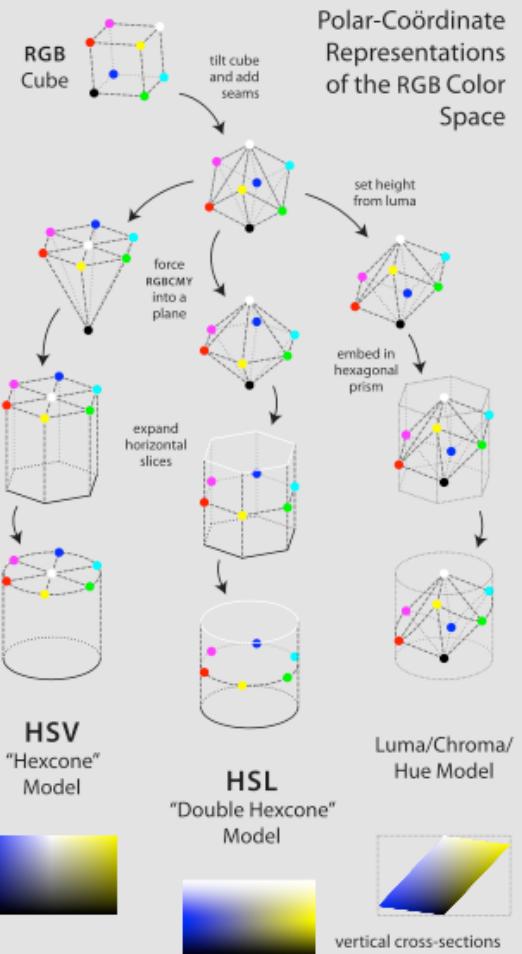


By the 1990s, HSL and HSV color selection tools were ubiquitous. The screenshots above are taken from: (a) SGI [IRIX 5](#), ca. 1995; (b) Adobe [Photoshop](#), ca. 1990; (c) IBM [OS/2 Warp 3](#), ca. 1994; (d) Apple Macintosh [System 7](#), ca. 1996; (e) Fractal Design [Painter](#), ca. 1993; (f) Microsoft [Windows 3.1](#), ca. 1992; (g) [NeXTSTEP](#), ca. 1995. These are undoubtedly based on earlier examples, stretching back to PARC and NYIT in the mid-1970s.

<http://www.guidebookgallery.org/>

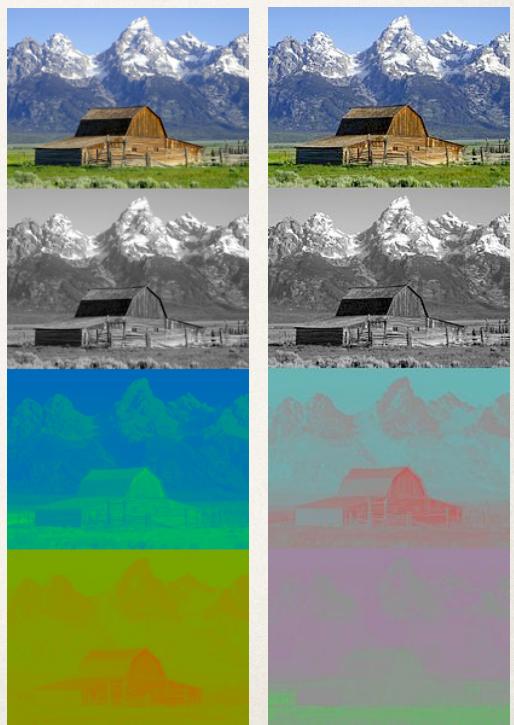
# Sistemas de Cores

- Conversão RGB para HLS ou HSV
  - Algoritmo geométrico



# Sistemas de Cores

- Outros sistemas específicos:
  - Vídeo
    - YUV (PAL / SECAM)
    - YIQ (NTSC)
      - Luminância - Luma (Y)
      - crominância (UV / IQ)
  - Imagens
    - Adobe RGB (Adobe)
    - sRGB (Microsoft e HP)
    - Pro Photo (Kodak)



A seguir... Imagem Digital

---