

Processamento de Imagens Coloridas

Parte I

BCC36F - Processamento de Imagens

Prof^ª. Dr^ª. Aretha Barbosa Alencar
arethaalencar@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)

Campo Mourão - PR

- 1 Introdução
- 2 Fundamentos da Cor
- 3 Modelos de Cor
 - Modelo de Cor RGB
 - Modelos de Cor CMY e CMYK
 - Modelo de Cor HSI

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Fundamentos da Cor
- 3 Modelos de Cor
 - Modelo de Cor RGB
 - Modelos de Cor CMY e CMYK
 - Modelo de Cor HSI

Motivação

- Cor é um poderoso descritor que frequentemente simplifica identificação e extração de objetos da cena.
- Humanos podem distinguir milhares de tonalidades de cor e intensidades (enquanto se restringe a dezenas de níveis de cinza).

Introdução

- O processamento de imagens coloridas divide-se em duas grandes áreas:
 - ***full-color*** – Adquiridas com sensores *full-color*, como uma câmera colorida ou *scanner* colorido.
 - ***pseudocolor*** – Atribuição de cores a imagens monocromáticas.

Sumário

1 Introdução

2 Fundamentos da Cor

3 Modelos de Cor

- Modelo de Cor RGB
- Modelos de Cor CMY e CMYK
- Modelo de Cor HSI

Fundamentos da Cor

- A natureza física da cor pode ser expressa sobre uma base formal suportada por resultados teóricos e experimentais.
- Em 1666, Isaac Newton descobriu que quando um feixe de luz do sol passa através de um prisma, a luz que sai não é branca mas sim formada pela faixa do espectro contínuo que vai do violeta ao vermelho.

Fundamentos da Cor

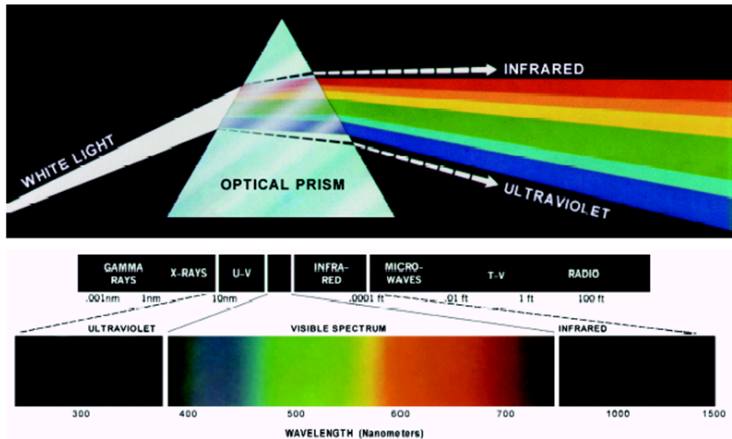


Figura: (Parte Superior) Espectro de cores visto pela passagem de luz branca através de um prisma; (Parte Inferior) Comprimentos de onda compreendendo a gama visível do espectro eletromagnético.

Fundamentos da Cor

- A cor que os seres humanos percebem no objeto são determinados pela natureza da luz refletida a partir do objeto.
- Um corpo que reflete luz relativamente balanceada em todo o espectro visível aparece como branca ao observador.
- Corpos que refletem luz num intervalo limitado do espectro visível exibe alguma cor.
- **Exemplo:** objetos verdes refletem luz com comprimentos de onda entre 500 nm e 570 nm e absorve a maioria da energia nos outros comprimentos de onda.

