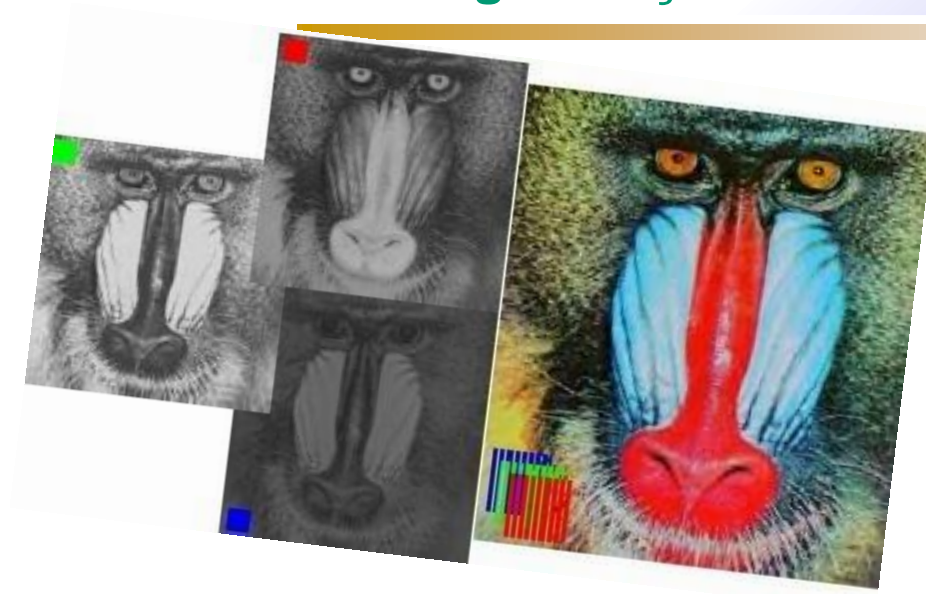


Prof. Dr. Leandro Alves Neves

Pós-graduação em Ciência da Computação



Aula 07

Processamento de Imagens
Digitais

Sumário

■ Cor

- Modelos de Cores
- XYZ, RGB, HSI, CMY e CMYK

■ Processamento de Imagens em Pseudocores

- Fatiamiento de Intensidades
- Transformações de Intensidades para Cores

■ Transformações de Cores

- Ajuste linear no contraste
- Processamento de Histogramas

■ Filtragem: Suavização e Aguçamento

Modelos de Cores

■ Colorimetria

□ Estudo das cores

- Objetivo: **quantificar** (numericamente) as cores e **padronizar** como o ser humano as enxerga.

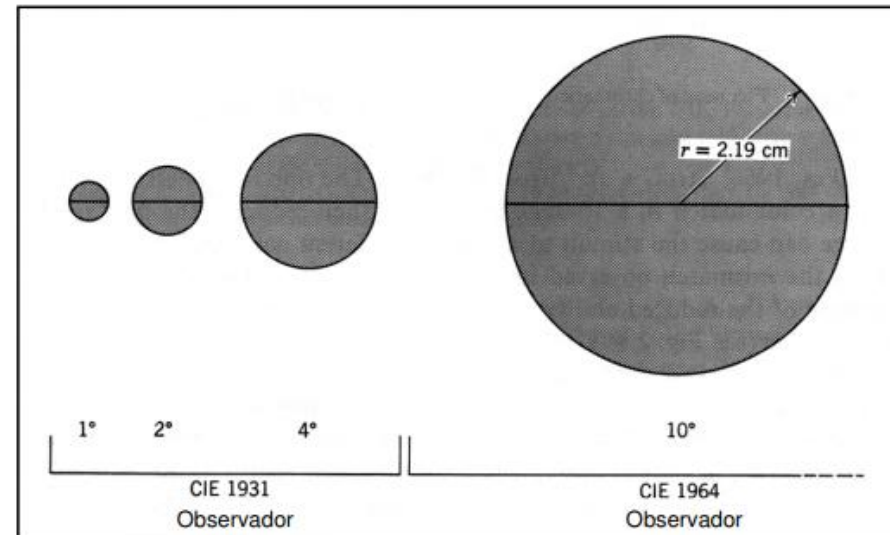
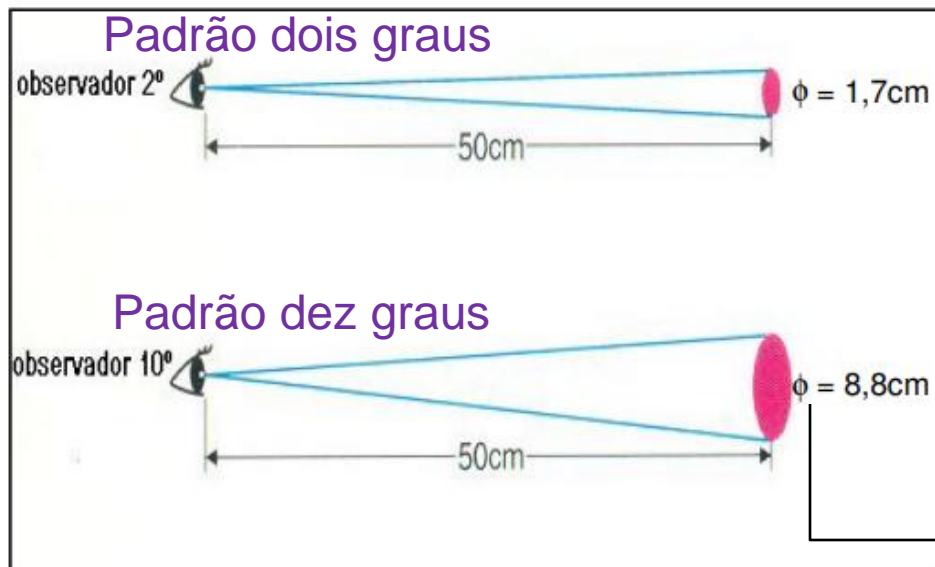
■ Sistema CIE (1931)

- Sistema CIE (Comissão internacional de Iluminação) é utilizado para descrever a cor.
- Padronização de **iluminantes e observadores**.
 - Observador padrão
 - Iluminantes (fontes):
 - **A** (luz incandescente (média) – **2856K**), **B** (luz solar – **4900K**) e **(C)** luz do dia (média) – **6800K**.

Modelos de Cores

■ Sistema CIE

- Padronização de iluminantes e observadores.



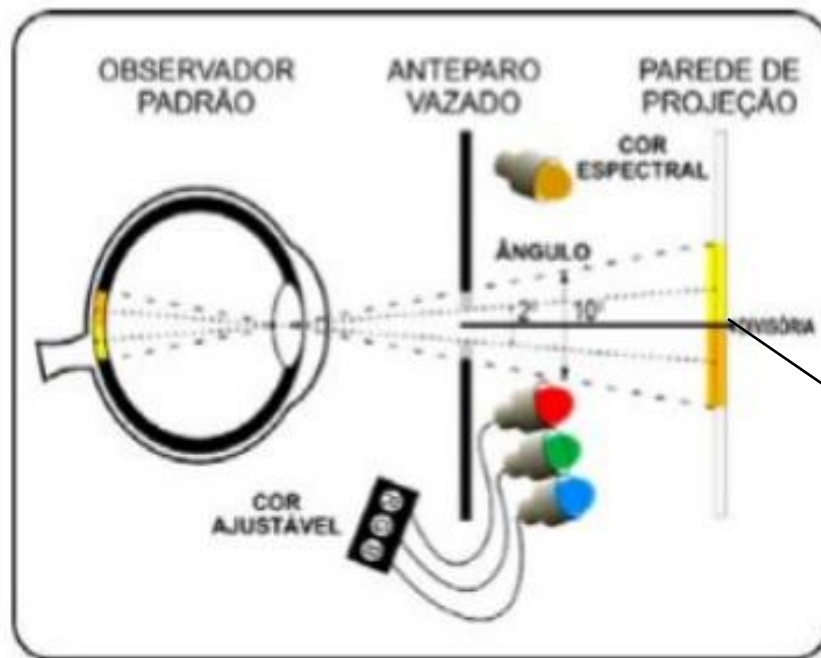
Campos visuais dos observadores (Hirschler, 2002)

