



# Sistema de Cores

Guillermo Cámara-Chávez

# Conceitos



## Motivação

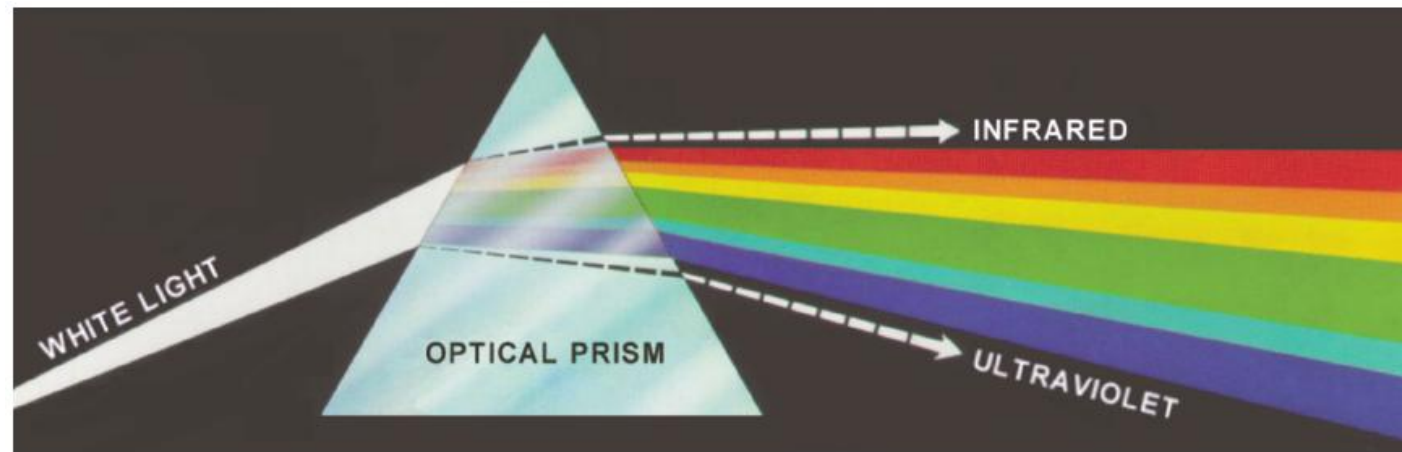
- poderoso descritor de característica que simplifica identificação e extração de objetos da cena;
- humanos podem distinguir milhares de tonalidades e intensidades (enquanto se restringe a dezenas de níveis de cinza)

# Conceitos



- Duas áreas principais
  - Cores reais
    - Imagens adquiridas com um sensor de cores reais (câmeras digitais, scanner)
  - Pseudo-cores
    - Atribuição de um tom de cor para uma intensidade monocromática particular ou a uma variação de intensidades

# Conceitos

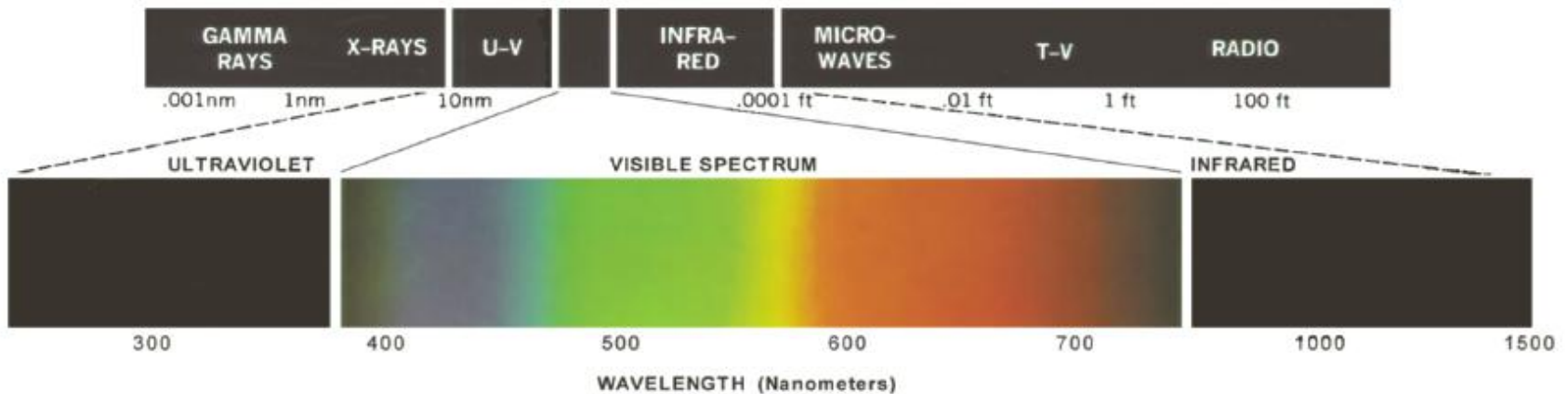


**FIGURE 6.1** Color spectrum seen by passing white light through a prism. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

- Em 1666, Newton descobriu que um feixe de luz solar é decomposta ao passar no prisma
- As cores que percebemos são determinadas pela natureza da luz refletida



# Conceitos



- A luz visível é composta de uma banda de frequências no espectro eletromagnético
- Luz acromática (sem cores, único atributo é a intensidade)
- Luz cromática, espectro visível (400 até 700 nm)

# Conceitos



- A luz cromática é descrita por 3 valores:
  - Radiância: quantidade total de energia que flui da uma fonte de luz, medida em watt
  - Luminância: mede a quantidade de energia que o observador percebe da fonte de luz, medida em lúmen
  - Brilho: descritor subjetivo, praticamente impossível de ser medido. Incorpora a noção acromática de intensidade

# Conceitos



- O que é cor?
  - Propriedade que os corpos têm de absorver ou refletir a luz;
  - **Impressão variável** que a luz refletida pelos corpos produz no órgão da visão;
  - Sensação produzida pelos diferentes comprimentos de onda atingindo os olhos.

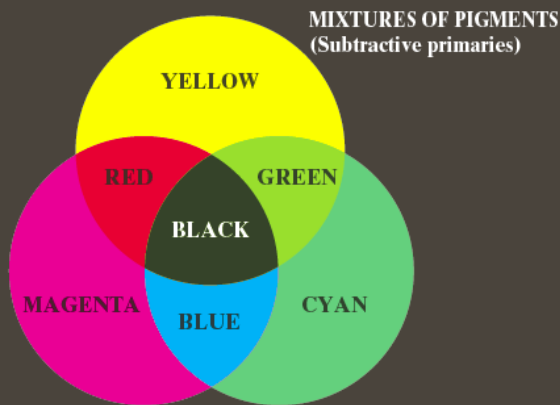
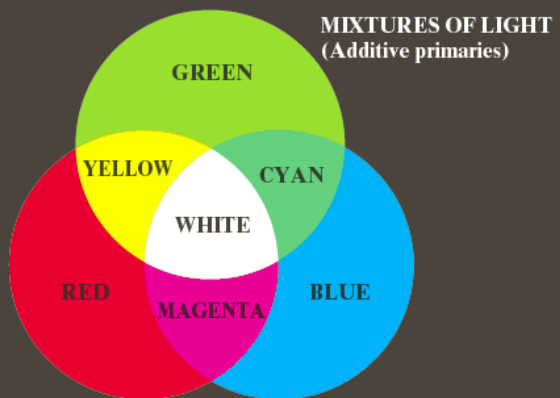
# Conceitos



- A cor exerce tríplice ação:
  - Impressionar (a cor é vista quando impressiona a retina);
  - Expressar (é sentida e transmitida como uma emoção)
  - Construir (é construtiva, pois tendo um significado próprio, possui valor de símbolo, podendo assim, construir uma linguagem que comunique uma idéia.



# Conceitos



PRIMARY AND SECONDARY COLORS  
OF LIGHT AND PIGMENT

- As cores primárias podem ser adicionadas para produzir as cores secundárias
- Cor primária de pigmentos ou corantes (modelo subtrativo), definida como aquela que subtrai ou absorve uma cor primária e reflete as outras duas

# Conceitos



## Formação das cores

- a) Processo aditivo – as cores primárias podem ser somadas para produzir as cores secundárias de luz: magenta (azul + vermelho), cyan (verde + azul) e amarelo (vermelho + verde). Misturando as três cores primárias ou as três cores secundárias temos o branco. Ex. monitor RGB
- b) Processo de pigmentação ou coloração – neste processo partículas chamadas pigmentos absorvem ou subtraem uma cor primária da luz e reflete ou transmite as outras duas.  
Ex: magenta – absorveu verde e refletiu azul e vermelho. As cores primárias de pigmentos são magenta, cyan e amarelo.

# Conceitos



- Colorimetria: conjunto de técnicas que permite **definir** e **comparar** cores
- A cor pode ser definida por 3 parâmetros : **intensidade** (luminância), tonalidade **cromática** (matiz) e **saturação**.

# Conceitos



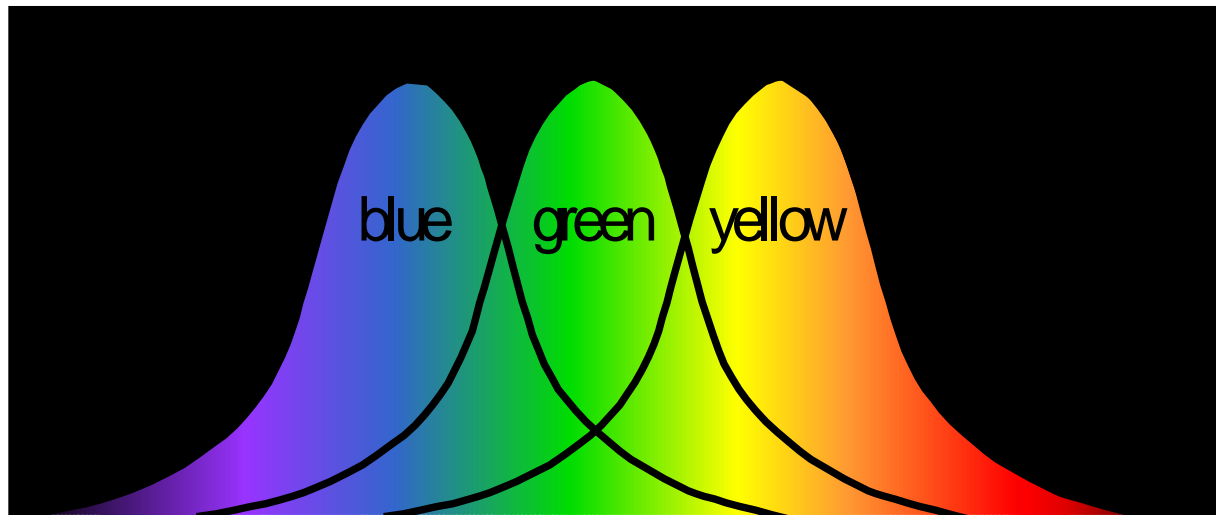
- **Luminância:** também chamado de intensidade luminosa, determina o quão brilhante é uma luz (se mede com base em uma escala de preto para branco);
- **Matiz:** comprimento de onda dominante da cor. Usada para dar um nome a uma cor
- **Saturação:** mede a pureza relativa da cor ou quantidade de luz branca misturada com um matiz

