

Processamento e Análise de Imagens

Fundamentos de Cores

Felipe Augusto Lima Reis



PUC Minas

Fundamentos

Motivação

- O uso de cores em PDI é motivada por dois fatores principais:
 - Cor é um descritor poderoso, que permite a identificação e extração de objetos de uma cena;
 - Humanos podem discernir milhares de cores, em oposição a apenas poucos padrões de tons de cinza;
- O processamento de cores pode ser dividido em duas áreas principais:
 - **Full-color**: sensores permitem a captura de vários canais de cores, produzindo cores semelhantes às aquelas que vemos no dia-a-dia;
 - **Pseudo-color**: o sistema atribui uma cor específica a um tom de cinza.

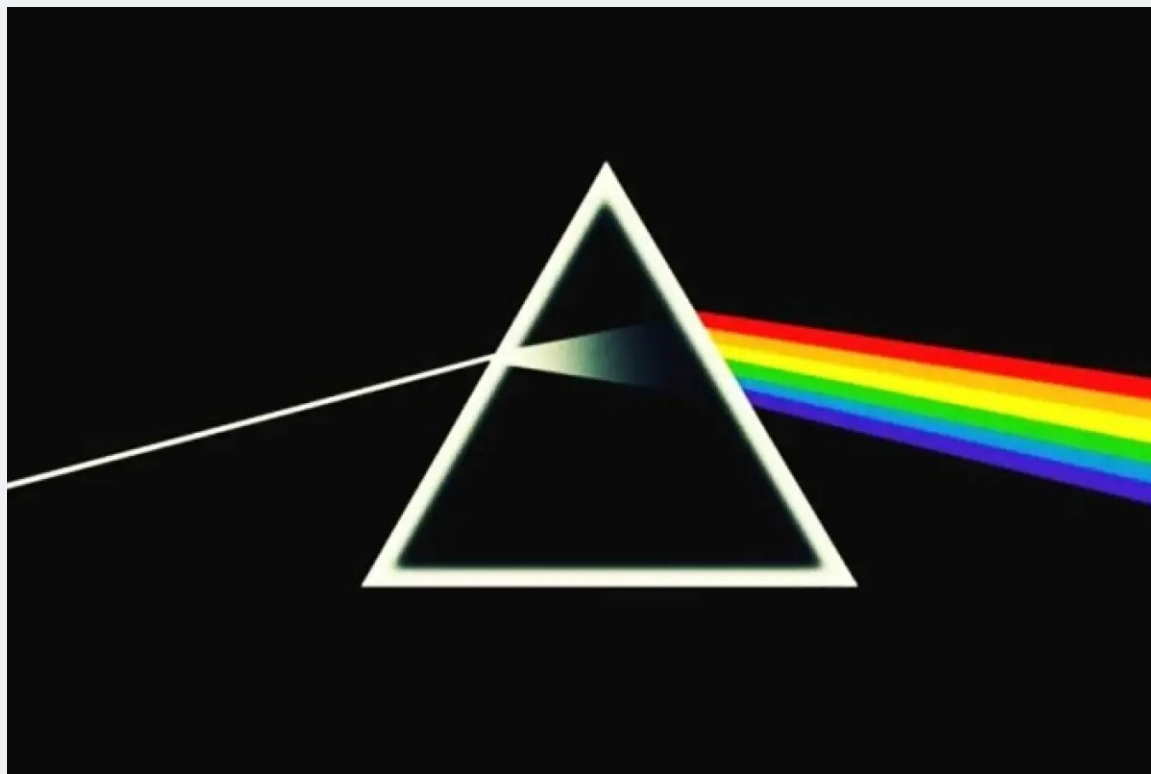
Luzes cromáticas e acromáticas

- As cores são determinadas pela natureza da luz refletida nos objetos
 - Um corpo que reflete a luz em todas as faixas de ondas, parece branco;
 - Um corpo que reflete um conjunto finito visível do espectro de cores, exibe uma cor específica;
- Se uma luz é **acromática** (sem cor), seu único atributo é a intensidade
 - Luzes acromáticas produzem informações em escala de cinza, que variam do preto ao branco;
- **Luzes cromáticas** são aquelas que possuem espectro entre 400nm e 700nm.

Luzes cromáticas e acromáticas

- Em 1666, Sir Isaac Newton descobriu que um feixe de luz que passa por um prisma, pode ser decomposto em um espectro de cores visíveis, que variam de violeta a vermelho
- Essas cores são percebidas pelos seres humanos e pelos animais.

Fonte: Pink Floyd (1973).