Fundamentos da Cor

■ Caracterização da Luz:

- **Luz acromática (sem cor)** – Possui apenas o atributo de intensidade (exemplo aparelho de TV monocromático). O termo níveis de cinza refere-se a uma medida escalar que varia de preto para o branco passando por tons intermediários de cinza.
- **Luz cromática** – Estende-se pelo espectro de energia eletromagnética no intervalo aproximado de 400 a 700 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Fundamentos da Cor

- Experimentos mostram que os 6 a 7 milhões de cones no olho humano podem ser divididos em três principais categorias de sensores:
 - **vermelho**
 - 65% de todos os cones são sensíveis à vermelho
 - **verde**
 - 33% de todos os cones são sensíveis à verde
 - **azul**
 - 2% de todos os cones são sensíveis à azul, mas são os mais sensíveis

Fundamentos da Cor

Devido as características de absorções de olho humano, cores são vistas como combinações das cores primárias (red (R), green (G) e blue (B)).

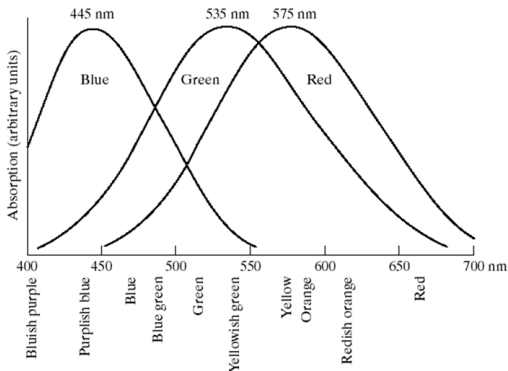


Figura: Curvas experimentais médias detalhando a absorção de luz pelos cones vermelhos, verdes e azuis no olho.

Fundamentos da Cor

- Para efeito de padronização a Comissão Internacional de Iluminação (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) definiu em 1931 comprimentos para as cores primárias: B = 435,8 nm; G = 546,1 nm e R = 700 nm.
- Estes padrões foram definidos antes das curvas experimentais e são aproximados aos obtidos experimentalmente.
- É importante notar que a partir das três componentes RGB fixadas não é possível gerar todo o espectro de cores.

Fundamentos da Cor

Formação das cores:

- **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 uma cor secundária com sua oposta primária, nas intensidades corretas, temos o branco.
- **Processo de Pigmentação** – Nesse processo uma cor primária de pigmentos é definida como uma que subtrai ou absorve uma cor primária de luz e reflete as outras duas. As cores primárias de pigmentos são: magenta, ciano e amarelo. Misturando as três cores primárias, ou uma cor secundária com sua oposta primária, nas intensidades corretas, temos o preto.
 - Exemplo: magenta – absorveu verde e refletiu azul e vermelho.

Fundamentos da Cor

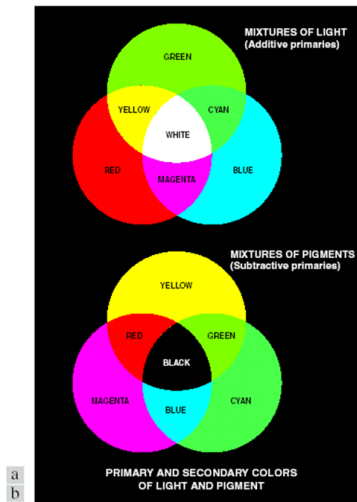


Figura: Cores primária e secundárias de luz e pigmentos: (a) Processo aditivo; (b) Processo de Pigmentação.

Fundamentos da Cor

- As características geralmente usadas para distinguir uma cor de outra são:
 - **Brilho** – Incorpora a noção acromática de intensidade.
 - **Tonalidade ou Matiz (*Hue*)** – É o comprimento da onda dominante.
 - **Saturação** – Corresponde à pureza ou a quantidade de luz branca misturada à matiz. O espectro de cores puras é completamente saturado. Cores como o rosa (vermelho e branco) são menos saturadas. O grau de saturação é inversamente proporcional à quantidade de luz branca misturada à matiz.
- Saturação e matiz juntos são chamados de cromaticidade. Portanto uma cor pode ser caracterizada por seu brilho e pela sua cromaticidade.