# Conceitos



Mean  $\longleftrightarrow$  Hue

# Photons



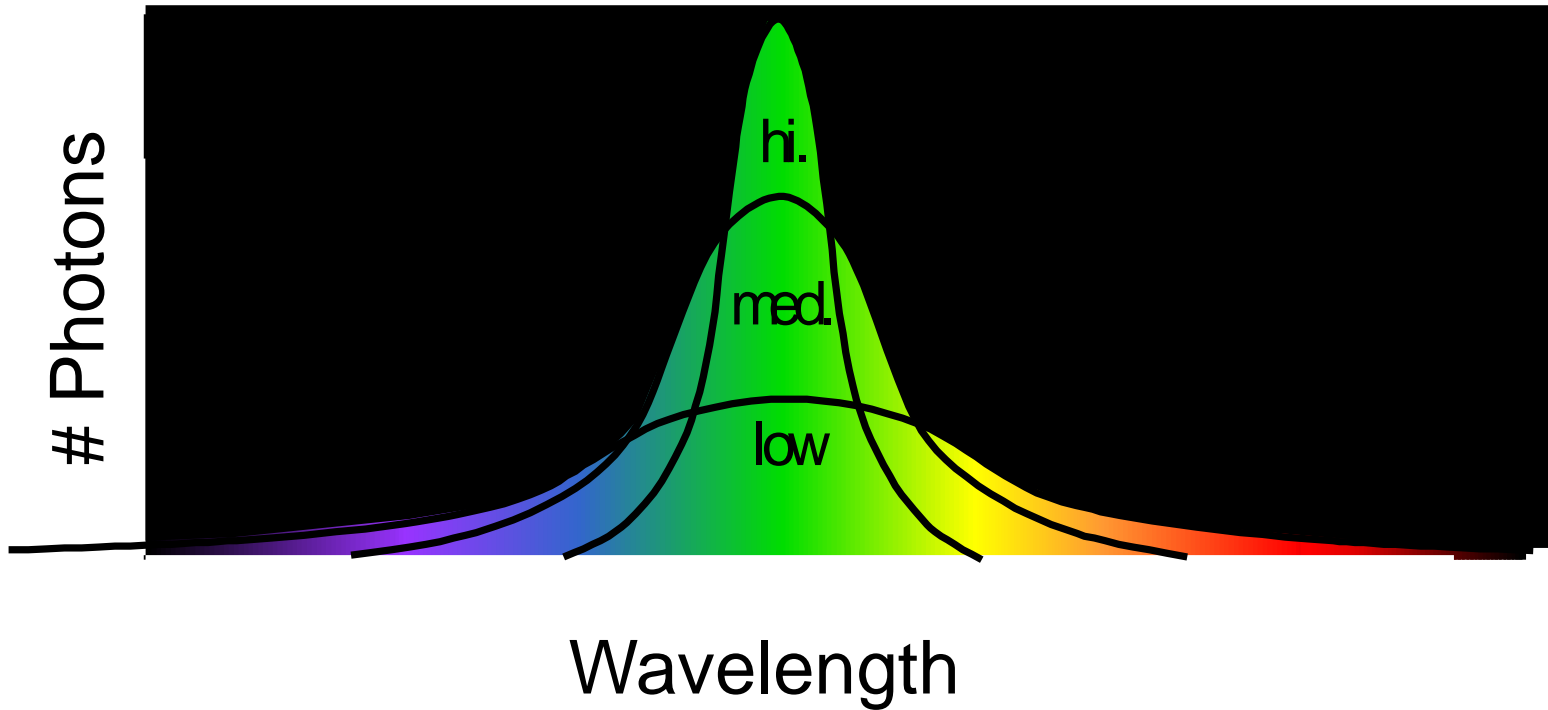
Wavelength



# Conceitos



**Variance**  $\longleftrightarrow$  **Saturation**

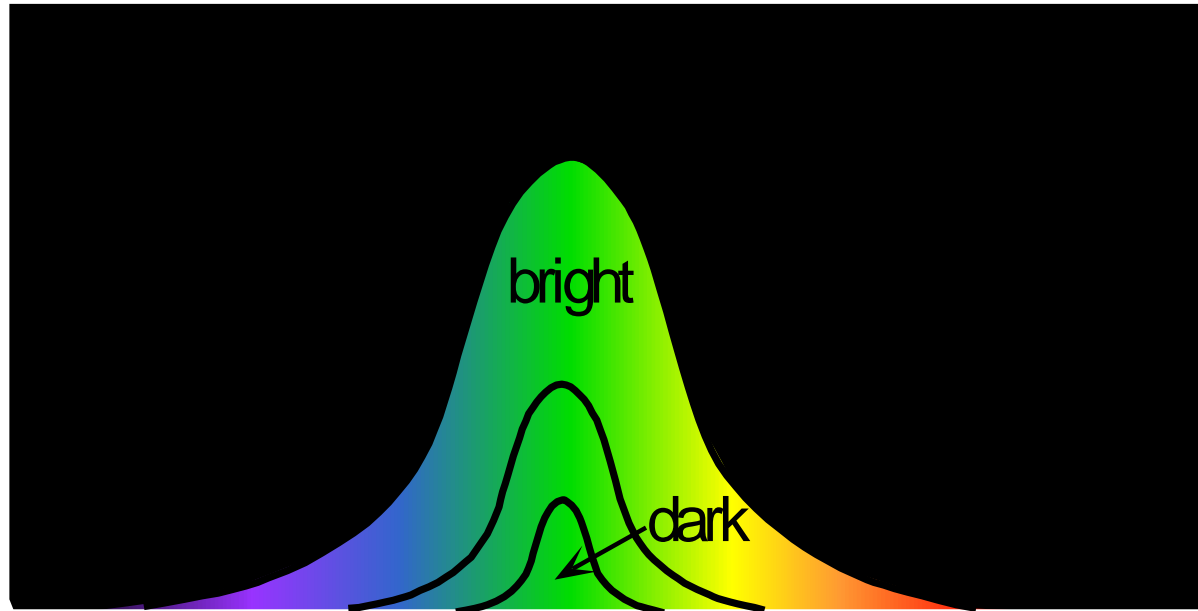


# Conceitos



**Area**  $\longleftrightarrow$  **Brightness**

# Photons



Wavelength

# Conceitos



- As cores **preta, branca e cinza** possuem **saturação uniforme** em todos os comprimentos de onda
- São diferenciadas apenas pelo brilho
- As propriedades de saturação e de matiz de uma cor são referenciadas como **cromaticidade**

# Conceitos



- As cores primarias são as 3 cores que um sistema utiliza para produzir outras cores.
- As cores podem ser produzidas a partir de uma combinação das primárias
- O universo de cores que podem ser reproduzidas por um sistema é chamado de espaço de cores (*color space* ou *color gamut*)

# Conceitos



- Exemplos de sistemas: o cubo definido pelas componentes do modelos RGB, o cone definido pelo modelo HSV
- Não existe um conjunto finito de cores primárias que reproduza todas as cores visíveis
- Uma grande parte das cores podem ser reproduzidas a partir de 3 primárias



# Conceitos

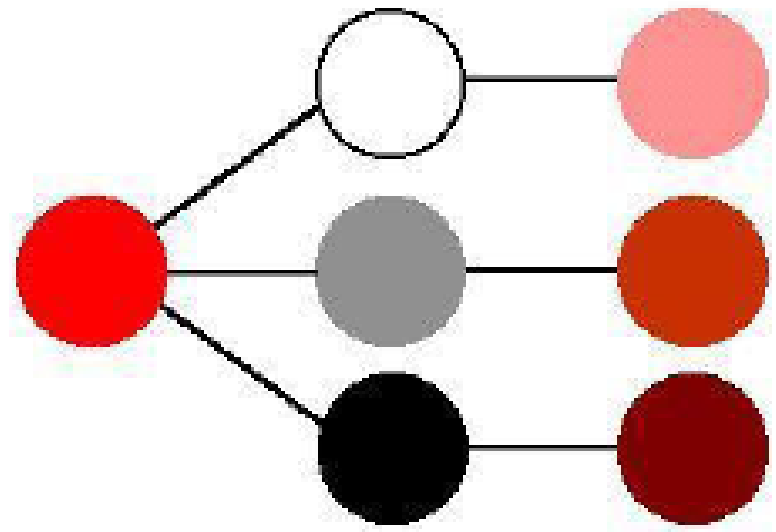


- Os sistemas de cores podem ser aditivos ou subtrativos
- Modelos aditivos (e.g. RGB e XYZ), as intensidades das cores primárias são adicionadas
- Modelos subtrativos (e.g. CMY), as cores são geradas subtraindo-se o comprimento da onda dominante da luz branca

# Conceitos



- As cores puras e saturadas não representam toda a classe de cores.
- Ainda existem os *tints*, *shades* e *tones*, correspondem à adição de branco, preto e cinza às cores saturadas



# Uso das cores



Força, euforia, alegria e confiança



Estimulante, alerta, esperança



Dinamismo, energia, revolta, calor, raiva



Bem-estar, paz, saúde, equilíbrio



Viagem, verdade, intelectualidade, advertência.



Fantasia, mistério, egoísmo, espiritualidade.



Estima, valor, dignidade.



Pensar, melancolia.