Campo visual (aproximado)

Modelos de Cores

■ Cor

- Pode ser definida pela Cromaticidade
- **Modelo de cores** desenvolvido pela CIE: **XYZ ou CIE**
 - Baseado na **resposta espectral** correspondente ao olho
 - Experimento com aproximadamente **20 indivíduos**



Verificar a sensibilidade do olho com a mistura das cores primárias RGB

Escolha de duas áreas da retina (parte **central**, fóvea, e **geral**)

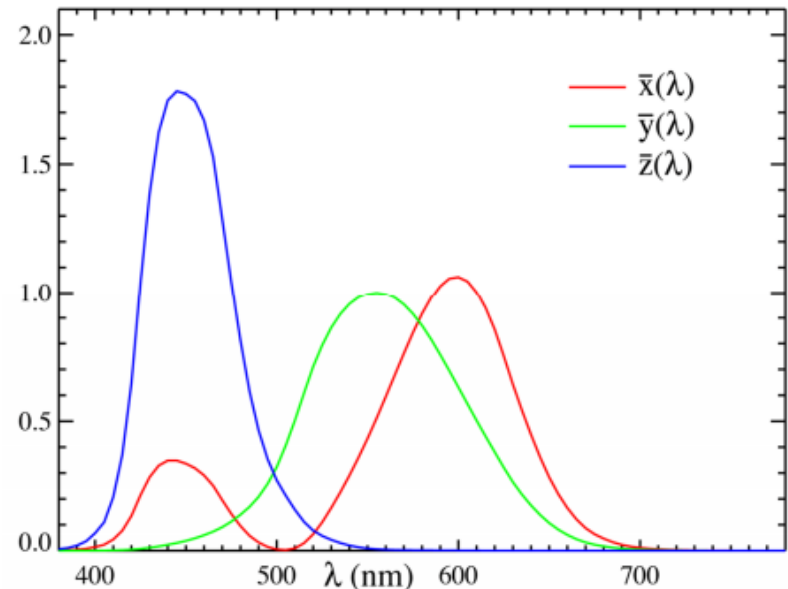
Modelos de Cores

■ Cor

- Pode ser definida pela Cromaticidade
- **Modelo de cores** desenvolvido pela CIE: **XYZ ou CIE**
 - Resposta espectral correspondente ao olho

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

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



- Cores obtidas pela **combinação das cores primárias**: $x + y + z = 1$
 - **triestímulos**
- Cor: especificada pelos **coeficientes tricromáticos**

Modelos de Cores

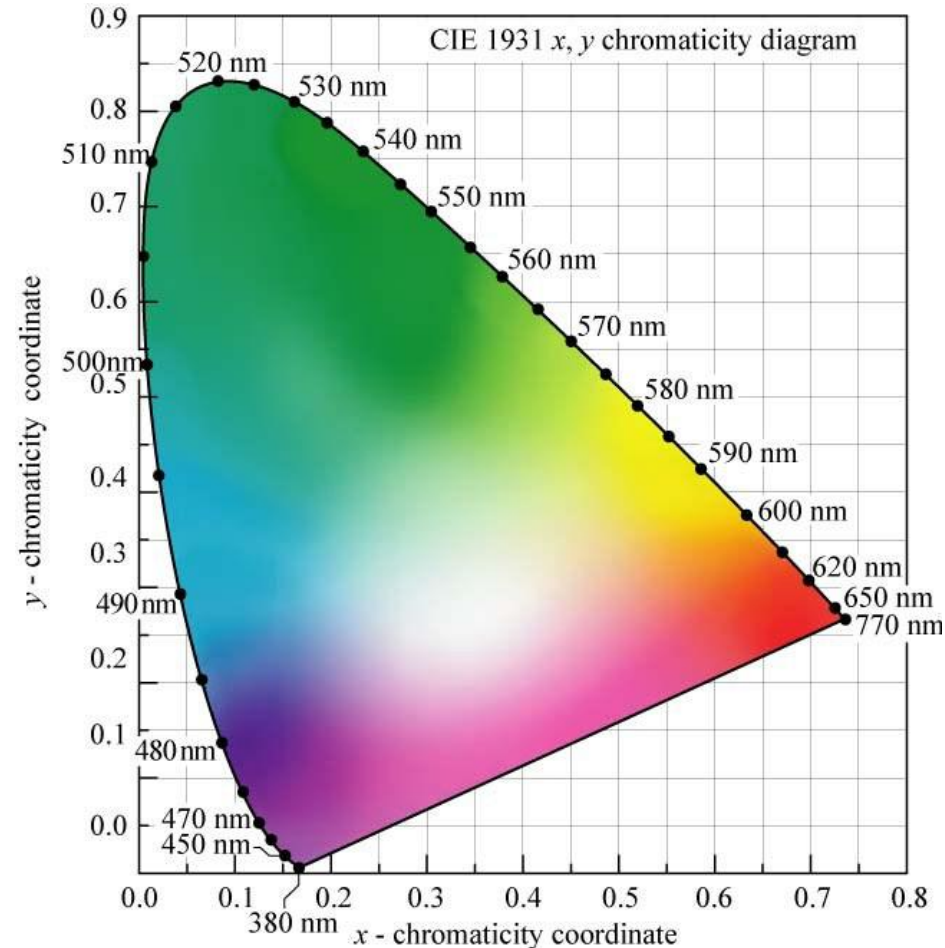
Diagrama de Cromaticidade

- Composição de Cores em função do espaço x e y

Aproximação

- Com o XYZ se tem todos os coeficientes positivos na percepção da mesma luz para um humano padrão
- Integração:
 - Distribuição espectral de potência do iluminante
 - As funções do observador (x , y e z)
 - Função espectral de radiância do objeto

- Intervalo de medição de 5nm e faixa de comprimento de onda de 380nm a 780nm para objetos

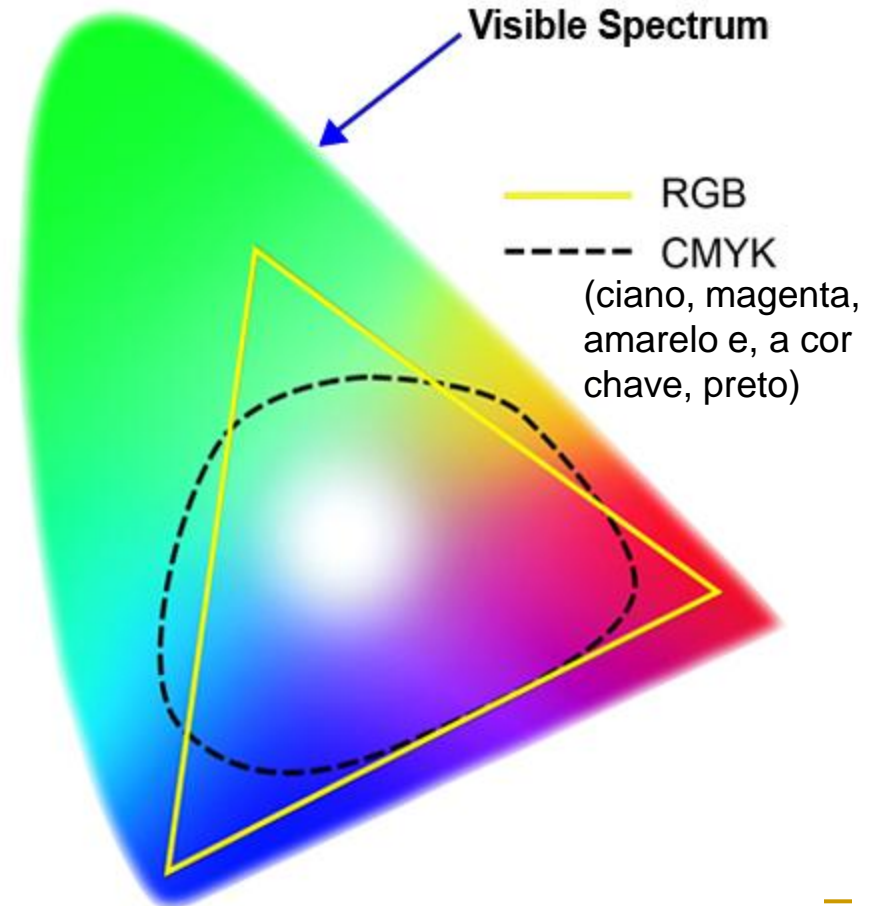


- Para qualquer valor de x e y , o valor de z (azul) é dado por:

$$z = 1 - (x + y)$$

Modelos de Cores

- **Diagrama de Cromaticidade**
- Gama de Cores (“Gamut”)
- Reprodução pelos dispositivos monitores e impressoras, por exemplo.