Fundamentos da Cor

- As quantidades de vermelho, azul e verde necessárias para formar uma determinada cor são chamados valores **tristimulus** e são denotados por X , Y e Z , respectivamente.
- A cor é então especificada pelos **coeficientes trichromatic**, definidos por:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (1)$$

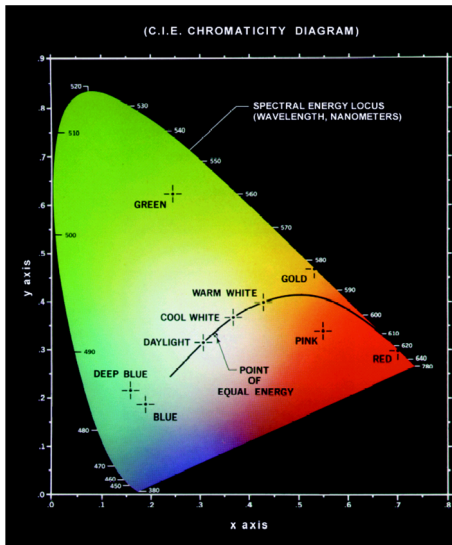
- E portanto:

$$x + y + z = 1 \quad (2)$$

Fundamentos da Cor

- Dada uma cor, uma maneira para especificar os valores *tristimulus* é o **diagrama de cromaticidade** que mostra a composição da cor como uma função de x (vermelho) e y (verde).
 - Para qualquer valor de x e y , o valor de z (azul) é obtido por $z = 1 - (x + y)$.
- **Exemplo** – O ponto GREEN marcado no diagrama do slide seguinte tem aproximadamente 62% de verde e 25% de vermelho, e portanto 13% de azul.

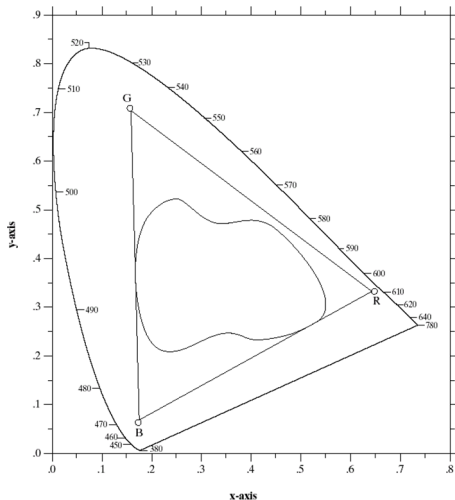
Fundamentos da Cor



■ Diagrama Cromático

- **Cores puras** (totalmente saturadas) estão ao longo da borda do diagrama.
- O **ponto de energia igual** corresponde as frações iguais das três cores primárias (luz branca).
- A medida que um ponto parte da borda do diagrama e aproxima-se do ponto de energia igual, mas luz branca é adicionada à cor e ela se torna menos saturada.

Fundamentos da Cor



- O diagrama de cromaticidade é útil para **mistura de cores** porque traçando uma linha reta entre duas cores do diagrama é possível definir todas as variações de cores que podem ser obtidas pela combinação aditivas destas duas cores. Procedimento que também pode ser estendido para três cores.
- **Triângulo** – Intervalo típico de cores (gamute de cor) produzidos por monitores RGB.
- **Região irregular** – O gamute de cor de dispositivos de impressão coloridos de alta-qualidade.

Fundamentos da Cor

■ Aplicações do diagrama de cromaticidade:

- Medir o comprimento de onda dominante e a pureza de qualquer cor obtida pela mistura das cores primárias x , y e z .
- Definir gamutes de cores para diferentes dispositivos.
- Comparar gamutes de cor entre vários dispositivos de exibição (monitor, filme, impressora).
- O gamute da impressora é menor que do gamute do vídeo. Se quisermos uma reprodução exata da imagem de vídeo na impressora, então o gamute de cores do vídeo deve ser reduzido.
- Os fabricantes de monitor costumam informar as coordenadas de cromaticidade do monitor.
 - **Exemplo:** red $\rightarrow x = 0.62$ $y = 0.33$; green $\rightarrow x = 0.21$ $y = 0.685$; blue $\rightarrow x = 0.15$ $y = 0.063$