# Modelos de Cores



- A representação da cor  $C$  de cada pixel de uma imagem pode ser obtida matematicamente por:

$$C = r.R + g.G + b.B$$

onde  $R$ ,  $G$ , e  $B$  são as três cores primárias e  $r$ ,  $g$  e  $b$  são os coeficientes de mistura

# Alguns sistemas de cores



- RGB (Red, Green, Blue)
- CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black)
- HLS (Hue, Saturation, Lightness)
- HSV (Hue, Saturation, Value)



# Sistema RGB (aditivo)



- RGB é um sistema de cores formado pelo vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*)
- Baseia-se na sensibilidade do olho
- As suas cores são misturadas para formar todas as outras
- Utiliza um processo aditivo de cores

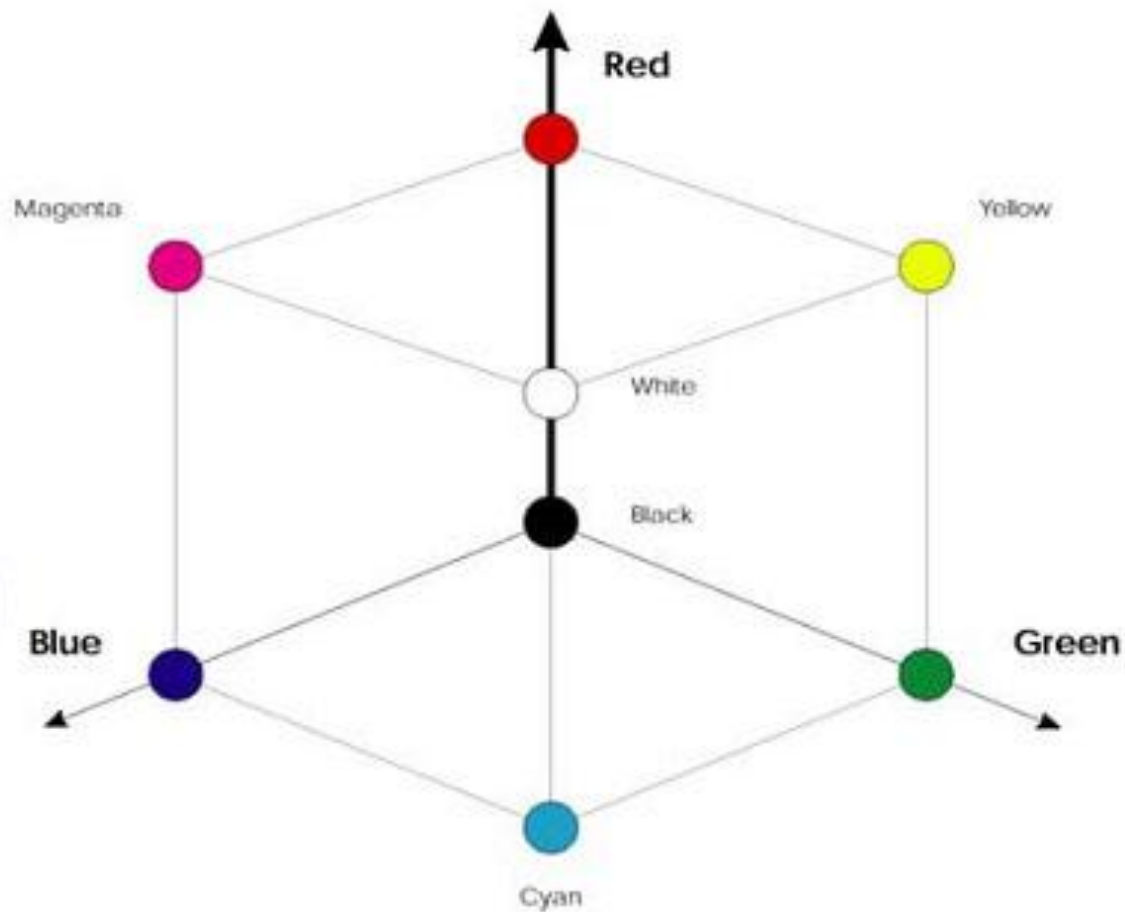
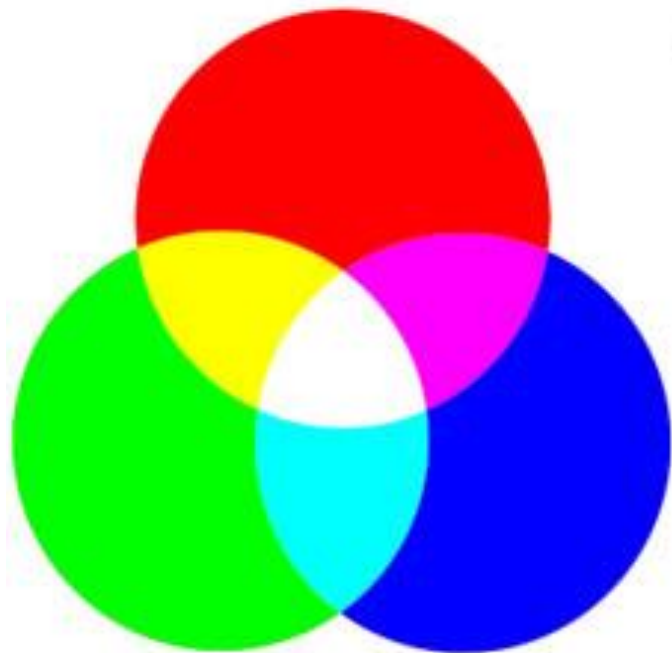
# Sistema RGB (aditivo)



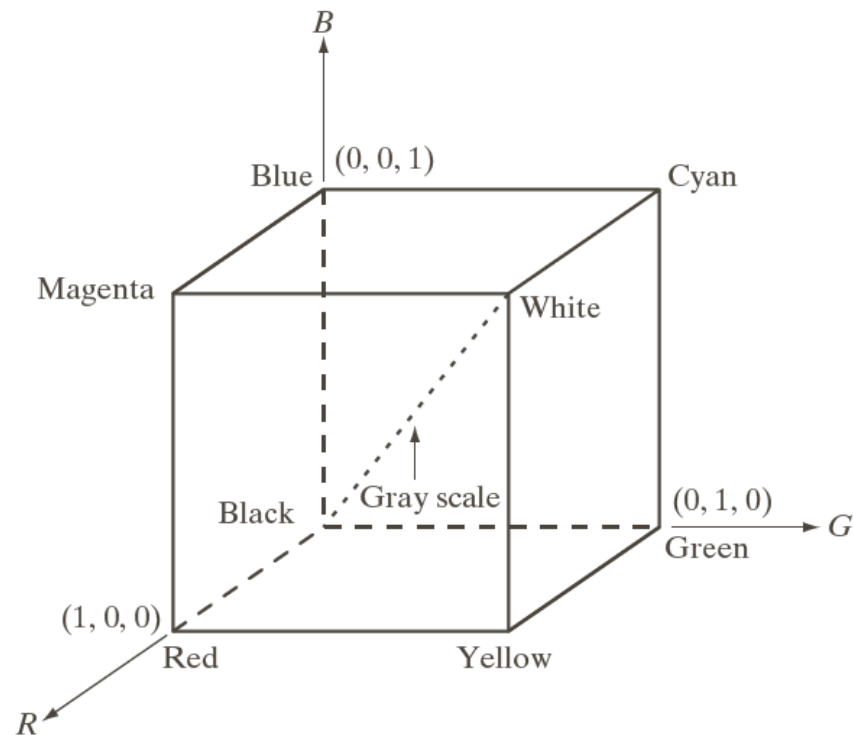
- O ciano = azul + verde
- O amarelo = verde + vermelho
- O magenta = azul + vermelho
- O branco é a presença de todas as cores
- O preto é a ausência de cor



# Sistema RGB (aditivo)



# Sistema RGB (aditivo)



**FIGURE 6.7**

Schematic of the RGB color cube. Points along the main diagonal have gray values, from black at the origin to white at point  $(1, 1, 1)$ .



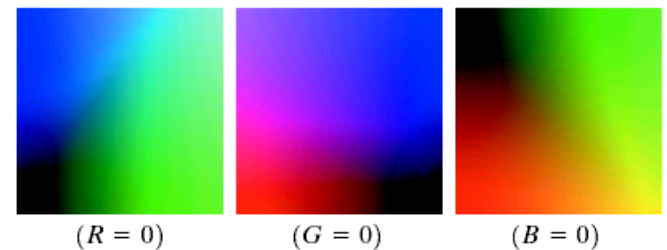
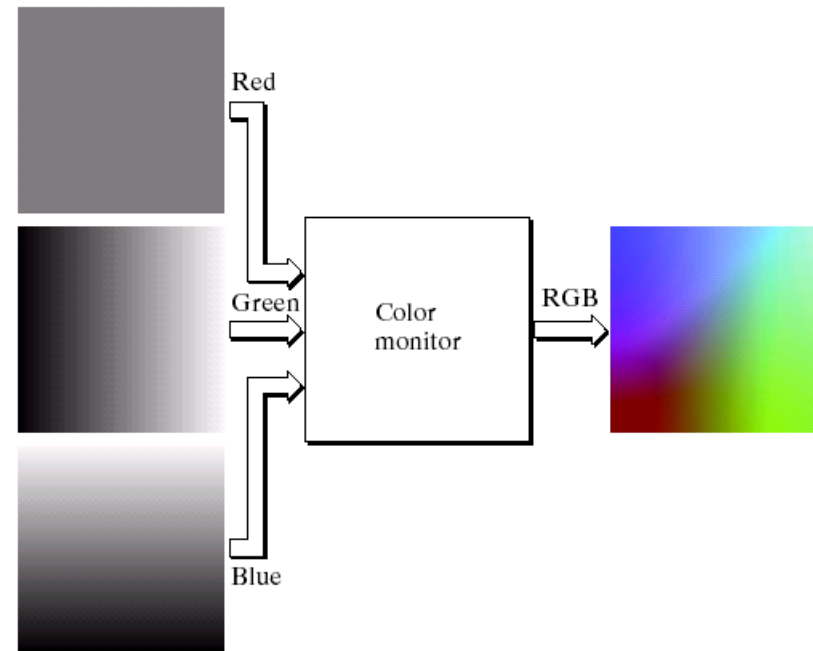
# Sistema RGB (aditivo)



Imagens no modelo RGB constituem 3 planos diferentes um para cada cor primária. Em monitores RGB este três planos são combinados na tela de fósforo para produzir a imagem colorida.

a  
b

**FIGURE 6.9**  
(a) Generating the RGB image of the cross-sectional color plane ( $127, G, B$ ).  
(b) The three hidden surface planes in the color cube of Fig. 6.8.





# Sistema XYZ



- Sistema aditivo de cores primárias da CIE (Comissão Internacional de Iluminação)
- Descreve as cores através de 3 cores primárias virtuais  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ .
- Foi criado devido à inexistência de um conjunto finito de cores primárias que produza todas as cores visíveis possíveis.

# Sistema XYZ



- As cores  $C_i$  podem ser expressas pela seguinte equação:

$$C_i = x.X + y.Y + z.Z$$

onde  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  especificam as quantidades das cores primárias

- A normalização em relação à luminância ( $X+Y+Z$ ) possibilita a caracterização de qualquer cor

# Sistema XYZ



- As cores desse sistema podem ser expressas como:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

com  $x+y+z = 1$ .