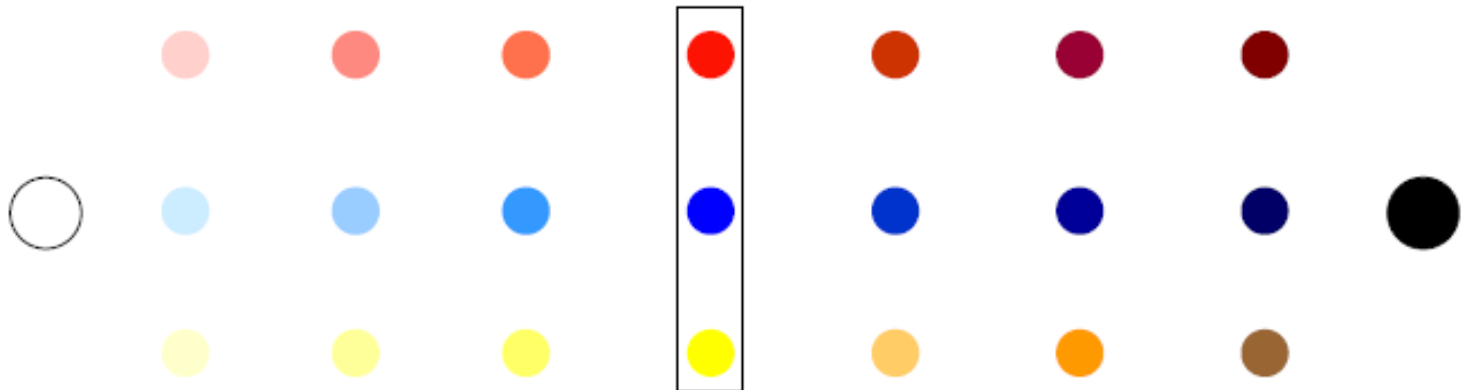


Modelos de Cores

■ Resumindo:

□ Distinção entre cores, considera:

- **Matiz (Hue):** comprimento de onda dominante (**Cor PURA**)
- **Saturação (Saturation):** pureza do matiz (**quantidade em que a cor pura é diluída na luz branca**)
- **Cromaticidade:** matiz e saturação tomadas juntas



Modelos de Cores

■ Modelos (espaços) de Cores

□ Aditivos e Subtrativos

□ Diferentes modelos

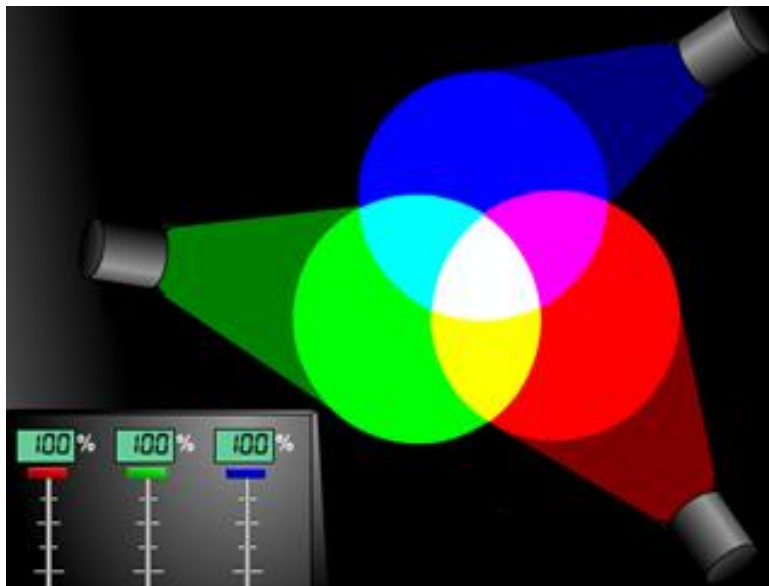
■ A maioria é orientada ou em direção:

□ Hardware

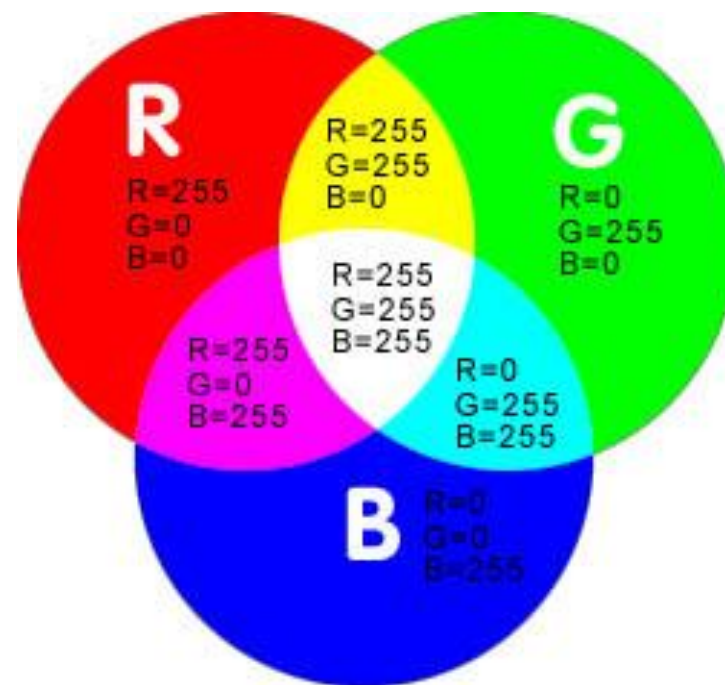
□ Aplicações envolvendo manipulação de cores

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: Aditivos (Luz)



A adição de luz em diferentes comprimentos de onda gera a mistura



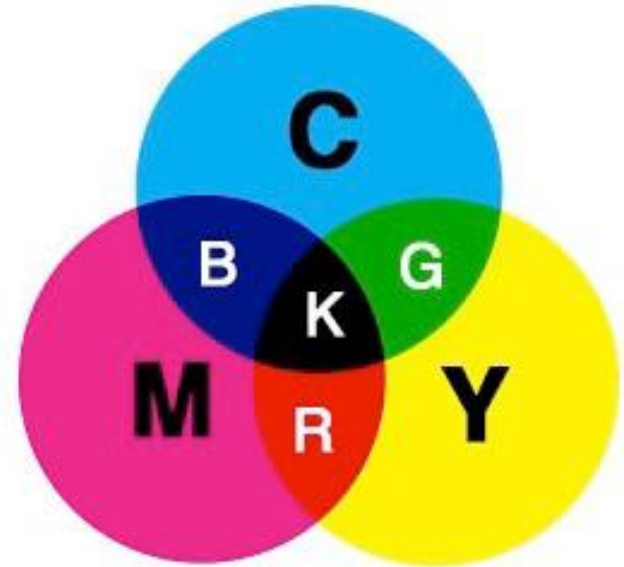
- Exemplos de modelos aditivos: XYZ, RGB, HSV (HSB) e HSI (HSL)
- Aplicações: monitores, projetores e TVs

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: Subtrativos (Luz)



Mistura gerada pela absorção da luz, em diferentes comprimentos de onda. Quanto mais pigmento, mais escura a cor.