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Fundamentos da Cor
- 3 Modelos de Cor
 - Modelo de Cor RGB
 - Modelos de Cor CMY e CMYK
 - Modelo de Cor HSI

Modelos de Cor

- O objetivo do **modelo de cor** é facilitar a especificação de cores em algum padrão. É uma especificação de um sistema de coordenadas no qual cada cor é representada por um único ponto.
- Modelos de cores mais comuns:
 - **RGB** (*red, green, blue*) – Monitores coloridos e câmeras de vídeo coloridas;
 - **CMY** (*cyan, magenta, yellow*) e **CMYK** (*cyan, magenta, yellow, black*) – Impressão colorida;
 - **HSI** (*hue, saturation, intensity*) – Corresponde fortemente com o modo como humanos descrevem e interpretam cores.

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Fundamentos da Cor
- 3 Modelos de Cor
 - Modelo de Cor RGB
 - Modelos de Cor CMY e CMYK
 - Modelo de Cor HSI

Modelos de Cor RGB

- No **modelo RGB**, cada cor aparece em suas componentes espectrais primárias *red* (vermelho), *green* (verde) e *blue* (azul). Este modelo é baseado no sistema de coordenadas Cartesianas 3D.
- O sub-espço de interesse é representado por um **cubo** (próximo slide).
 - Três cantos do cubo representam as cores primárias RGB: *red* $(1, 0, 0)$, *green* $(0, 1, 0)$ e *blue* $(0, 0, 1)$;
 - As cores secundárias são outros três cantos no cubo: *cyan* $(0, 1, 1)$, *magenta* $(1, 0, 1)$ e *yellow* $(1, 1, 0)$;
 - *Black* (preto) está na origem $(0, 0, 0)$;
 - *White* (branco) está no canto mais distante da origem $(1, 1, 1)$.

Modelos de Cor RGB

- As cores diferentes nesse modelo são pontos na superfície ou dentro do cubo, e são definidas como vetores se estendendo a partir da origem.
- O cubo é normalizado tal que os valores R , G e B estejam no intervalo $[0, 1]$.

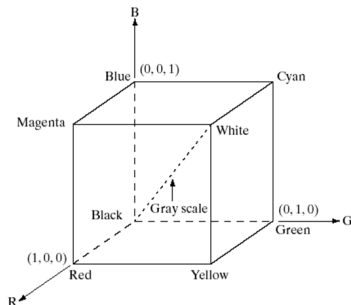


Figura: Esquemático do cubo de cor RGB. Pontos ao longo da diagonal principal representam níveis de cinza, do preto na origem $(0, 0, 0)$ ao branco em $(1, 1, 1)$.

Modelos de Cor RGB

- Imagem representadas do modelo de cor RGB consistem de três imagens componentes, um para cada cor primária.
- O número de bits usado para representar cada pixel no espaço RGB é chamado *pixel depth*.
- **Exemplo** – Imagem RGB em que cada imagem componente é uma imagem de 8-bits, o *pixel depth* será de 24-bits (8×3).
- Número total de cores em uma imagem RGB 24-bits: $(2^8)^3 = 16.777.216$

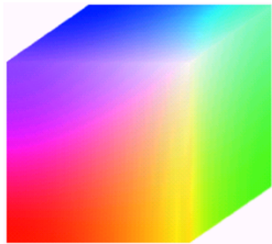


Figura: Cubo de Cor RGB de 24-bits.

Modelos de Cor RGB



Vermelho (R)



Verde (G)



Azul (B)



24 bits (8 + 8 + 8)

Figura: Imagem RGB de 24 bits e suas imagens componentes.

Modelos de Cor RGB

- Em processamento digital de imagens o melhoramento (ou realce) de imagens coloridas no modelo RGB pode não apresentar resultados satisfatórios quando os três planos são processados independentemente.
- Pois as intensidades em cada plano são alteradas diferentemente resultando numa alteração das intensidades relativas entre eles.
- Outros modelos de cor são mais adequados para o propósito de processamento.