- Qualquer cor pode ser definida apenas pelas quantidades de  $x$  e  $y$  (dependem do matiz e da saturação)

# Sistema XYZ

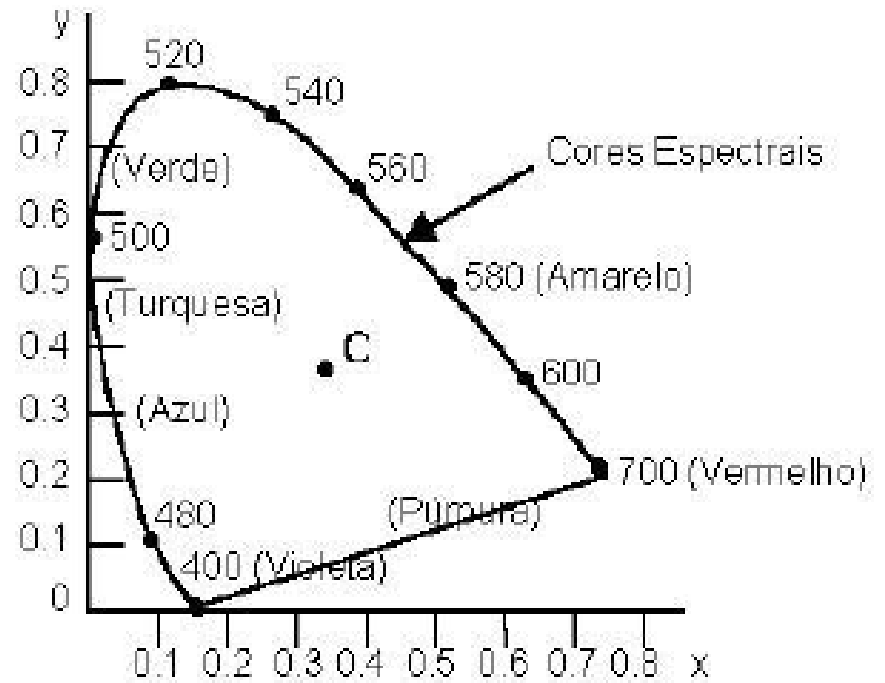
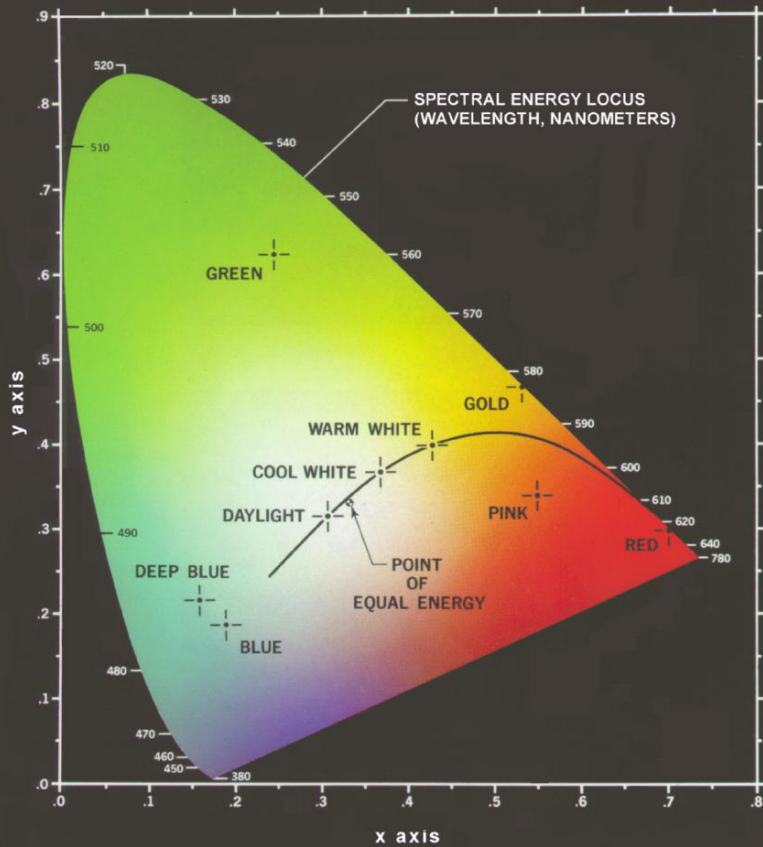


- Formado por cores imaginárias que são definidas matematicamente.
- As coordenadas de cromaticidade  $x$  e  $y$  permitem representar todas as cores num gráfico bidimensional

# Sistema XYZ

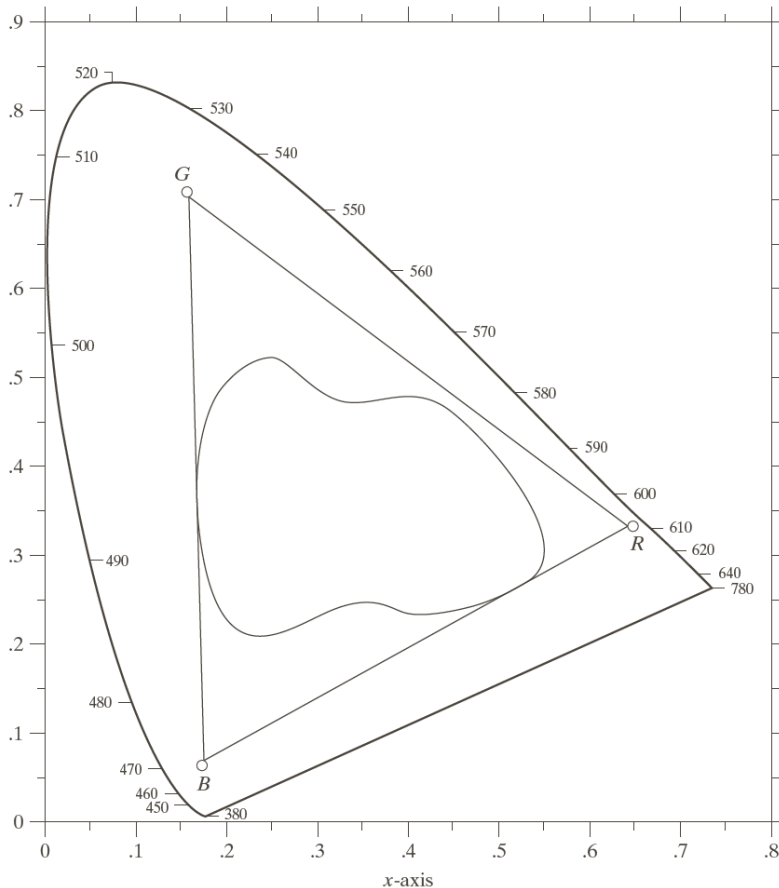


(C.I.E. CHROMATICITY DIAGRAM)





# Sistema XYZ



- O triângulo mostra a uma faixa típica da goma de cores produzida por monitores RGB.
- A região irregular representa a região de cores das impressoras coloridas.



# Sistema XYZ



- As **cores puras** estão localizadas ao longo da curva que vai da **extremidade** correspondente à cor **vermelha** até à cor **violeta**.
- A linha reta que une os pontos espectrais vermelho e violeta é chamada de **linha púrpura**, e **não faz parte do espectro**.
- O ponto **C** corresponde à posição da luz **branca**.

# Sistema XYZ

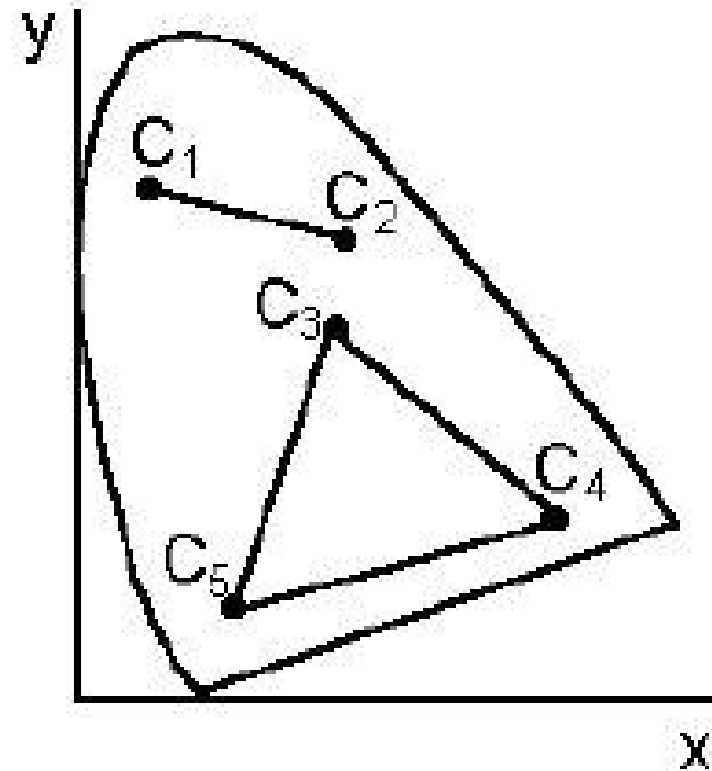


- Através desse diagrama, é possível determinar e comparar os espaços de cores:
  - dos diferentes conjuntos de **primárias** e
  - Identificar as cores **complementares** (2 cores que somadas produzem a cor branca)
  - Determinar o **comprimento** de onda dominante e a **saturação** de uma cor

# Sistema XYZ



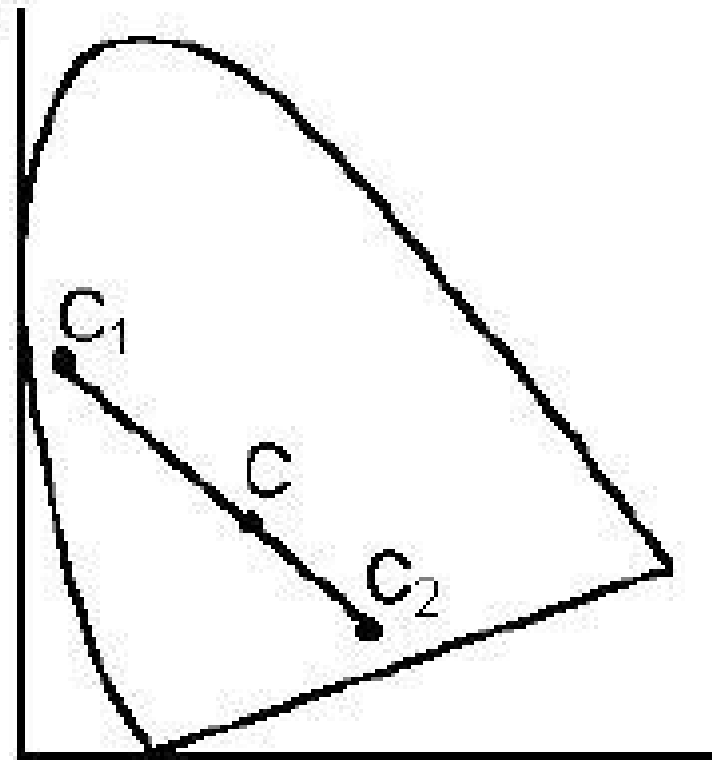
- Os espaços de cor são representados através de linhas retas ou de polígonos
- As cores ao longo da linha  $C_1$  e  $C_2$  podem ser obtidas através da mistura