Cor branca produzida pela ausência dessas cores primárias

- ❑ Exemplos de modelos subtrativos: CMY e CMYK
- ❑ Aplicações: Dispositivos de impressão

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: RGB

- É baseado em um sistema de coordenadas cartesianas



Espaço de cores é um cubo

■ Cores primárias

- R, G, B definem três vértices do cubo

■ Cores secundárias

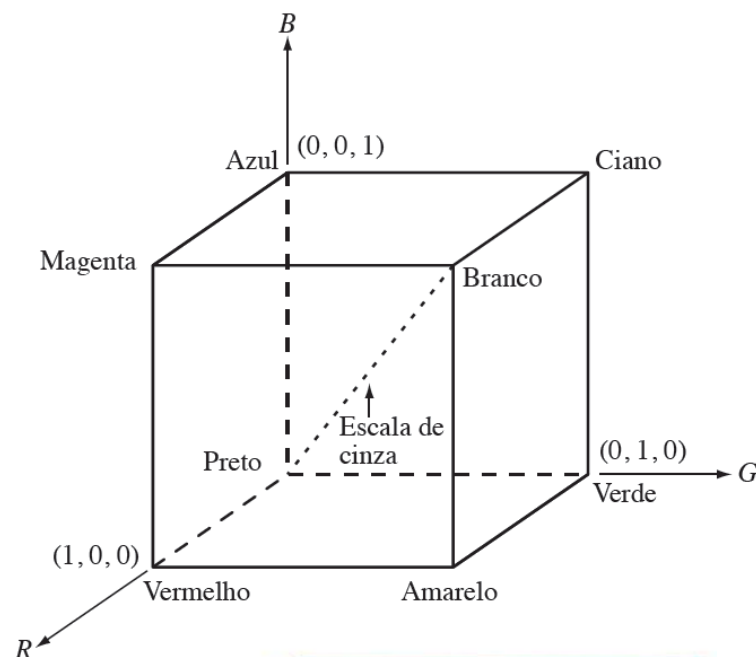
- Ciano, Magenta e Amarelo outros três vértices

■ Cor preta: origem do sistema

■ Cor branca: extremidade oposta

■ Escala de Cinza: diagonal entre origem e extremidade oposta

- Pontos são normalizados entre 0 e 1



Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: RGB



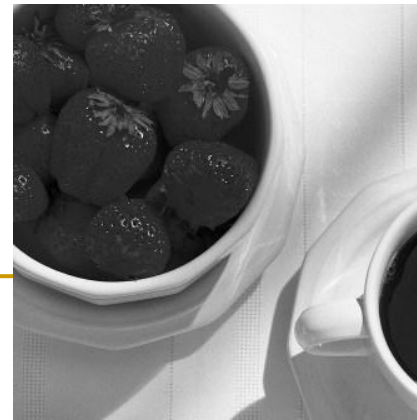
RGB



R



G



B

■ Imagem colorida RGB

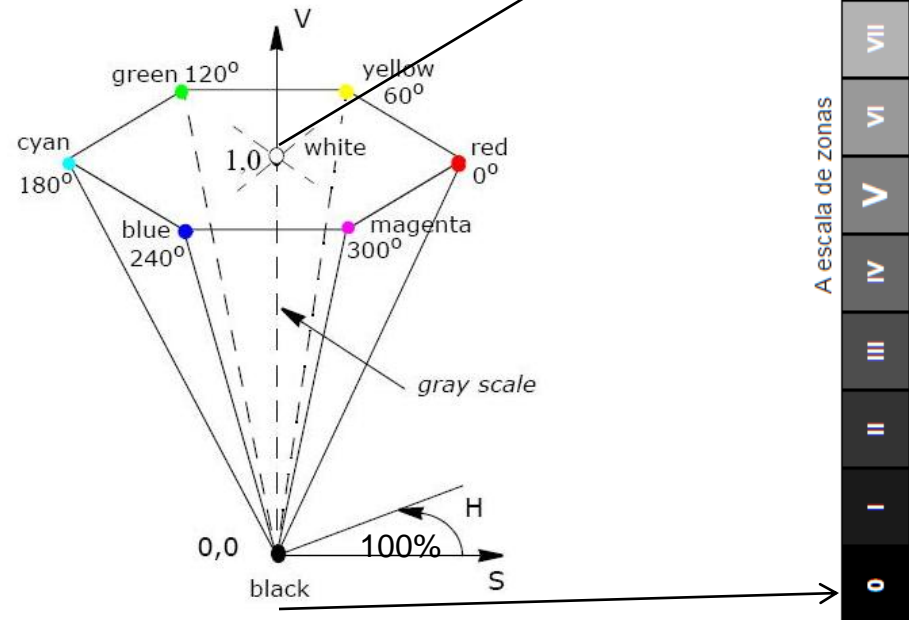
- Arranjo de $M \times N \times 3$ pixels
- Cada ponto: tripla R,G,B em uma localização espacial

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSV ou HSB

- Definido pelos parâmetros: **matiz** (H, hue), **Saturação** (S, saturation), **luminância** (V, value – brilho, quantidade de luz na mistura, medida subjetiva de luminância)

■ Representação gráfica 3D do modelo HSV:

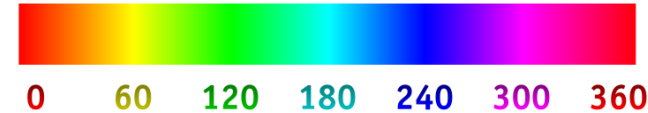


■ pirâmide (base) hexagonal

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSV ou HSB

- Base hexagonal da pirâmide
 - Cada vértice corresponde a uma cor primária RGB ou a uma cor complementar (ciano, magenta e amarelo).
- Matiz **H** está entre 0 e 360°
 - O ângulo entre os vértices é de 60°
 - Por exemplo,
 - vermelho é dado pelo ângulo 0; Amarelo igual a 60°
- A saturação **S** está entre 0 a 1:
 - 1: pureza máxima de um matiz
 - 0: ponto central
- O brilho **V** (luminância) está entre 0 e 1, medida subjetiva:
 - 0: pico da pirâmide, que representa a cor preta
 - 1: base, a intensidade da cor é máxima



Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: RGB para HSV

- A conversão do modelo RGB para o modelo HSV pode ser realizada por meio das seguintes equações:

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

$$S = \begin{cases} \frac{(M - m)}{M}, & \text{se } M \neq 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$V = M \text{ (luminância entre 0 e 1, logo: } V = M/255 \text{)}$$

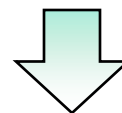
em que $m = \min(R, G, B)$ e $M = \max(R, G, B)$.

Exemplo:



R (0) G(0) B (204)

M=204; m=0.



$$H = 60 \frac{(0 - 0)}{204 - 0} + 240$$

$$S = \frac{(204 - 0)}{204}$$

$$V = \frac{204}{255}$$

H (240) S(1) V (0.8)