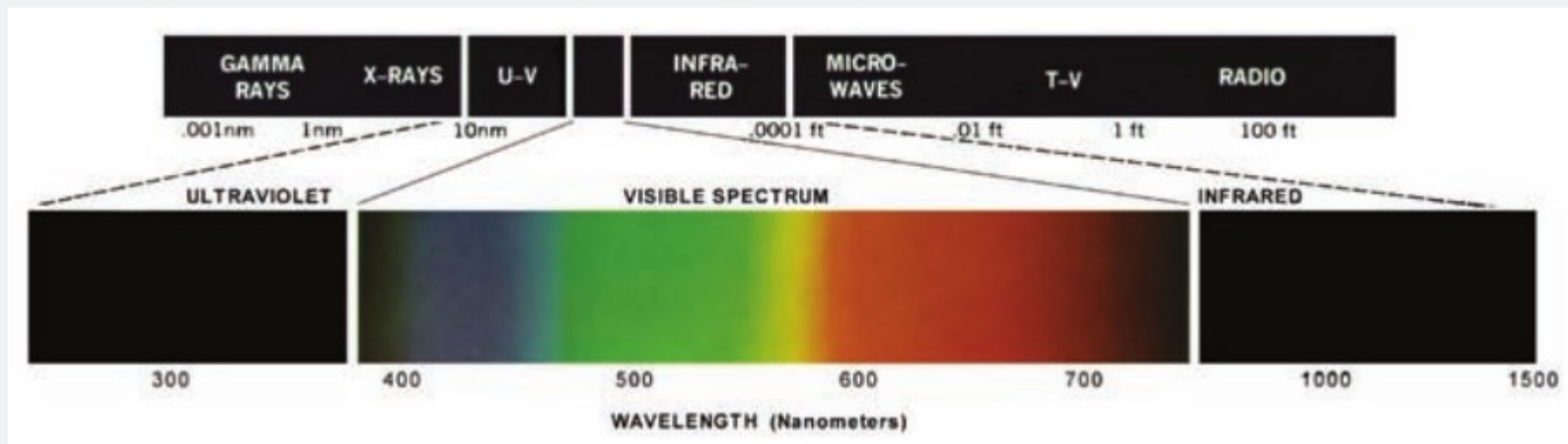


Radiância, Luminância e Brilho

- Os seguintes fatores são utilizados para descrever uma fonte de luz cromática:
 - **Radiância**: quantidade de energia que flui da fonte de luz (medida em Watts);
 - **Luminância**: quantidade de energia que um observador percebe (medida em Lúmens);
 - Raios infra-vermelhos podem possuir energia significativa (alta radiância), porém não podem ser vistos pelo olho humano, tendo baixa luminância.
 - **Brilho**: descritor subjetivo, que não pode ser medido e que fornece um noção acromática da intensidade da luz, descrevendo um sensação sobre a cor.

Espectro de luz visível

- O olho humano consegue distinguir apenas uma pequena faixa luminosa no espectro de luz, denominada espectro visível.