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Fundamentos da Cor
- 3 Modelos de Cor**
 - Modelo de Cor RGB
 - Modelos de Cor CMY e CMYK**
 - Modelo de Cor HSI

Modelos de Cor CMY e CMYK

- *Cyan, magenta e yellow* são cores secundárias de luz, ou, alternativamente, cores primárias de pigmentos.
- Maioria dos dispositivos de impressão coloridos, requerem imagens de entrada no **modelo CMY** ou convertem internamente do **modelo RGB para o modelo CMY**. Essa conversão é obtida por:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

onde assume-se que todos os valores estão no intervalo $[0, 1]$

Modelos de Cor CMY e CMYK

- Quantidades iguais de cores primárias de pigmentos (*cyan*, *magenta* e *yellow*) deveriam produzir preto. Na prática, combinar essas três cores em uma impressão colorida produz um preto turvo.
- Para produzir o preto verdadeiro, uma quarta cor de, *black* (preto), é adicionada, dando origem ao **modelo CMYK**.

Sumário

1 Introdução

2 Fundamentos da Cor

3 Modelos de Cor

- Modelo de Cor RGB
- Modelos de Cor CMY e CMYK
- Modelo de Cor HSI

Modelo de Cor HSI

- **Modelo de cor HSI** (*hue, saturation, intensity*) corresponde com o modo como humanos descrevem e interpretam cores.
- Esse modelo também separa a cor em cromaticidade (*hue e saturation*) e intensidade (*intensity*).
- Também oferece vantagens para métodos de processamento de imagens coloridas.

Modelo de Cor HSI

- É possível determinar a **intensidade** de uma cor RGB. Para isso, imagine o cubo de cor RGB posicionado de pé no vértice preto $(0, 0, 0)$, com o vértice branco $(1, 1, 1)$ acima diretamente, como na figura (a).
- A intensidade (nível de cinza) está ao longo da linha (agora na vertical) juntando os vértices preto e branco.

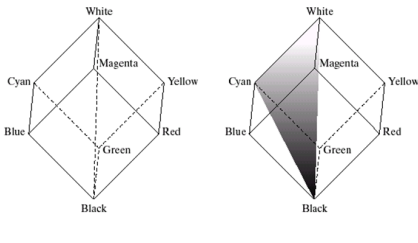


Figura: Relacionamento conceitual entre os modelos de cor RGB e HSI.

Modelo de Cor HSI

- Para determinar a **intensidade** de qualquer cor RGB basta passar um plano perpendicular ao eixo de intensidade contendo o ponto da cor de interesse.
- A intensidade varia no intervalo $[0, 1]$ e a **saturação** da cor aumenta à medida que aumenta a distância do eixo de intensidade.
 - Saturação no eixo de intensidade é zero, uma vez que todos os pontos neste eixo são cinzas.

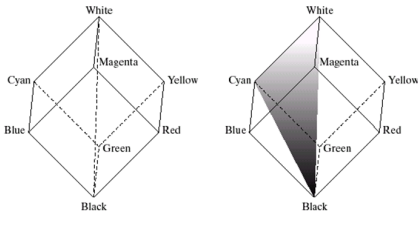


Figura: Relacionamento conceitual entre os modelos de cor RGB e HSI.

Modelo de Cor HSI

- Considerando um plano definido por três cores (*black*, *white*, *cyan*) no cubo de cor RGB, podemos determinar o **hue** (matiz).
- Todos os pontos contidos no segmento de plano, definido pelo eixo de intensidade e pontos na superfície do cubo, têm o mesmo *hue* (*cyan* no caso).
- Rotacionando esse segmento de plano sobre o eixo vertical de intensidade, teríamos diferentes *hues* (matizes).