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSV ou HSB



RGB



H



S



V

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSV ou HSB



RGB



Saturação máxima



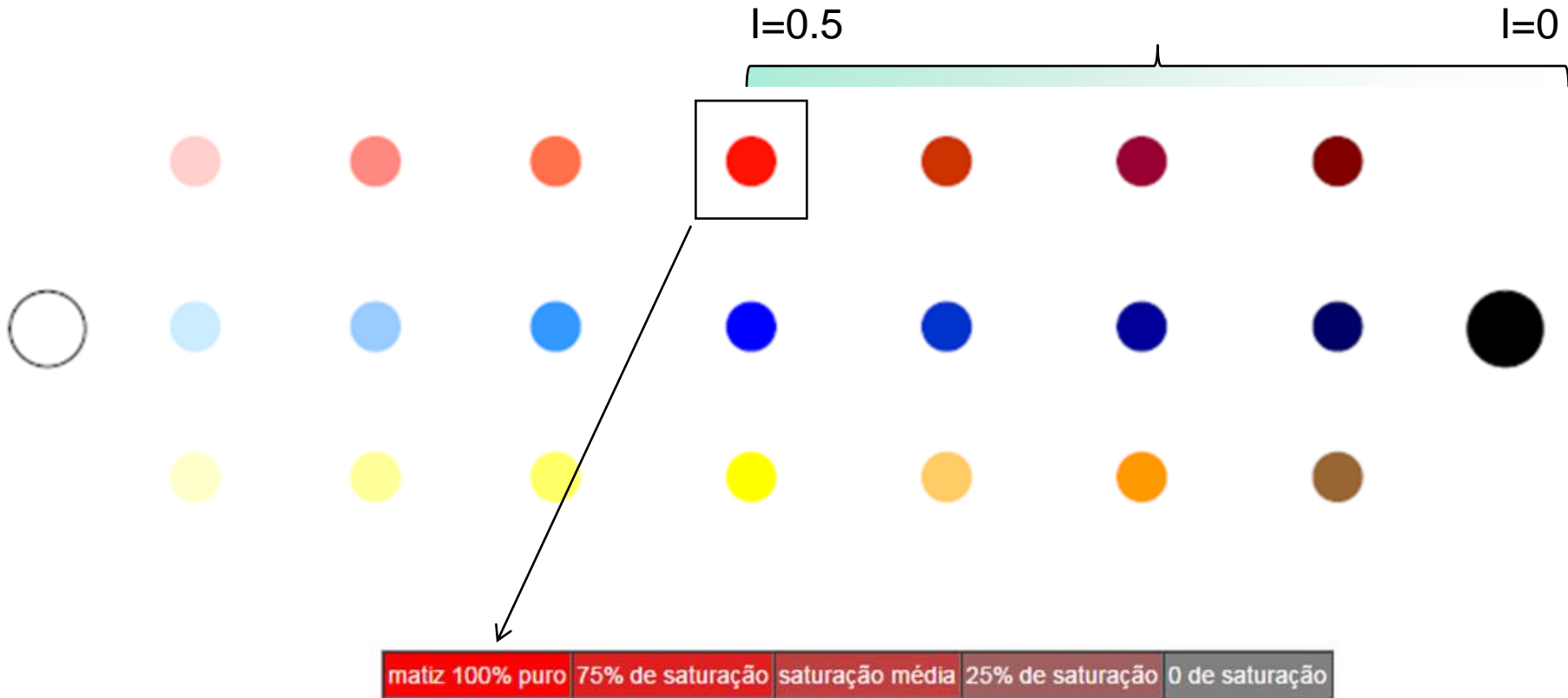
Valor máximo



Modificação no matiz

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSI



Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSI

- Definido pelos parâmetros: matiz (H, hue), Saturação (S, saturation), Intensidade (I, *Intensity*, luminância, intensidade em níveis de cinza)

■ Representação gráfica do modelo HSI:

- Diferentes bases

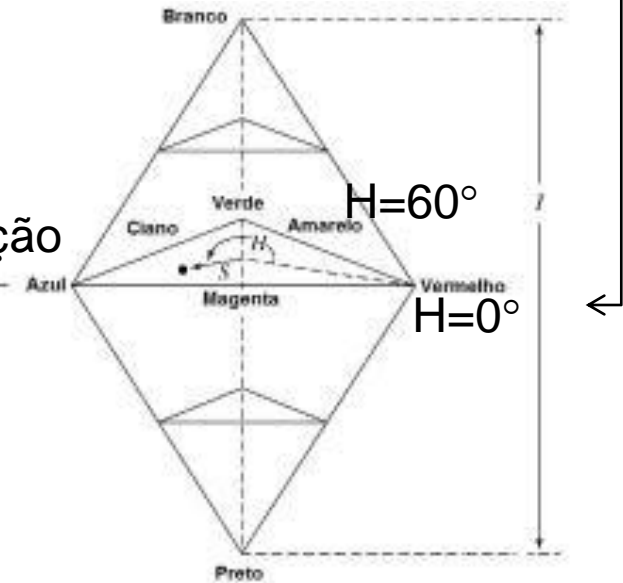
■ Bases são coincidentes

Escala de claridade para o cinza neutro

| 0 | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | | | | | | | | | |



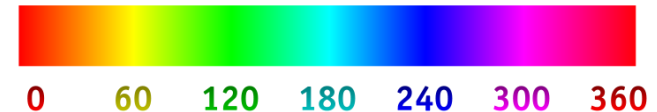
Matizes com máxima saturação



Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSI

- Planos de cores triangular ou circular
 - Vértices: cores primárias RGB ou cores complementares (ciano, magenta e amarelo).
- Matiz H está entre 0 e 360°
 - Pontos no círculo ou no triângulo
- A saturação S está entre 0 e 1, distância da borda ao centro:
 - 1: pureza máxima de um matiz
 - 0: escala de cinza
- A intensidade está entre 0 e 1:
 - 0: vértice inferior da pirâmide, que representa a cor preta
 - 1: vértice superior da pirâmide, a intensidade da cor é máxima



Os matizes puros: $S=1$; $I=0,5$

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: RGB para HSI

$$H = \arccos \left(\frac{(R - G) + (R - B)}{2 \sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right)$$

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

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

- ❑ Caso $B > G$, $H = 360 - H$.
- ❑ Componentes R , G e B estão normalizados: entre 0 e 1.
- ❑ I e S estão normalizados: entre 0 e 1.
- ❑ H : entre 0 e 360° .
- ❑ $S = 0$, se $\min(R, G, B) = 1/3$.
- ❑ $S = 1$, se $\min(R, G, B) = 0$, indicando um ponto em uma das arestas.

Prova pode ser obtida em ([006_RGB-HSI_ConversionEquations\(Derivations\)-rgb-hsi-conversions\(DIP1992\).zip](http://www.cse.cmu.edu/~dip/006_RGB-HSI_ConversionEquations(Derivations)-rgb-hsi-conversions(DIP1992).zip)):

https://wps.prenhall.com/br_gonzalez_1/151/38755/9921479.cw/index.html, acesso 03/2023.

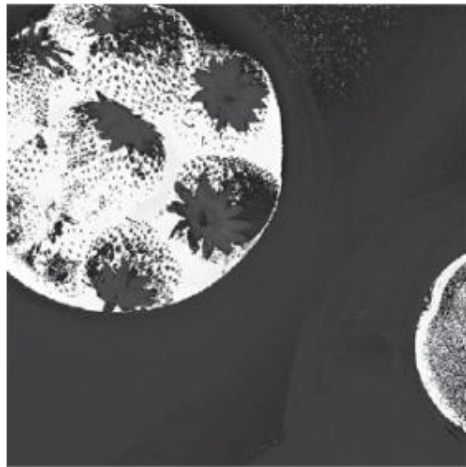
Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSI

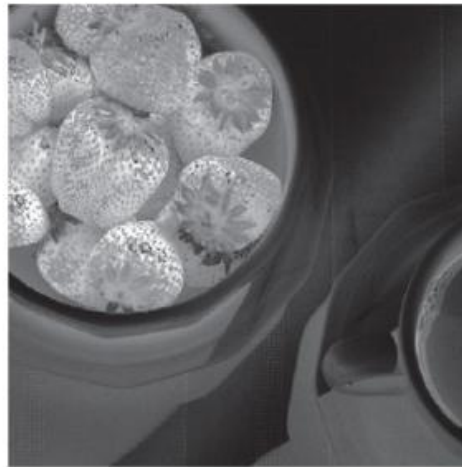
Modelo de interesse em
Visão Computacional



RGB



Matiz



Saturação



Intensidade

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSI

Modelo de interesse em
Visão Computacional



Matiz



Saturação



Intensidade

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: HSI

- Equalização do Histograma:
 - Aplicada sobre o componente I de uma imagem colorida



Não distorce as informações de Cromaticidade

Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: CMY e CMYK

- ❑ CMY: definida por 3 canais
 - ❑ **CYAN**, **MAGENTA**, **YELLOW**
 - ❑ CMYK: definida por 4 canais
 - ❑ **CYAN**, **MAGENTA**, **YELLOW** e **BLACK**
 - ❑ **BLACK**: cor adicionada ao modelo pelas necessidades das indústrias de edição de documentos em papel
-
- ## ■ Modelos **subtrativos**
- ❑ **Fundamentados em como a natureza cria as suas cores, refletindo parte do espectro de luz e absorvendo outras**