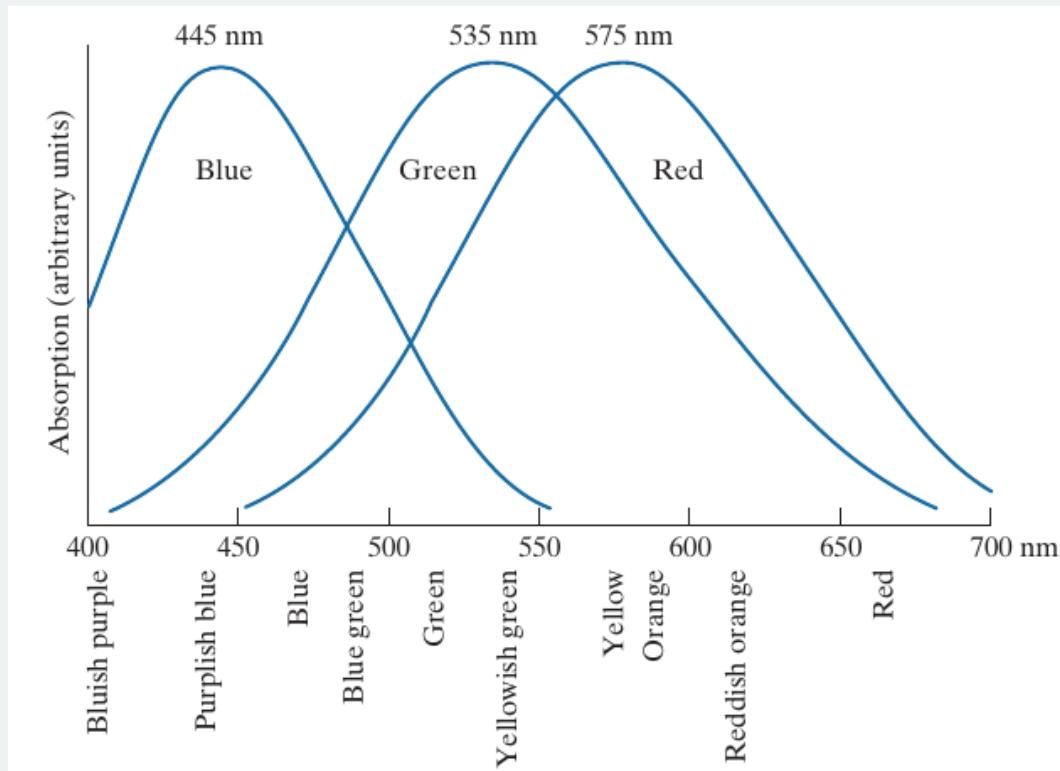
Espectro de luz visível

- Dentro do espectro de luz visível, os seres humanos conseguem identificar cores com as seguintes estruturas do olho:
 - Cones: percebem a noção de cor;
 - Bastonetes: percebem a noção de intensidade;
- Nos cones, a luz é dividida em 3 categorias principais, com a seguinte distribuição:
 - Sensibilidade a luz vermelha: 65% de todos os cones;
 - Sensibilidade a luz verde: 33% de todos os cones;
 - Sensibilidade a luz azul: 2% de todos os cones.

Espectro de luz visível

- A absorção de luz pelos cones vermelhos, verdes e azuis podem ser vistos pela curva ao lado;
- Por conta desta característica, as cores **vermelho (red)**, **verde (green)** e **azul (blue)** são definidas como cores primárias
 - Cores primárias podem ser misturadas, produzindo cores secundárias como o magenta, ciano e amarelo.

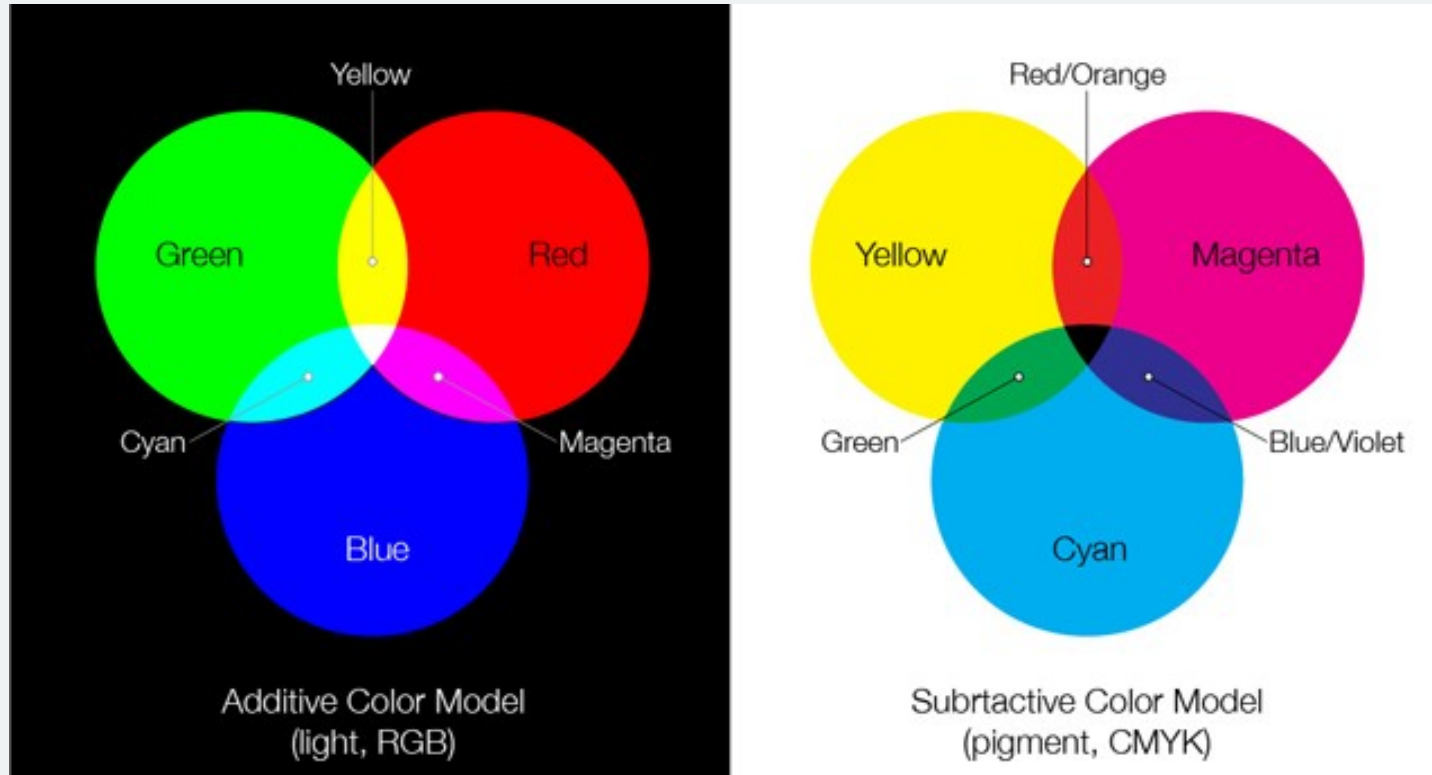
Fonte: Gonzalez & Woods (2018).