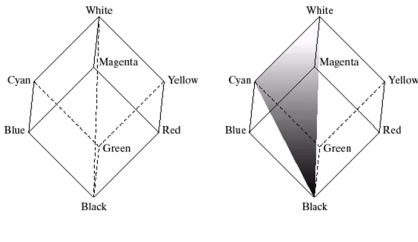


Figura: Relacionamento conceitual entre os modelos de cor RGB e HSI.

Modelo de Cor HSI

- O espaço HSI consiste de um eixo de intensidade vertical e um plano perpendicular com este eixo.
- À medida que o plano move para cima e para baixo em relação ao eixo de intensidade, a intersecção do plano com as faces do cubo tem a forma de triângulo ou hexágono.

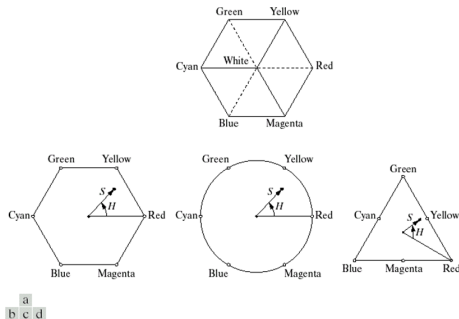


Figura: Hue e saturação do modelo de cor HSI.

Modelo de Cor HSI

- Neste plano as cores primárias são separadas entre si por um ângulo de 120° e das cores secundárias por 60°
- **Componentes HSI de um ponto de cor:**
 - H (*hue*) é determinado pelo ângulo a partir um ponto de referência (em geral eixo vermelho);
 - S (saturação) é determinado pelo tamanho do vetor;
 - I (intensidade) pela posição do plano em relação ao eixo de intensidade.

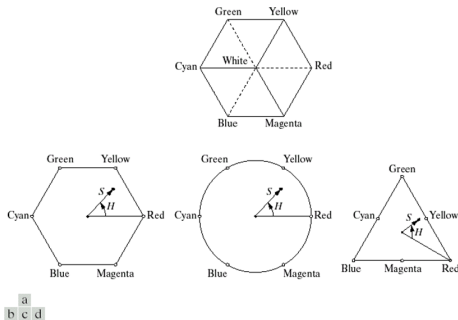
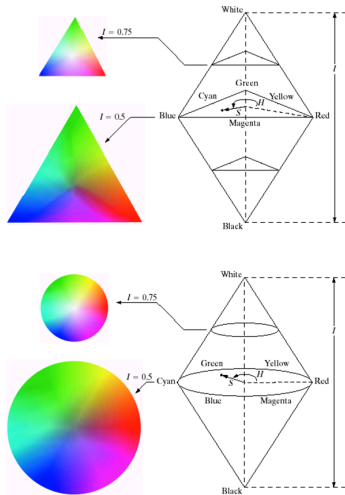


Figura: *Hue* e saturação do modelo de cor HSI.

Modelo de Cor HSI



- Os planos (circular e triangular) são perpendiculares ao eixo de intensidade vertical.
- Dependendo do deslocamento do plano com relação ao eixo de intensidade, apenas o brilho (intensidade) é alterado, mantendo a cromaticidade.

Figura: O modelo de cor HSI baseado em planos triangular (topo) e circular (embaixo).

Conversão de cores do modelo RGB para HSI

- Dada uma imagem em RGB, a **hue** H de cada pixel RGB é obtida por:

$$H = \begin{cases} \theta & \text{se } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{para } B > G \end{cases} \quad (4)$$

com

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} \quad (5)$$

- A **saturação** S é dada por:

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \quad (6)$$

- Já a **intensidade** I é dada por:

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (7)$$

Conversão de cores do modelo RGB para HSI

Nas equações do slide anterior:

- É assumido que os valores RGB estejam no intervalo $[0, 1]$, e que θ é medido com relação ao eixo vermelho (*red*) no espaço HSI.
- A componente hue H pode ser normalizada para o intervalo $[0, 1]$, dividindo por 360° todos os valores resultantes da Equação 4.
- As outras duas componentes HSI (saturação S e intensidade I), obtidas pelas Equações 6 e 7, já estão no intervalo $[0, 1]$.