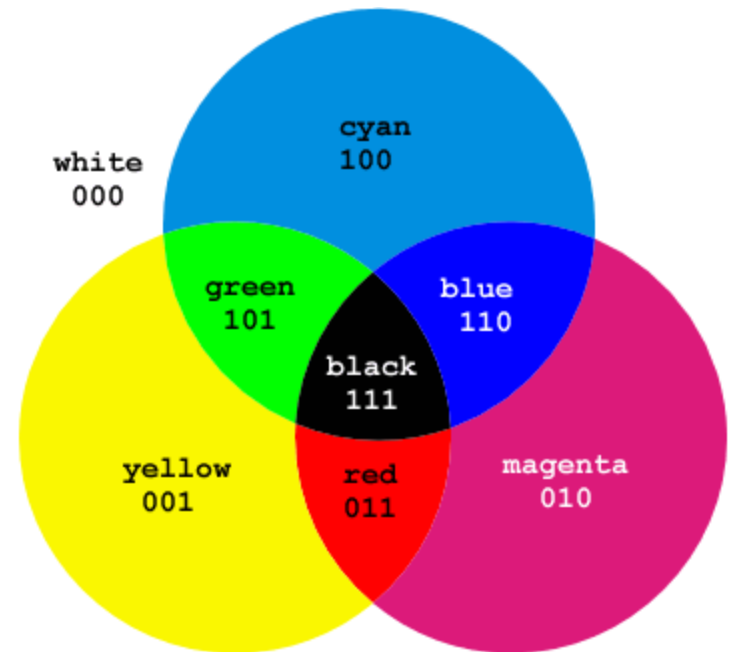
Modelos de Cores

■ Modelos de Cores: CMY e CMYK

■ Modelo Obtido por:
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \\ R \\ R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G \\ B \\ G \end{bmatrix}$$

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

■ em que, $0 \leq R, G, B \leq 1$.

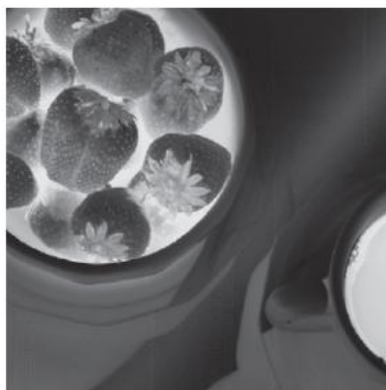


Modelos de Cores

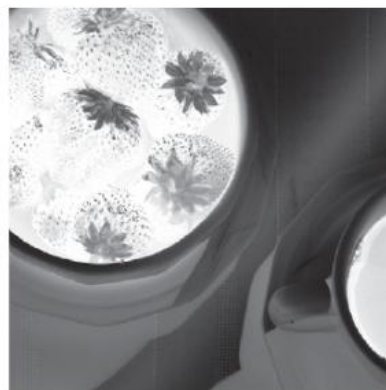
■ Modelos de Cores: CMY e CMYK



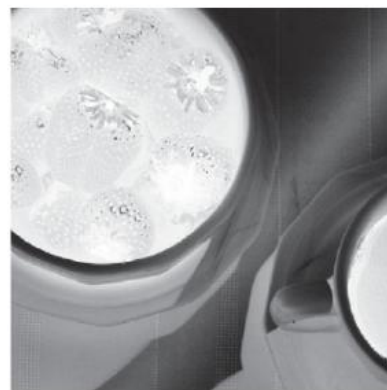
Colorida



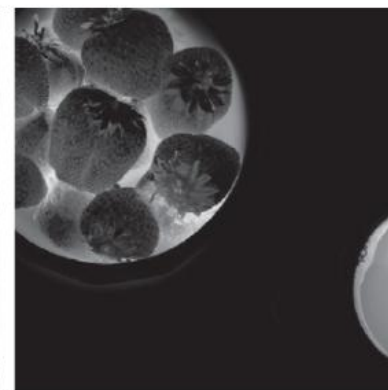
Ciano



Magenta



Amarelo



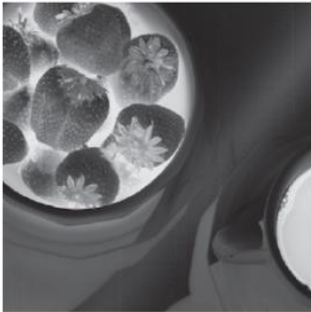
Preto

Modelos de Cores

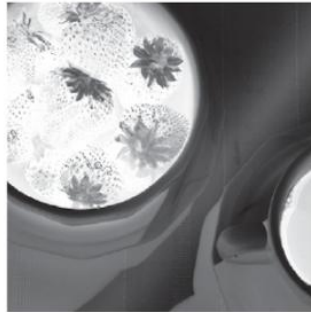
■ Modelos de Cores: RGB versus CMYK



Colorida



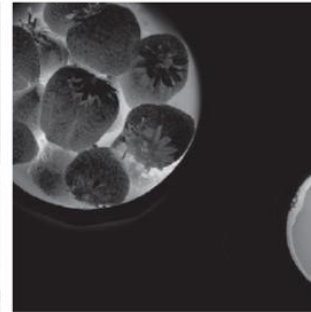
Ciano



Magenta



Amarelo



Preto



Vermelho



Verde



Azul

Imagens Coloridas e Pseudocores

- **Pseudocores**
- **Transformações de Cores**

Imagens Coloridas e Pseudocores

■ Pseudocores ou Falsas cores

- Atribuir cores a valores de cinza
 - Necessidade de um critério

- **Função Principal:**
 - Facilitar a visualização e interpretação humana de eventos

- Técnica: **Fatiamento por intensidades**

Imagens Coloridas e Pseudocores

■ Fatiamento por Intensidades

- A intervalo de intensidade é associado a uma cor:

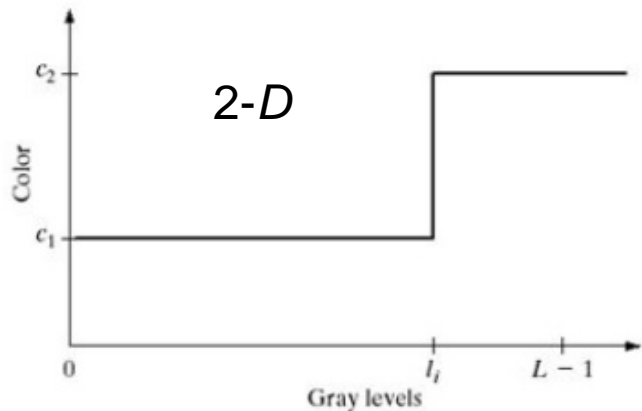
$[0, L-1]$: escala de cinza

l_0 : preto $\Rightarrow [f(x,y)=0]$

l_{L-1} : branco $\Rightarrow [f(x,y)=L-1]$

$0 < P < L-1 \Rightarrow P$, planos perpendiculares que particionam a escala de cinza

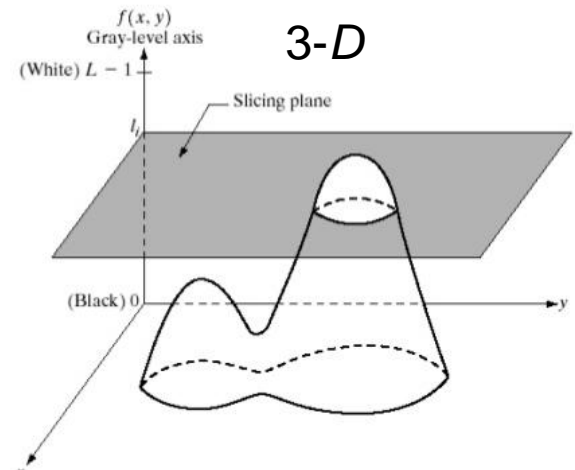
$V_k \Rightarrow$ intervalos particionados em função de P