Pigmentos

- Além da composição de cores visíveis, devemos considerar a composição de pigmentos
 - Nela, uma cor primária é definida como aquela que subtrai (ou absorve) uma cor primária de luz e reflete (ou transmite) as outras duas;
 - Para pigmentos, as cores primárias são **magenta**, **ciano** e **amarelo**, enquanto as cores secundárias são vermelho, verde e azul.
- Pigmentos são utilizados para impressão em documentos, jornais, revistas, etc.
 - A composição destes pigmentos dá origem à informação impressa.

Composição de luzes e pigmentos



Fonte: Leigh Cotnoir's learn site (2023).

Características das Cores

- As características utilizadas para distinguir cores de outras são:
 - **Brilho**: noção acromática de intensidade;
 - **Matiz (*hue*)**: comprimento de onda dominante da luz percebida pelo observador;
 - **Saturação**: pureza da cor, ou seja, a quantidade de luz branca misturada com uma determinada matiz
 - Indica quanto uma cor se aproxima de uma cor pura no espectro visível;
 - As cores puras do espectro são completamente saturadas;
 - Ao aumentar a saturação, as cores se tornam mais vibrantes;
 - Cores como rosa (vermelho e branco) e lavanda (violeta e branco) são menos saturadas – aproximam-se mais da cor branca.

Características das Cores

- **Cromaticidade** corresponde a composição de matiz + saturação
 - As cores podem ser caracterizadas, desse modo, pelo brilho e cromaticidade.
- A quantidade de vermelho, verde e azul necessários para produção de uma determinada cor são denominados de valores tristimulos e denotados por X, Y e Z, respectivamente
 - A cor, então, é composta por seus coeficiente tricromáticos.

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

$$x + y + z = 1$$

Diagrama Cromaticidade CIE

- O diagrama de cromaticidade CIE mostra a composição de cores como uma função de x (vermelho) e y (verde);
- O valor correspondente de z (azul) é obtido da equação $z = 1 - (x+y)$;
- A posição de vários espectros de cores são indicadas no diagrama;
- Pontos que não estejam nas bordas representam uma mistura do espectro puro de cores – pontos na borda são completamente saturados.

Fonte: Wikipedia (2022).