Conversão de cores do modelo HSI para RGB

- Dados os valores de HSI no intervalo $[0,1]$, é possível obter os valores RGB no mesmo intervalo. As equações para tal dependem no valores do *hue* H .
- Existem três setores de interesse, que correspondem aos intervalos de separação de 120° das cores primárias.
- A conversão começa multiplicando H por 360° para retornar ao intervalo original $[0^\circ, 360^\circ]$.
- **Setor RG** ($0^\circ \leq H < 120^\circ$)

$$B = I(1 - S) \quad (8)$$

$$R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (9)$$

$$G = 3I - (R + B) \quad (10)$$

Conversão de cores do modelo HSI para RGB

- **Setor GB** ($120^\circ \leq H < 240^\circ$) – Primeiro, subtraia 120° do *hue* H ($H = H - 120^\circ$):

$$R = I(1 - S) \quad (11)$$

$$G = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (12)$$

$$B = 3I - (R + G) \quad (13)$$

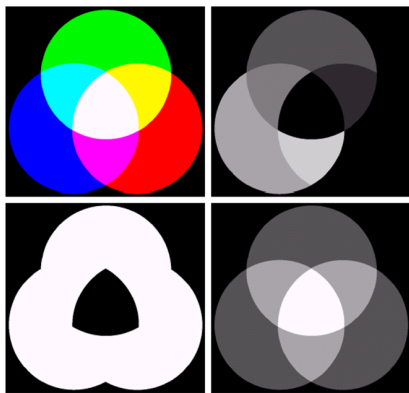
- **Setor BR** ($240^\circ \leq H \leq 360^\circ$) – Primeiro, subtraia 240° do *hue* H ($H = H - 240^\circ$):

$$G = I(1 - S) \quad (14)$$

$$B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (15)$$

$$R = 3I - (G + B) \quad (16)$$

Manipulação dos componentes HSI em uma imagem

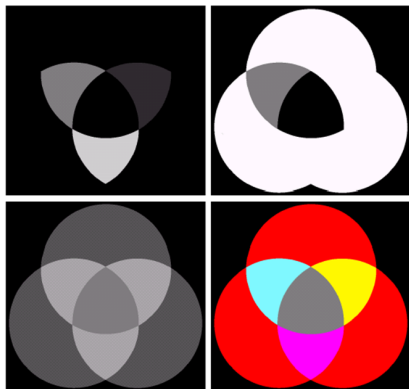


a b
c d

Figura: (a) Imagem RGB e os componentes correspondentes em HSI: (b) hue, (c) saturação, e (d) intensidade.

- a Imagem RGB composta das cores primárias e secundárias.
- b A componente **hue** corresponde à ângulos no espaço HSI; e o vermelho, corresponde à 0° . Portanto, a região vermelha em (a) é mapeado para uma região preta na imagem *hue*.
- c Os níveis de cinza correspondem à **saturação**.
- d Os níveis de cinza correspondem à **intensidade** média.

Manipulação dos componentes HSI em uma imagem



a b
c d

Figura: (a)-(c) Imagens dos componentes HSI modificados. (d) Imagem resultante RGB.

- a Para mudar a cor de alguma região na imagem RGB, muda-se o valor da região correspondente na imagem **hue**. Nesse caso, mudou-se para 0 os *pixels* correspondentes às regiões azul e verde na imagem *hue*.
- b Reduziu-se pela metade a **saturação** na região correspondente de cor *cyan* na imagem da saturação.
- c Reduziu-se pela metade a **intensidade** da região central branca na imagem da intensidade.
- d Converteu-se os componentes HSI modificados da imagem para o modelo de cor RGB.

- Gonzales, R. C. et al. **Digital Image Processing**. Prentice Hall, Terceira Edição, 2008, ISBN 9780131687288.
 - Capítulo 6 — Color Image Processing