- Atribuições de cores:

$$f(x, y) = c_k \text{ se } f(x, y) \in V_k$$

- c_k : cor associada ao K -ésimo intervalo V_k



Imagens Coloridas e Pseudocores

■ Fatiamento por Intensidades: Exemplos

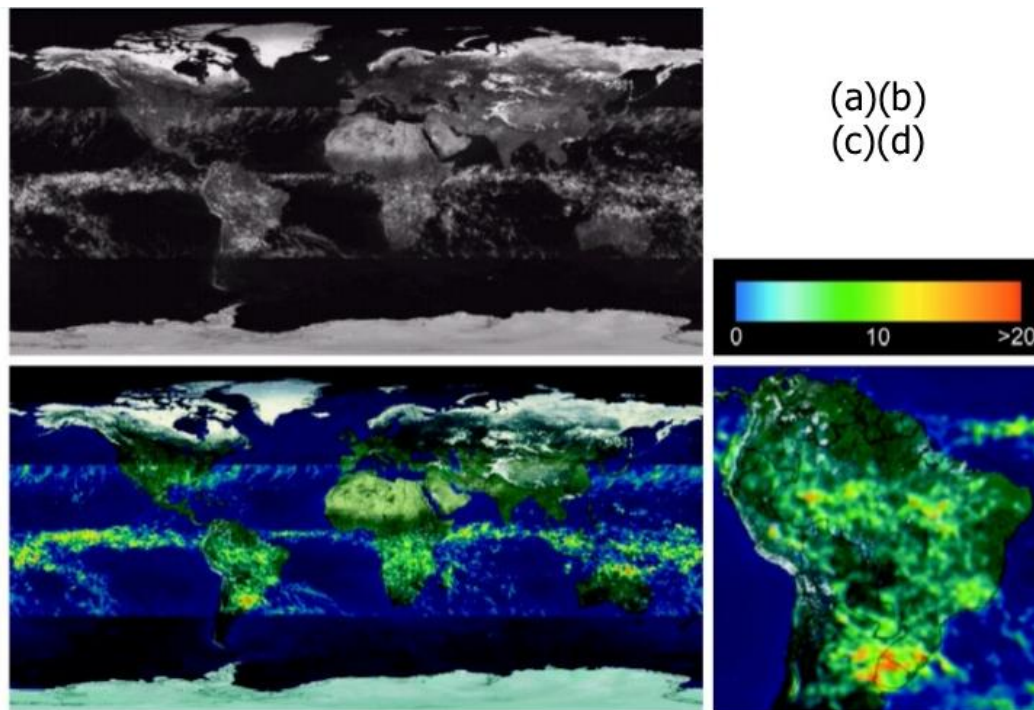


Figura – (a) Imagem em nível de cinza em que a intensidade corresponde ao índice pluviométrico mensal médio. (b) Cores correspondentes aos valores de intensidade. (c) Imagem codificada em cores. (d) Zoom da região da América do Sul.

Imagens Coloridas e Pseudocores

■ Fatiamento por Intensidades: Exemplos

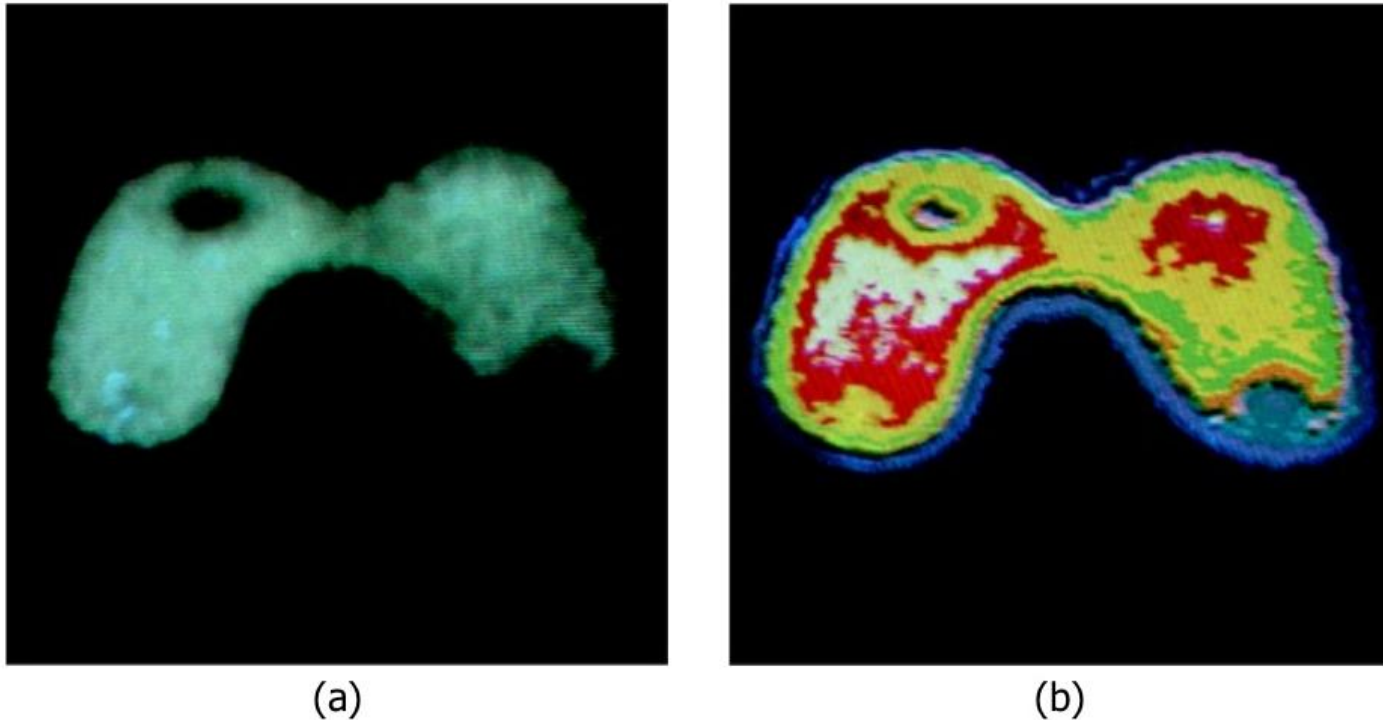
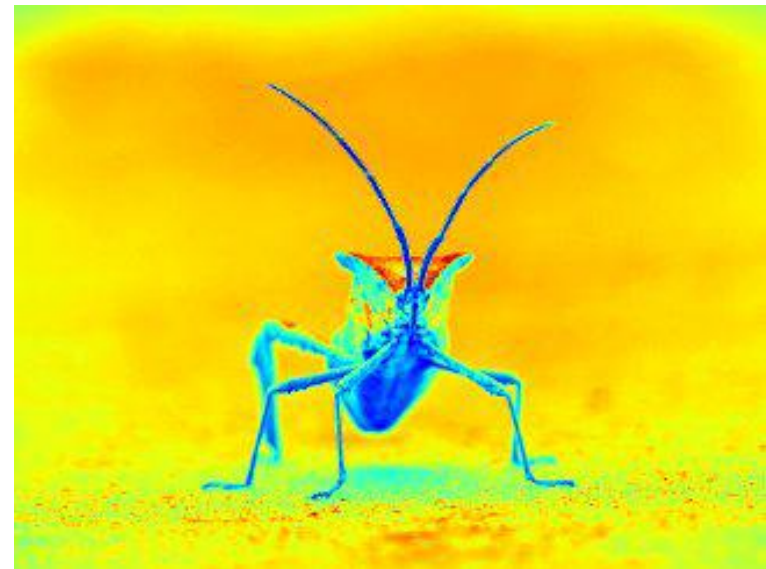


Figura – (a) Imagem monocromática do Fantasma de tireóide de Picker. (b) Fatiamento de intensidades da imagem em 8 (oito) intervalos de intensidades.