# Sistema XYZ



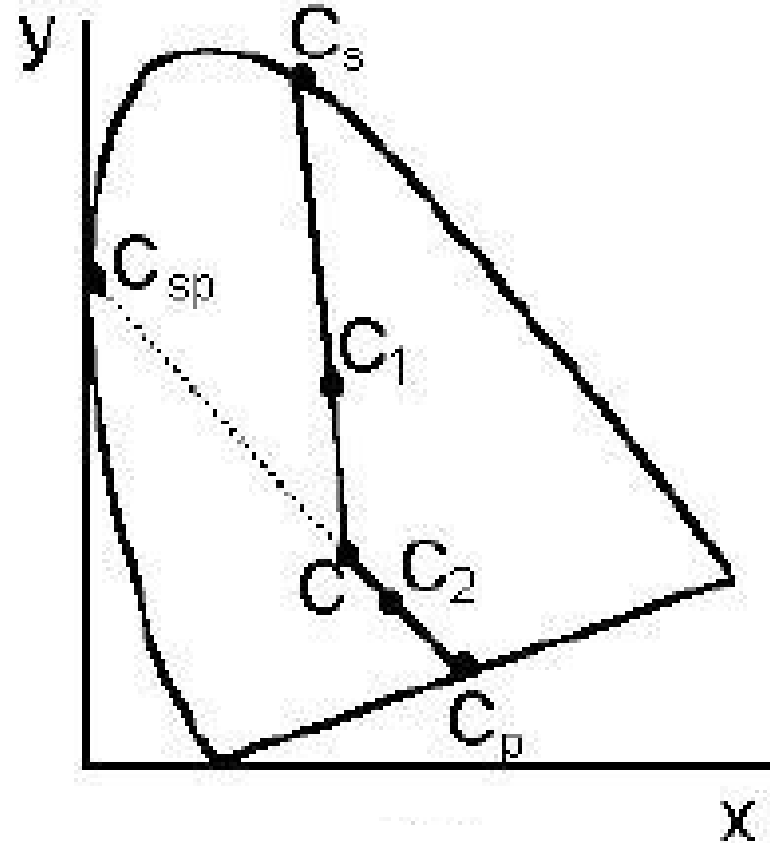
- Cores complementares são  $y$  identificados por 2 pontos localizados em lados opostos do ponto  $C$ .
- Misturando quantidades apropriadas de 2 cores  $C_1$  e  $C_2$  obtém-se a luz branca



# Sistema XYZ



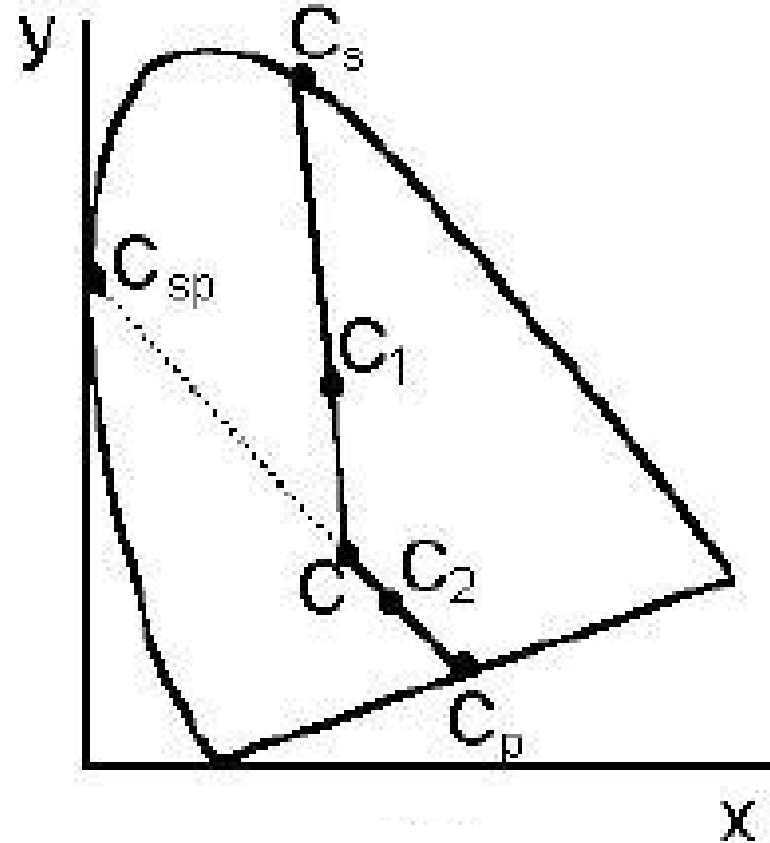
- $C_1$  corresponde à combinação da luz branca com a cor espectral  $C_s$
- $C_2$  é referenciado como uma cor não-espectral.
- Traçar uma linha a partir de  $C$ , passando por  $C_2$  e intersectando a linha púrpura em  $C_p$



# Sistema XYZ



- O comprimento da onda dominante é obtido através do prolongamento da reta até interceptar a curva espectral no ponto  $C_{sp}$
- As cores espectrais são geradas através da subtração do comprimento da onda dominante ( $C_{sp}$ ) da luz branca





# Sistema XYZ



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.431 & 0.342 & 0.178 \\ 0.222 & 0.707 & 0.071 \\ 0.020 & 0.130 & 0.939 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.063 & -1.393 & -0.476 \\ -0.969 & 1.876 & 0.042 \\ 0.068 & -0.229 & 1.069 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

# Sistema CMYK



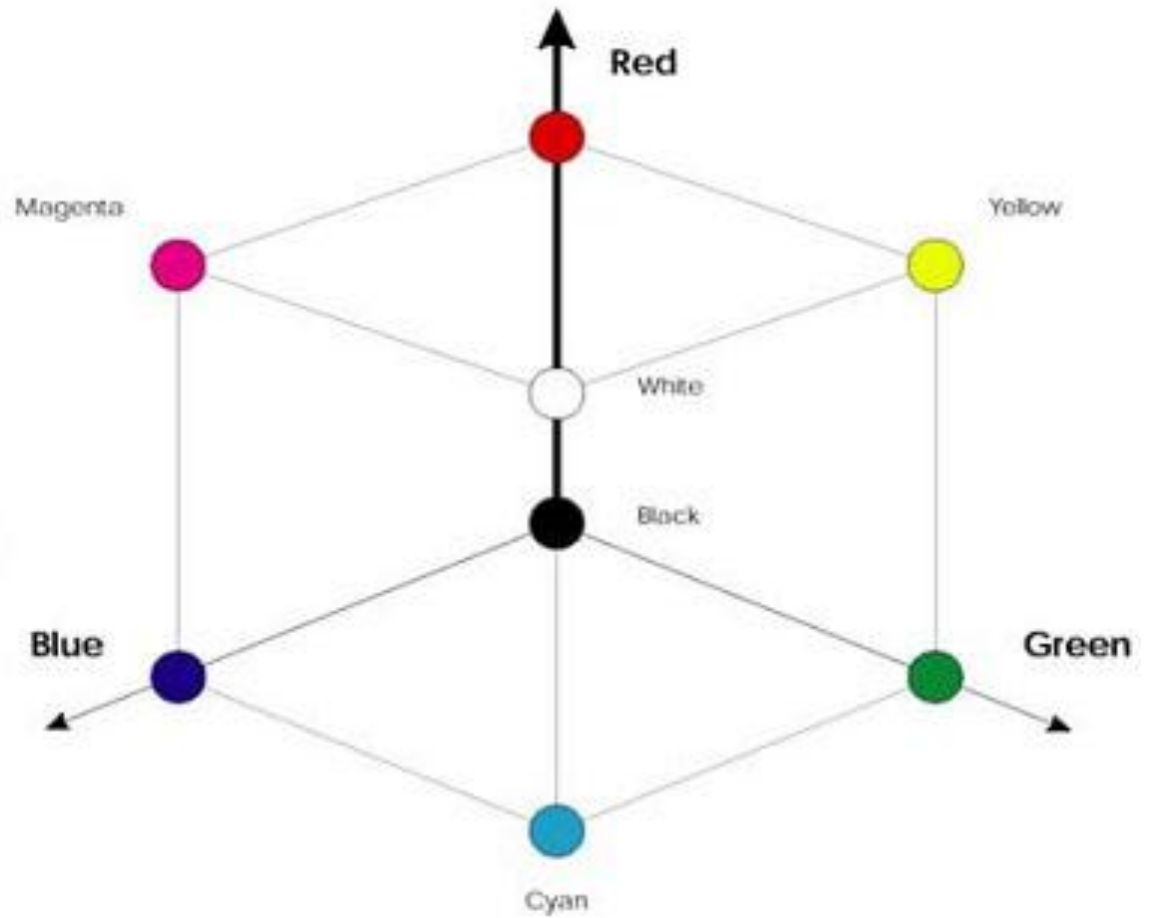
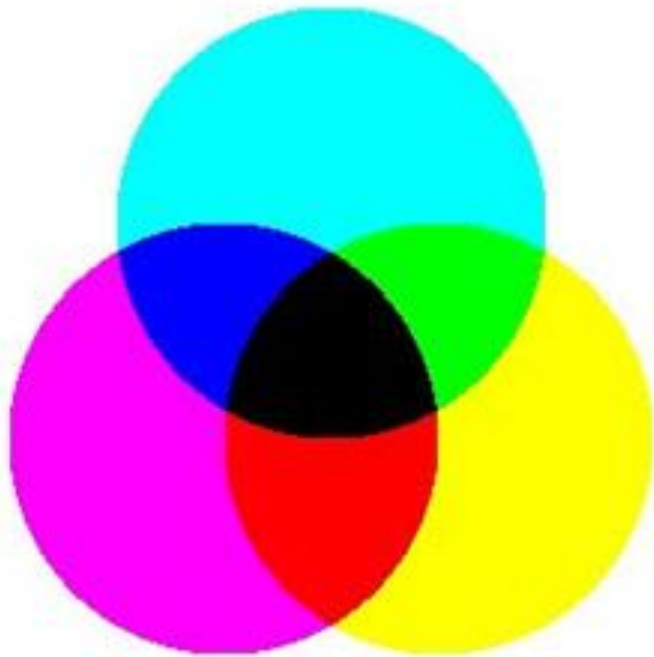
- É formado pelas cores secundárias do RGB: ciano (C) , magenta (M), amarelo (Y) e preta (K);
- Funciona devido à absorção de luz, onde as cores são vistas através do que não foi absorvido
- Utiliza o processo subtrativo de cores

# Sistema CMYK



- O ciano é oposta ao vermelho e com azul e verde ( $-R +G +B$ )
- O amarelo =  $+R +G -B$
- O magenta =  $+R -G +B$
- Vermelho = magenta + amarelo;

# Sistema CMYK (subtrativo)



# Sistema CMYK



- O modelo CMYK é complementar ao RGB
- Destinado a produtos não emissores de luz
- Não existe transposição exata das cores entre RGB↔CMYK

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

# Sistema HSV (Hue, Saturation, Value)



- São mais intuitivas do que combinações de um conjunto de cores primárias
- Mais adequado para ser usado na especificação de cores em nível de interface com o usuário