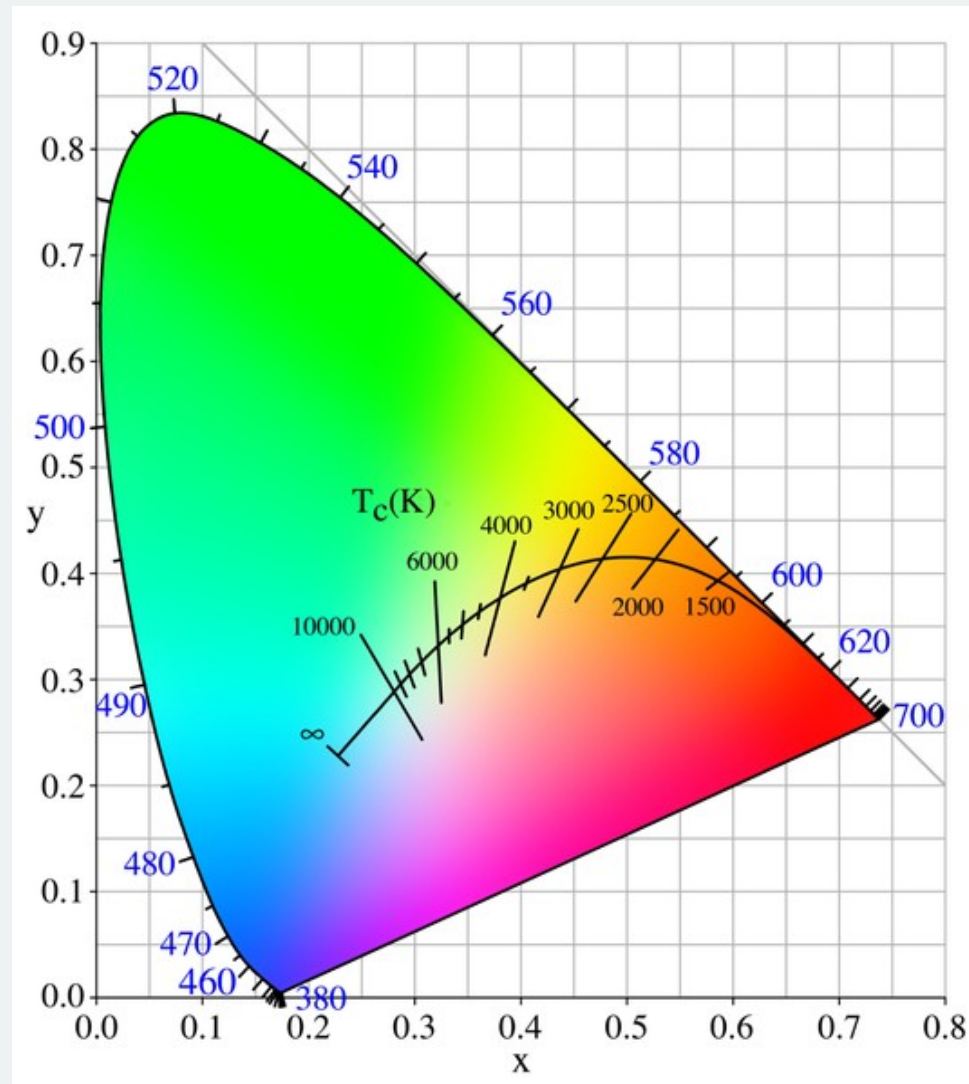
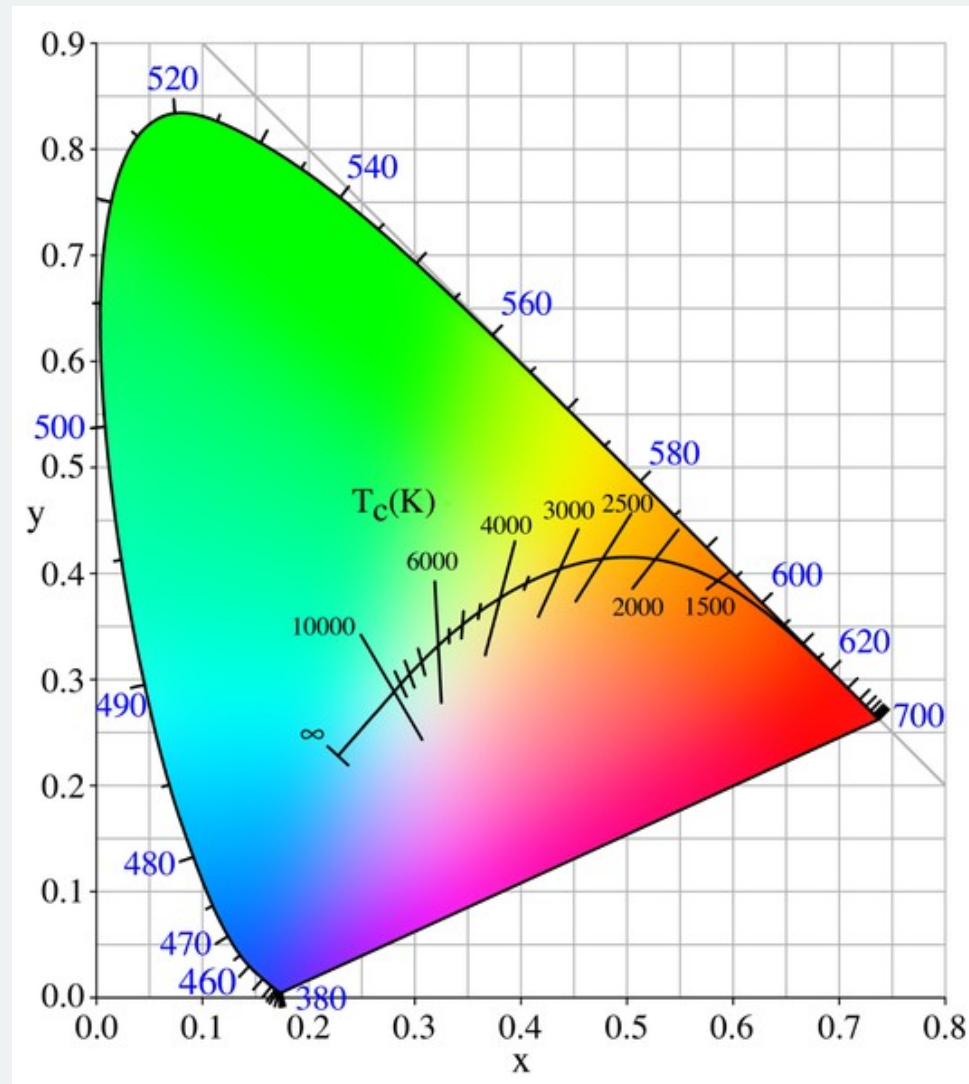


Diagrama Cromaticidade CIE

- As curvas intermediárias representam linhas de correlação entre temperaturas de cores
 - Temperatura de cor é a aparência de uma cor quando emitida por uma fonte de luz (medida em Kelvin – K).
 - Podem ser divididas em cores quentes, frias e neutras.