Imagens Coloridas e Pseudocores

■ **Fatiamento por Intensidades: Exemplos**

- Diversas técnicas são aplicadas para atribuir pseudocores
 - Substituir cada intensidade por um matiz (Por exemplo, sistema HSV ou HSI)



Imagens Coloridas e Pseudocores

■ Transformação de intensidades para cor

- Técnica mais geral: atinge uma escala mais ampla de realce
 - Funções de Transformações: independentes em cada canal

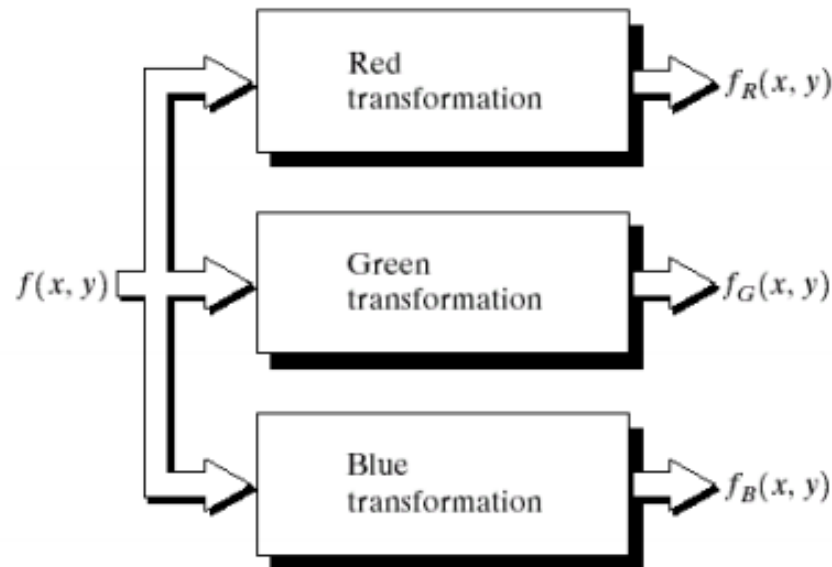


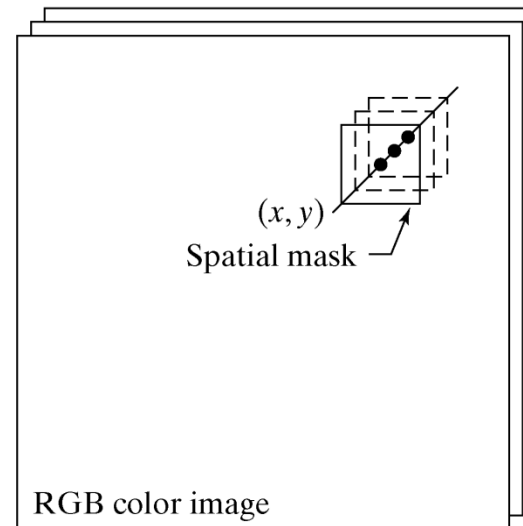
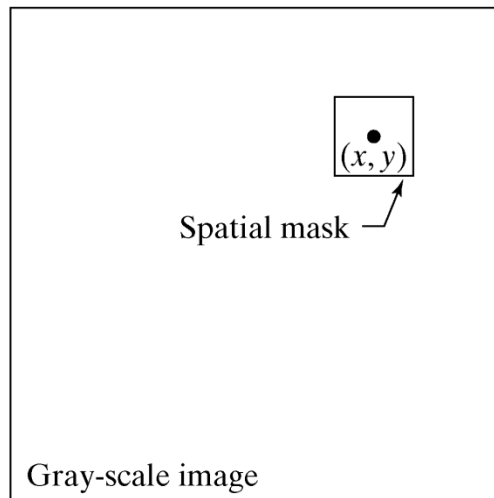
FIGURE 6.23 Functional block diagram for pseudocolor image processing. f_R , f_G , and f_B are fed into the corresponding red, green, and blue inputs of an RGB color monitor.

Imagens Coloridas e Pseudocores

■ Transformações de Cores

□ $g(x,y)=T[f(x,y)]$

- em que: $f(x,y)$ é uma imagem colorida dada como entrada;
- $g(x,y)$ é uma imagem colorida de saída
- T é um operador em f definido em uma vizinhança do ponto $f(x,y)$



Se não há a necessidade de modificar as cores \Rightarrow aplicar a mesma técnica de processamento nos três canais RGB

Imagens Coloridas e Pseudocores

- **Transformações de Cores: Exemplos**
 - **Equalização de Histograma: Modelo HSI**



Entrada



Equalizada: Ajuste em /

Imagens Coloridas e Pseudocores

■ Transformações de Cores: Exemplos

- Ajuste linear no contraste: $g(x,y)=kf(x,y)$, $0 < k < 1$



Entrada



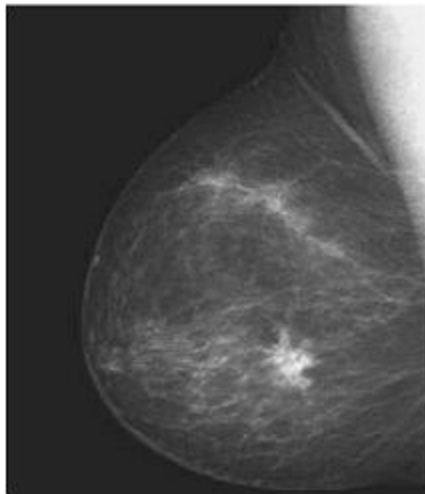
Ajuste em RGB



Ajuste em V,
modelo HSV

Exercícios

1. Considere as imagens indicadas abaixo (Padronizadas em RGB) e aplique o processo de fatiamento por intensidades. Considere que as cores devem ser normalizadas em $L_{max}=255$.



Exercícios

2. Escreva um programa que receba as imagens abaixo e aplique o processo de transformações de cores: equalização de histograma. Apresentar os histogramas equalizados e as imagens obtidas.



Exercícios

3. Escreva um programa que receba as imagens abaixo, converta para o padrão HSI e aplique a equalização de histograma. Apresentar os histogramas equalizados.



Exercícios

5. Considere a imagem indicada abaixo (Padronizada em RGB). Crie um programa para realizar o processo de fatiamento por intensidades. Cada intensidade deve ser associada a uma cor.



Imagem i

$$\xRightarrow{T(x,y)}$$

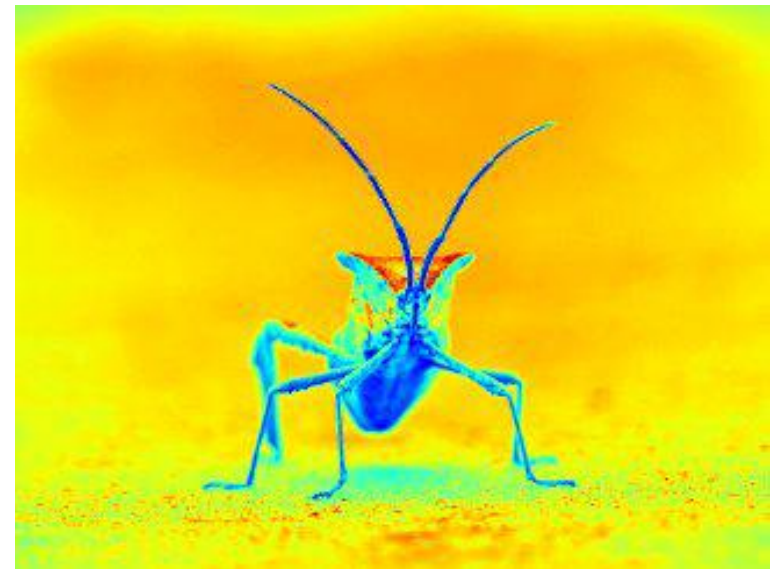
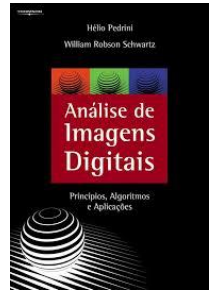


Imagem \hat{i}

Referências

1. Pedrini, H., Schwartz, W. R. Análise de Imagens Digitais: Princípios Algoritmos e Aplicações. São Paulo: Thomson Learning, 2008.

Leitura: Seção D; Capítulo 4, tópico 4.6



2. González, R. C., Woods, R. E. Processamento de Imagens Digitais. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.

Leitura: Capítulo 6; Capítulo 3, tópico 3.2.4



3. Marques Filho, O., Vieira Neto, H. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