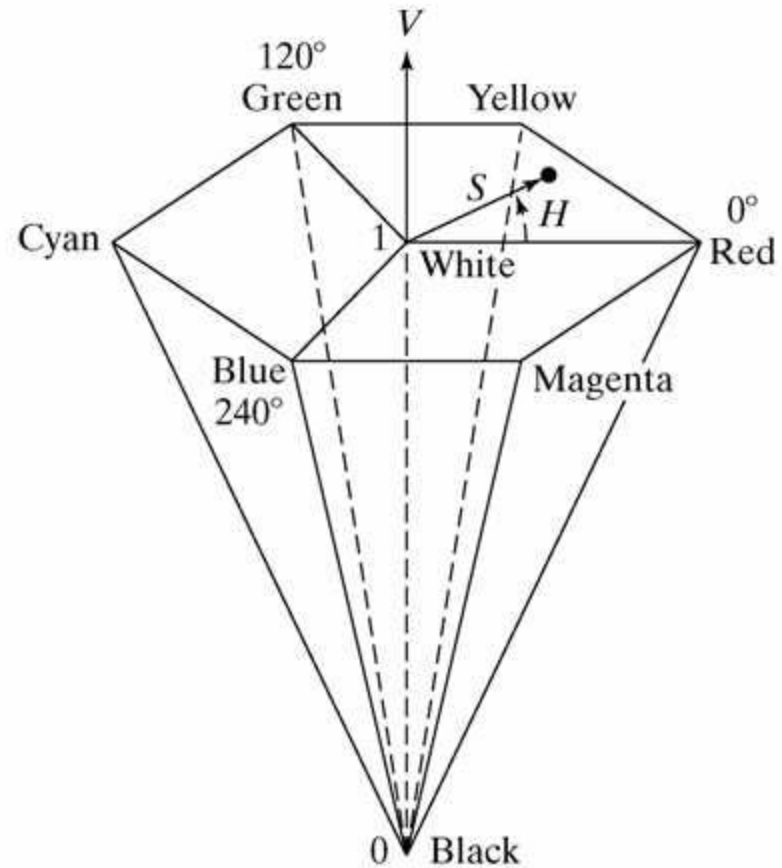
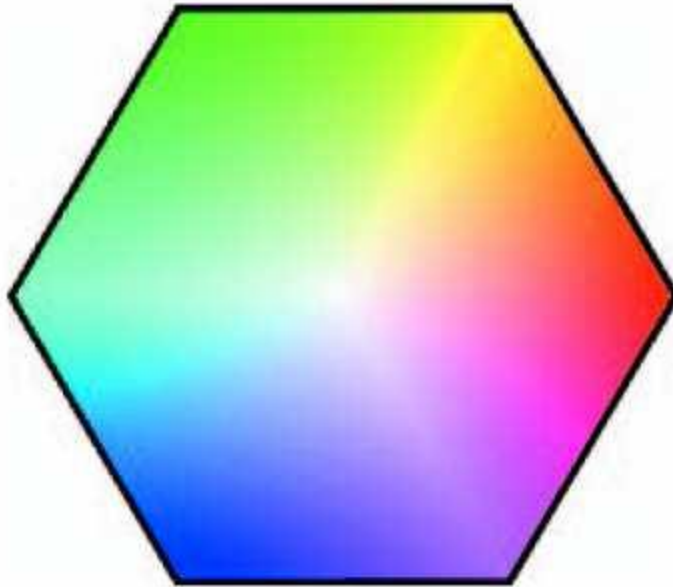


# Sistema HSV (*Hue, Saturation, Value*)

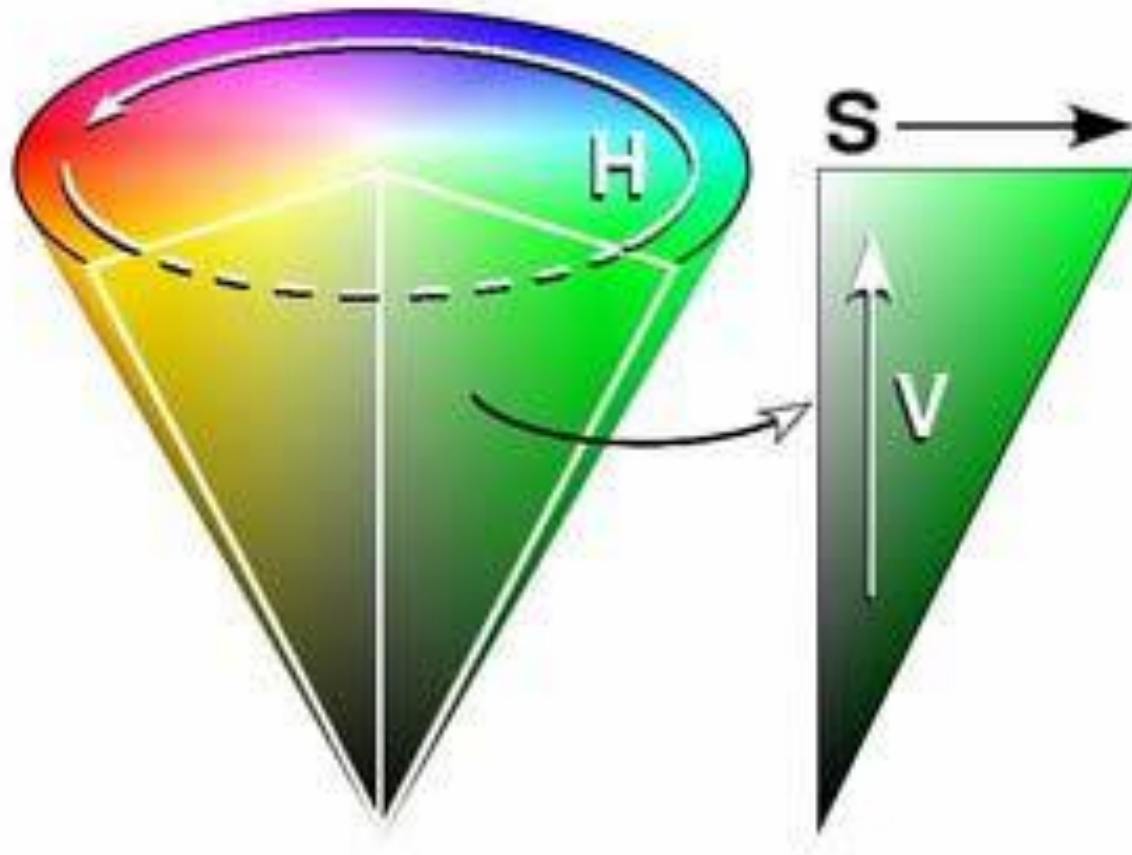


- ***Hue***: é a componente que define a cor
- ***Saturation***: determinar a pureza da cor
- ***Value***: regula o brilho da cor. A cor preto possui brilho zero

# Sistema HSV (*Hue, Saturation, Value*)



# Sistema HSV (*Hue, Saturation, Value*)



# Sistema HSV (*Hue, Saturation, Value*)



$$H = \begin{cases} 60 \frac{(G - B)}{M - m} & \text{se } M = R \\ 60 \frac{(B - R)}{M - m} + 120 & \text{se } M = G \\ 60 \frac{(R - G)}{M - m} + 240 & \text{se } M = B \end{cases}$$

$$V = M$$

$$m = \min(R, G, B)$$

$$M = \max(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} \frac{M - m}{M} & \text{se } M \neq 0 \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

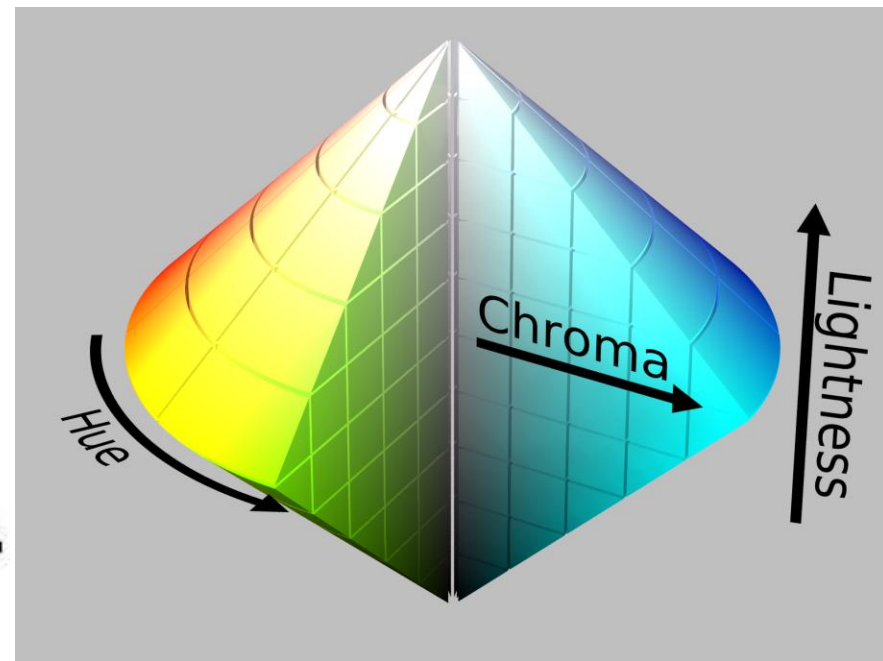
# Sistema HLS (*Hue, Lightness, Saturation*)



- Também é baseado em parâmetros mais intuitivos para a descrição de cores
- Os parâmetros de cor utilizados são o matiz (*hue*), a luminosidade (*lightness*) e a saturação (*saturation*).

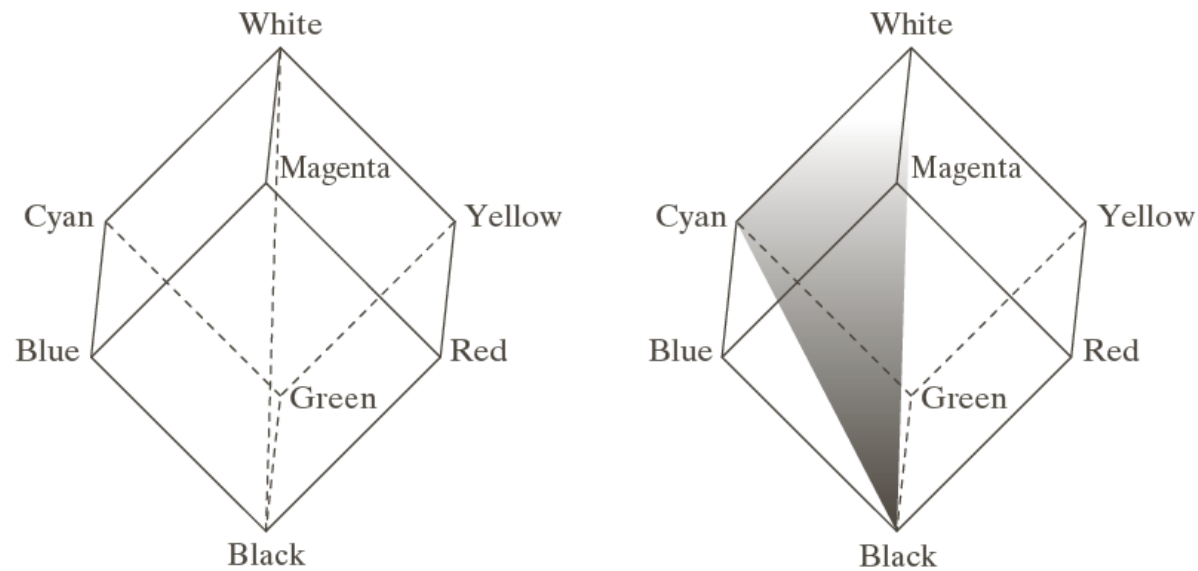


# Sistema HLS (*Hue, Lightness, Saturation*)





# Sistema HLS (*Hue, Lightness, Saturation*)



a b

**FIGURE 6.12**  
Conceptual relationships between the RGB and HSI color models.

# Sistema HLS (*Hue, Lightness, Saturation*)



- O ângulo em relação ao eixo vertical especifica um matiz
- O eixo vertical corresponde à luminosidade e é onde se encontra a escala de cinzas
- A saturação varia de 0 a 1, os matizes puros são encontrados no plano onde a luminosidade é igual a 0.5 e a saturação é igual a 1.