Fonte: Wikipedia (2022).



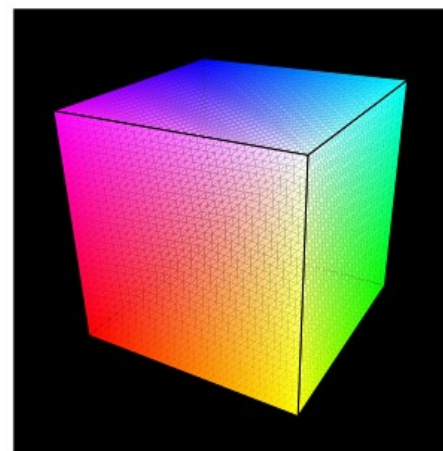
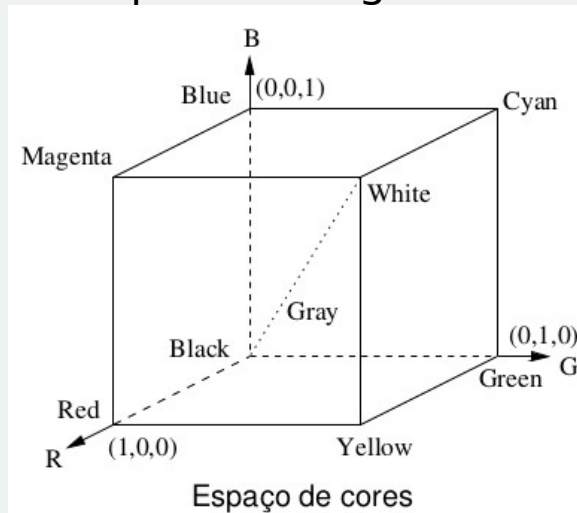
Modelos de Cores

Modelos de cores

- Os modelos de cor visam facilitar a especificação de cores em algum padrão, utilizando um sistemas de coordenadas.
 - Cada cor é definida por um ponto neste sistema;
- Os modelos mais utilizados na prática são RGB, CMY, CMYK, HSL e HSV;
 - Existem outros modelos de cores menos utilizados como HSI, LAB e CieLAB;
 - Cada espaço de cores possui suas vantagens para processamento de imagens digitais, sendo mais adequadas para uma aplicação.

Modelo de cor RGB

- No **modelo RGB**, cada cor aparece como componentes de vermelho, verde e azul;
 - As cores primárias e secundárias aparecem nos cantos do cubo RGB;
 - A cor preta corresponde à origem e a branca é o ponto mais longe da origem.



Modelo de cor RGB

- As diferentes cores são pontos dentro do cubo;
 - Os diferentes valores de cores estão presentes no intervalo $[0, 1]$;
- O número de cores utilizado para representação de cada pixel no espaço RGB é denominado **profundidade de pixels** (*pixel depth*)
 - 1 bit por pixel: monocromia;
 - 2 bits por pixel: CCA (primeiro padrão de vídeo colorido);
 - 4 bits por pixel: EGA (segundo padrão de vídeo colorido);
 - 8 bits por pixel: padrão monocromático de 256 cores;
 - 24 bits por pixel: truecolor, utiliza 8 bits por canal de cor.

Modelo de cor RGB

- Cada pixel, normalmente, é representado utilizando um valor de 8 bits
 - Considerando que os pixels possuem 3 componentes de cores, a cor do pixel é definida como [R, G, B] com profundidade de 24 bits;
 - O termo full-color é utilizado para denotar imagens de 24 bits RGB;
 - O número total de cores é de $2^{24} = 16.777.216$;
 - A quantidade de cores é suficiente para percepção do olho humano.
 - Ex.: preto = [0, 0, 0], vermelho = [255, 0, 0], branco = [255, 255, 255]

Modelos CMY e CMYK

- **Ciano (cyan)**, **magenta (magenta)** e **amarelo (yellow)** são cores secundárias do modelo RGB e forma o modelo de cores **CMY**;
 - Conforme indicado, essas cores são importantes para produção de pigmentos;
- Os dispositivos que utilizam depósitos de cores, como impressoras, requerem utilização do modelo CMY;
 - Por compatibilidade, o modelo RGB é convertido para o modelo CMY internamente, utilizando a operação indicada abaixo (considerando as cores normalizadas no intervalo [0, 1]).