# Sistema HLS (*Hue, Lightness, Saturation*)



- RGB to HSI

$$H = \begin{cases} \theta & \text{se } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{se } B > G \end{cases}$$

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

# Sistema HLS (*Hue, Lightness, Saturation*)



$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \min(R, G, B)$$

$$I = 1/3(R + G + B)$$

# Sistema YCbCr



- O modelo YCbCr é largamente utilizado em vídeos digitais.
- A informação de luminância é representada por  $Y$
- A informação de cor é representada por  $Cb$  e  $Cr$

# Sistema YCbCr



- Y: componente de iluminação
- Cb: componente de diferença-azul
- Cr: componente de diferença-vermelho

$$R'_D = \frac{298.082 \cdot Y'}{256} + \frac{408.583 \cdot C_R}{256} - 222.921$$

$$G'_D = \frac{298.082 \cdot Y'}{256} - \frac{100.291 \cdot C_B}{256} - \frac{208.120 \cdot C_R}{256} + 135.576$$

$$B'_D = \frac{298.082 \cdot Y'}{256} + \frac{516.412 \cdot C_B}{256} - 276.836$$



# Sistema YCbCr



$$\begin{aligned}
 Y' &= 16 + \frac{65.738 \cdot R'_D}{256} + \frac{129.057 \cdot G'_D}{256} + \frac{25.064 \cdot B'_D}{256} \\
 C_B &= 128 + \frac{-37.945 \cdot R'_D}{256} - \frac{74.494 \cdot G'_D}{256} + \frac{112.439 \cdot B'_D}{256} \\
 C_R &= 128 + \frac{112.439 \cdot R'_D}{256} - \frac{94.154 \cdot G'_D}{256} - \frac{18.285 \cdot B'_D}{256}
 \end{aligned}$$

# Sistema YIQ



- Neste modelo, componente Y corresponde à luminância e as componentes I (matiz) e Q (saturação) codificam as informações de crominância
- O sistema YIQ é utilizado para transmissão de sinal de **televisão** a cores.

# Sistema YIQ



- O sinal de luminância  $Y$  pode ser utilizado diretamente e pelo aparelhos de televisão em preto-e-branco.
- Mantém a compatibilidade entre sistemas de tv colorida e em preto-e-branco.
- Utilizado pelo padrão americano NTSC (*National Television System Committee*)

# Sistema YIQ



$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Em que  $0 \leq R, G, B \leq 1$

# Sistema YUV



- Usado para representar cores nos padrões de televisão PAL (*Phase Alternation by Line*) e SECAM (*Séquentiel Couleur à Mémoire*)
- Y corresponde à luminância
- U e V correspondem à cromaticidade

# Sistema YUV



$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Em que  $0 \leq R, G, B \leq 1$



# Intensity Slicing



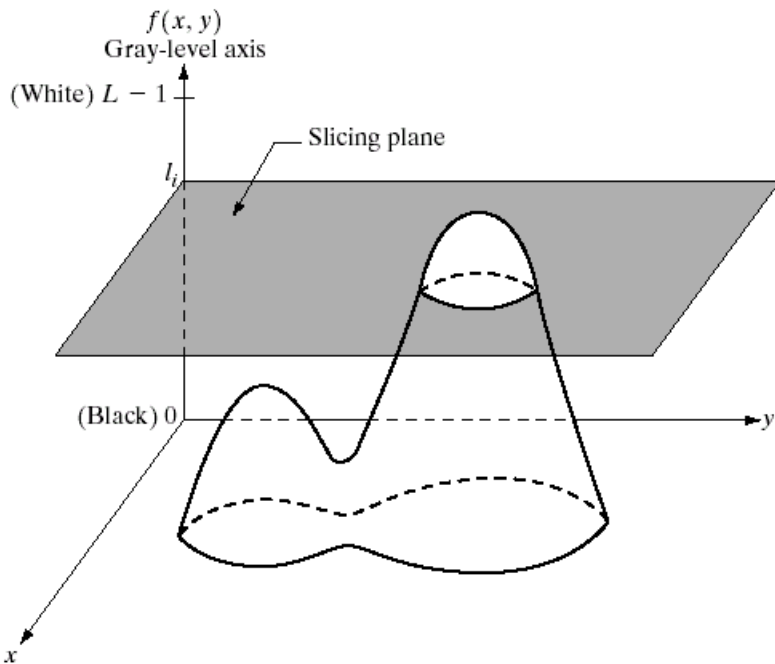
- É uma das técnicas mais simples;
- Se a imagem é vista como uma função de intensidade 2D, o método pode ser interpretado como a colocação de planos paralelos (*slices*) ao plano de coordenadas da imagem.

# Intensity Slicing

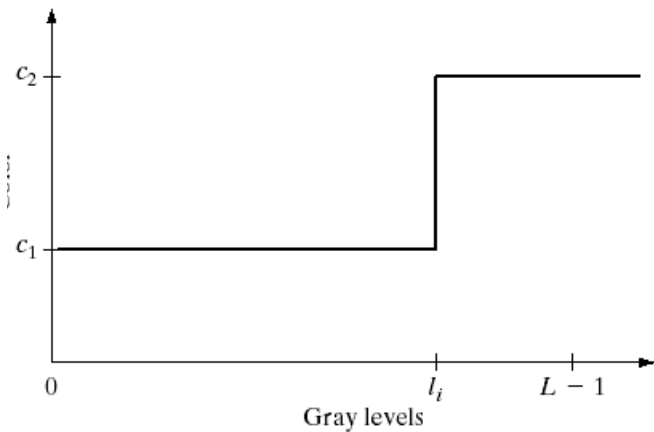


- Diferentes cores são associadas aos pixels que estão acima e abaixo do plano de corte.
- A idéia de planos é útil para uma interpretação geométrica, mas podemos pensar em uma função que mapeia os níveis de cinza para uma dada cor.

# Intensity Slicing

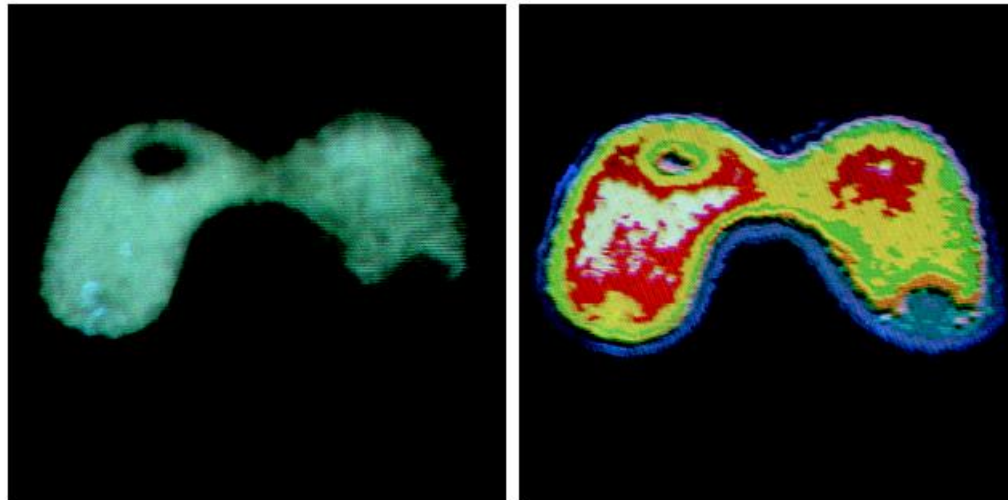


**FIGURE 6.18** Geometric interpretation of the intensity-slicing technique.



**FIGURE 6.19** An alternative representation of the intensity-slicing technique.

# Intensity Slicing



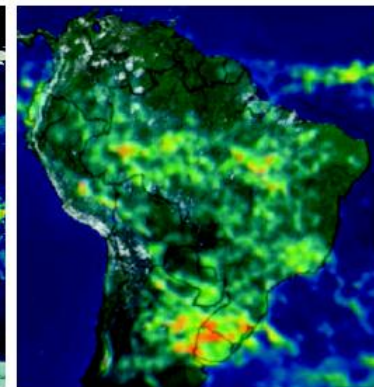
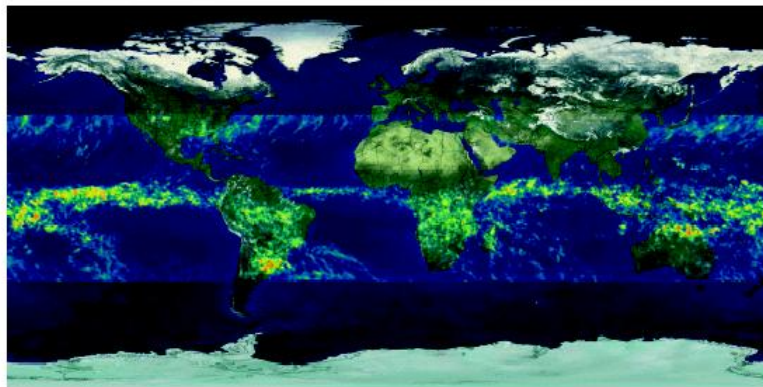
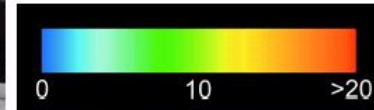
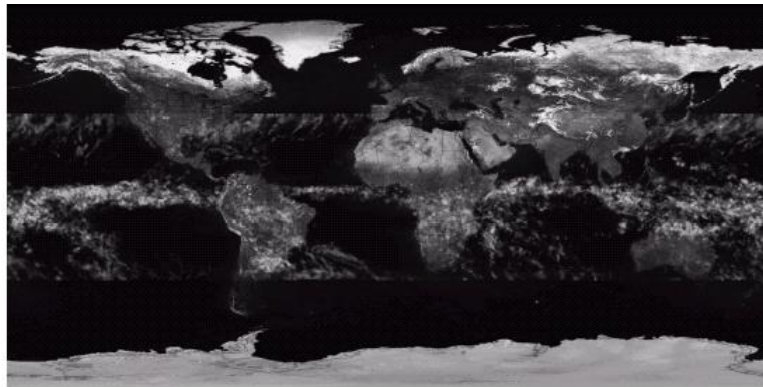
a b

**FIGURE 6.20** (a) Monochrome image of the Picker Thyroid Phantom. (b) Result of density slicing into eight colors. (Courtesy of Dr. J. L. Blankenship, Instrumentation and Controls Division, Oak Ridge National Laboratory.)

---



# Intensity Slicing



a b  
c d

**FIGURE 6.22** (a) Gray-scale image in which intensity (in the lighter horizontal band shown) corresponds to average monthly rainfall. (b) Colors assigned to intensity values. (c) Color-coded image. (d) Zoom of the South America region. (Courtesy of NASA.)

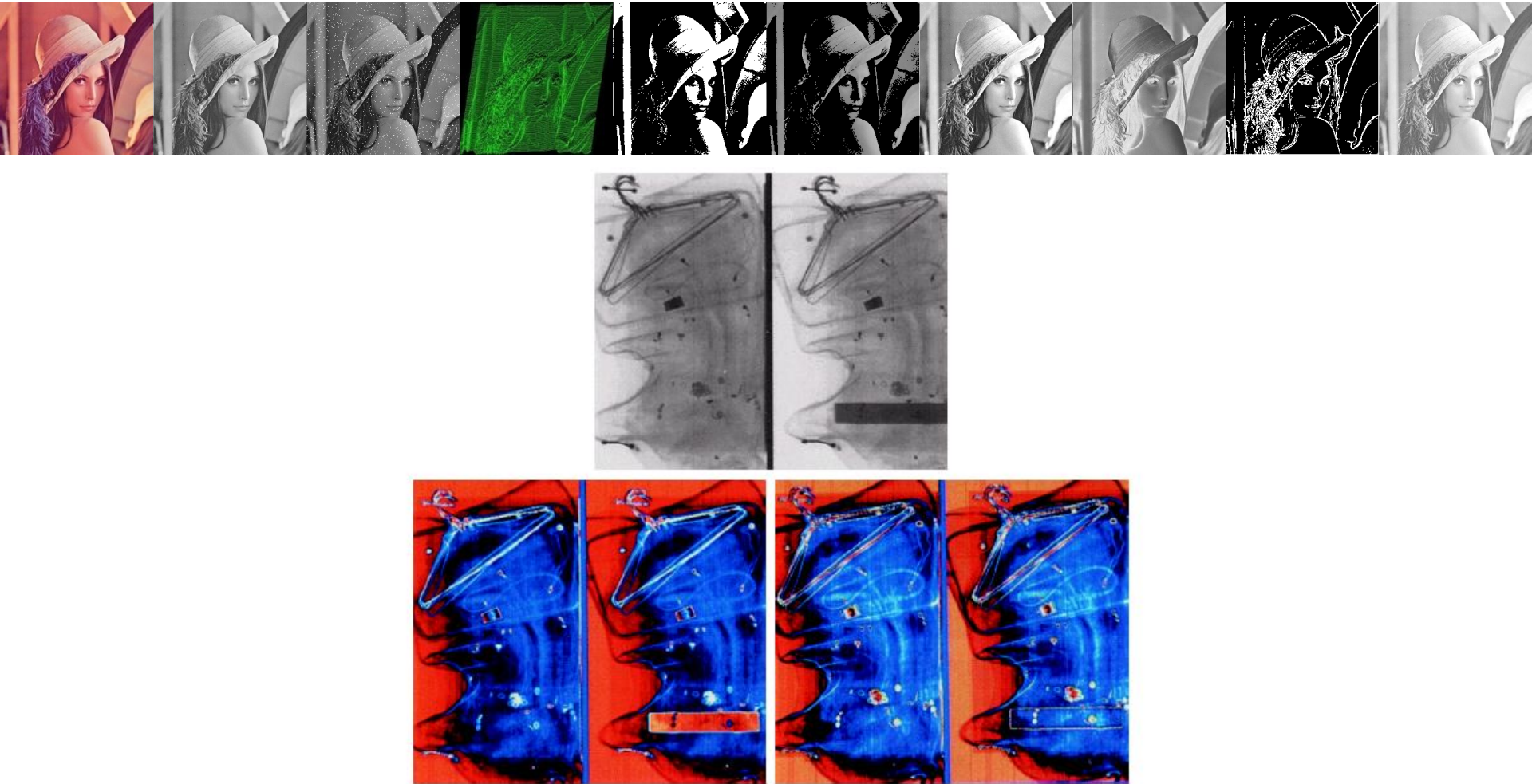
# Pseudo coloração



- A idéia por trás desta técnica é executar 3 transformações independentes sobre níveis de cinza dos pixels de uma imagem de entrada.
- Cada cor é transformada independentemente e em seguida alimentam um sistema que as combina formando uma cor (ex: monitor de tv colorido).
- As funções de transformação neste caso são não lineares, o que torna o método mais flexível que o anterior.



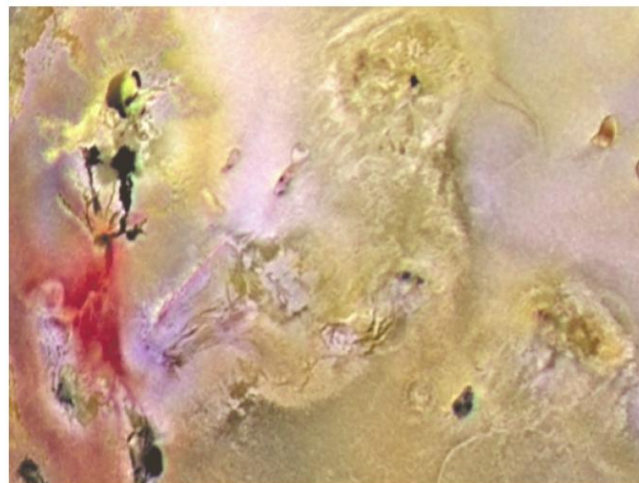
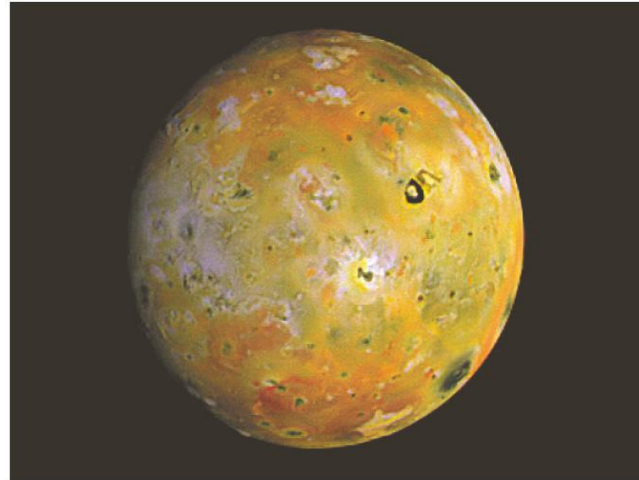
# Pseudo coloração



a  
b c

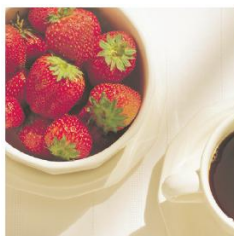
**FIGURE 6.24** Pseudocolor enhancement by using the gray-level to color transformations in Fig. 6.25. (Original image courtesy of Dr. Mike Hurwitz, Westinghouse.)

# Pseudo coloração

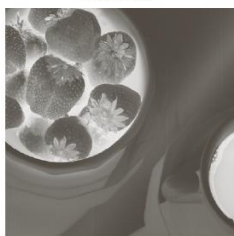


a  
b

**FIGURE 6.28**  
(a) Pseudocolor rendition of Jupiter Moon Io.  
(b) A close-up.  
(Courtesy of NASA.)



Full color



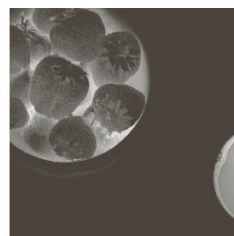
Cyan



Magenta



Yellow



Black



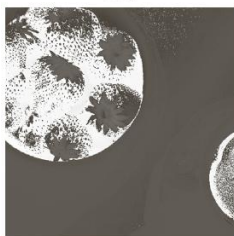
Red



Green



Blue



Hue



Saturation



Intensity



# Processamento de Imagens Coloridas



- Equalização histográfica
  - Como as imagens coloridas têm vários componentes, a técnica em níveis de cinza deve ser modificada para trabalhar com cada componente e seu histograma associado. O processamento independente de cada cor resultará numa imagem com as cores modificadas.
  - A técnica mais lógica é modificar a intensidade da cor sem alterar a sua matiz. Para tanto a imagem é representada no espaço de cor HSI, a equalização realizada sobre a intensidade I, e o resultado convertido para RGB.

# Processamento de Imagens Coloridas



- Equalização histográfica por cada banda

```
img = imread('lena_rgb.png');
```

```
R = histeq(img(:,:,1));
```

```
G = histeq(img(:,:,2));
```

```
B = histeq(img(:,:,3));
```

```
nimg = cat(3, R,G,B);
```



# Processamento de Imagens Coloridas



# Processamento de Imagens Coloridas



- Equalização histográfica na intensidade  

```
img = imread('lena_rgb.png');  
hsi = rgb2hsi(img);  
eq_i = histeq(hsi(:,:,3));  
new_hsi = cat(3, hsi(:,:,1), hsi(:,:,2), eq_i);  
new_img = hsi2rgb(new_hsi);
```

[hsi2rgb](http://fourier.eng.hmc.edu/e161/dipum/hsi2rgb.m) -> <http://fourier.eng.hmc.edu/e161/dipum/hsi2rgb.m>

[rgb2hsi](http://fourier.eng.hmc.edu/e161/dipum/rgb2hsi.m) -> <http://fourier.eng.hmc.edu/e161/dipum/rgb2hsi.m>



# Processamento de Imagens Coloridas



# Processamento de Imagens Coloridas



- Filtragem espacial

```
img = imread('lena_rgb.png');
```

```
mask = fspecial('gaussian', 1.5);
```

```
R = imfilter(img(:,:,1), mask);
```

```
G = imfilter(img(:,:,2), mask);
```

```
B = imfilter(img(:,:,3), mask);
```

```
nimg = cat(3, R,G,B);
```



# Processamento de Imagens Coloridas





# Processamento de Imagens Coloridas



- Detecção de bordas

```
img = imread('lena_rgb.png');
```

```
R = edge(img(:,:,1));
```

```
G = edge(img(:,:,2));
```

```
B = edge(img(:,:,3));
```

```
nimg = R | G | B;
```

# Processamento de Imagens Coloridas