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

Modelos CMY e CMYK

- De acordo com a equação anterior, quantidade semelhante dos pigmentos ciano, magenta e amarelo, produziriam a cor preta
 - Na prática, entretanto, a combinação de cores produz uma tonalidade de marrom escuro, que difere visualmente do preto;
 - Para produção da cor preta, é utilizada um quarto componente de cor, **black**, denotado por **K**;
 - Esse quarto componente para o modelo CMYK

$$K = \min(C, M, Y)$$

$$C = C - K$$

$$M = M - K$$

$$Y = Y - K$$

Modelos HSL e HSV

- Os modelos RGB e CMY são úteis para implementação em hardware, porém não são práticos para interpretação humana
 - Ao tentar alterar ligeiramente a tonalidade de uma cor, temos que alterar todos os canais de cores simultaneamente;
- Quando humanos percebem um cor, descrevem-na em termos de matiz (*hue*), saturação e brilho
 - **Matiz (*hue*)**: comprimento de onda dominante da luz percebida pelo observador.
 - **Saturação**: pureza da cor, ou seja, a quantidade de luz branca misturada com uma determinada matiz.
 - **Brilho**: noção acromática de intensidade;

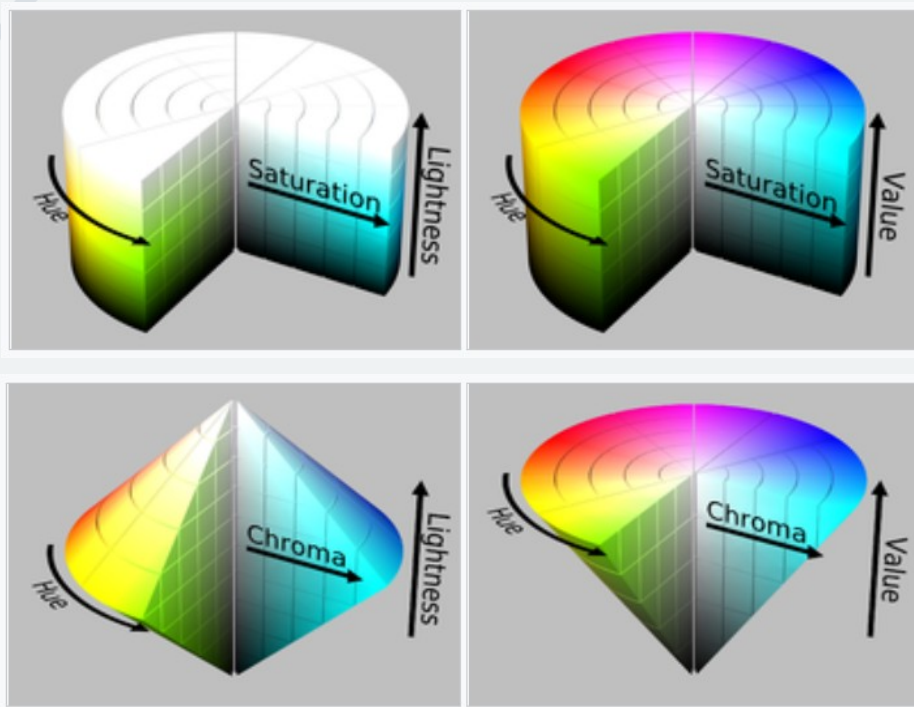
Modelos HSL e HSV

- No **modelo HSV**, as cores são dadas em função de hue (matiz), saturação e valor (de intensidade – brilho)
 - O modelo HSI utiliza a letra I para intensidade da cor;
 - O modelo HSL utiliza a letra L para luminosidade da cor;
 - Os modelos HSI, HSV e HSL possuem diferenças, porém seguem princípios semelhantes;
- O modelo HSV é mais intuitivo para humanos e para o desenvolvimento de algoritmos.

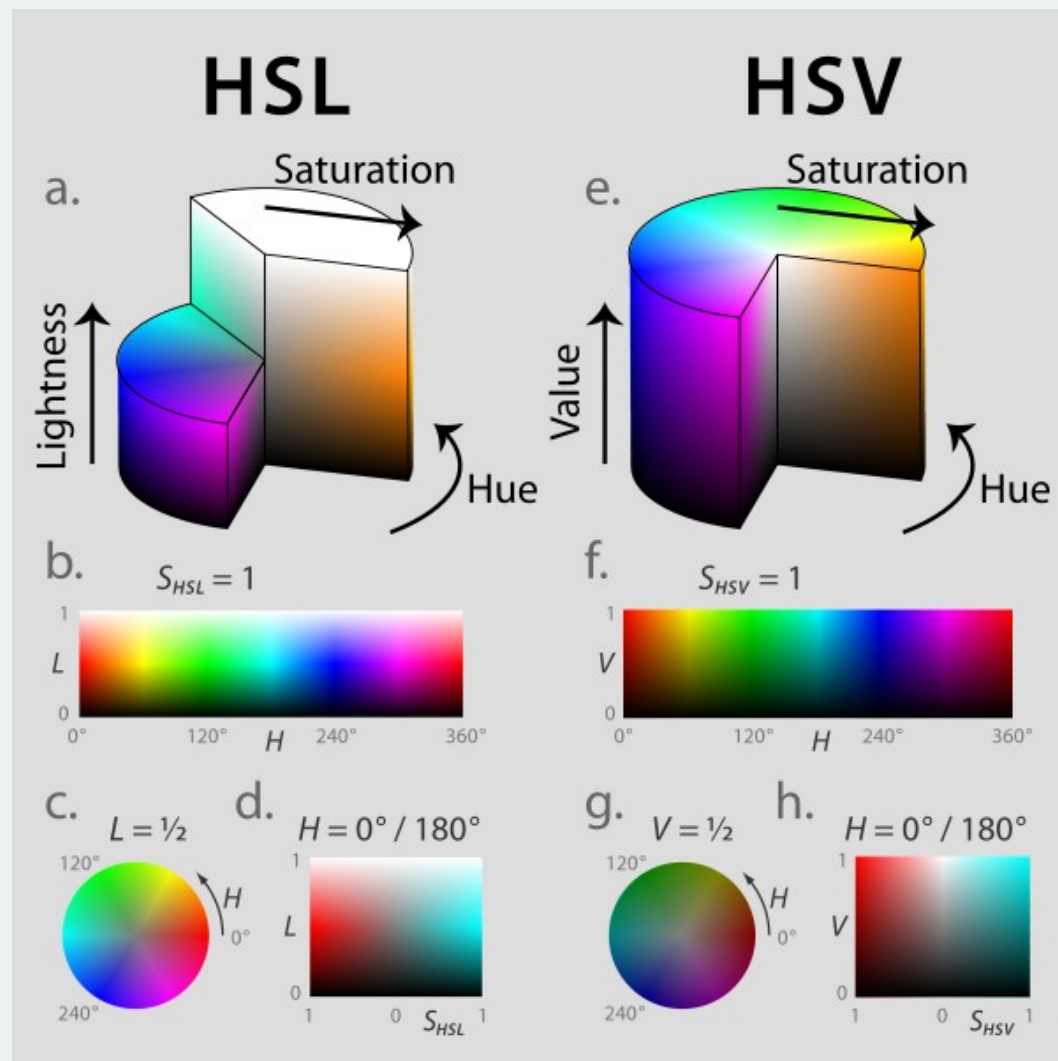
Modelos HSL e HSV

- O HSL modela como diferentes tintas se misturam para criar cores no mundo real
 - São analisadas as quantidades de tinta preta ou branca na mistura;
 - Cores totalmente saturadas são colocadas ao redor de um círculo com um valor de luminosidade de $\frac{1}{2}$, onde a luminosidade varia de 0 (preto) ou 1 (branco);
- O HSV modela como as cores aparecem sob a luz.
 - A diferença entre HSL e HSV é que uma cor com brilho máximo em HSL é branco puro, mas uma cor com valor/brilho máximo em HSV é análoga a brilhar uma luz branca em um objeto colorido
 - Ex.: Brilhar uma luz branca em um objeto vermelho faz com que o objeto ainda pareça vermelho, apenas mais brilhante e mais intenso.

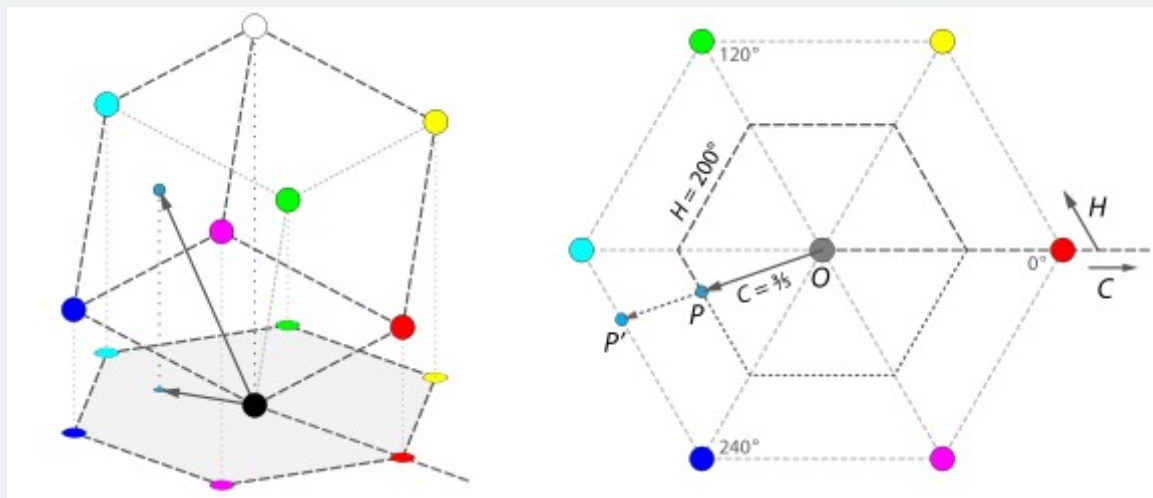
Modelos HSL e HSV



Fonte: Wikipedia (2023).

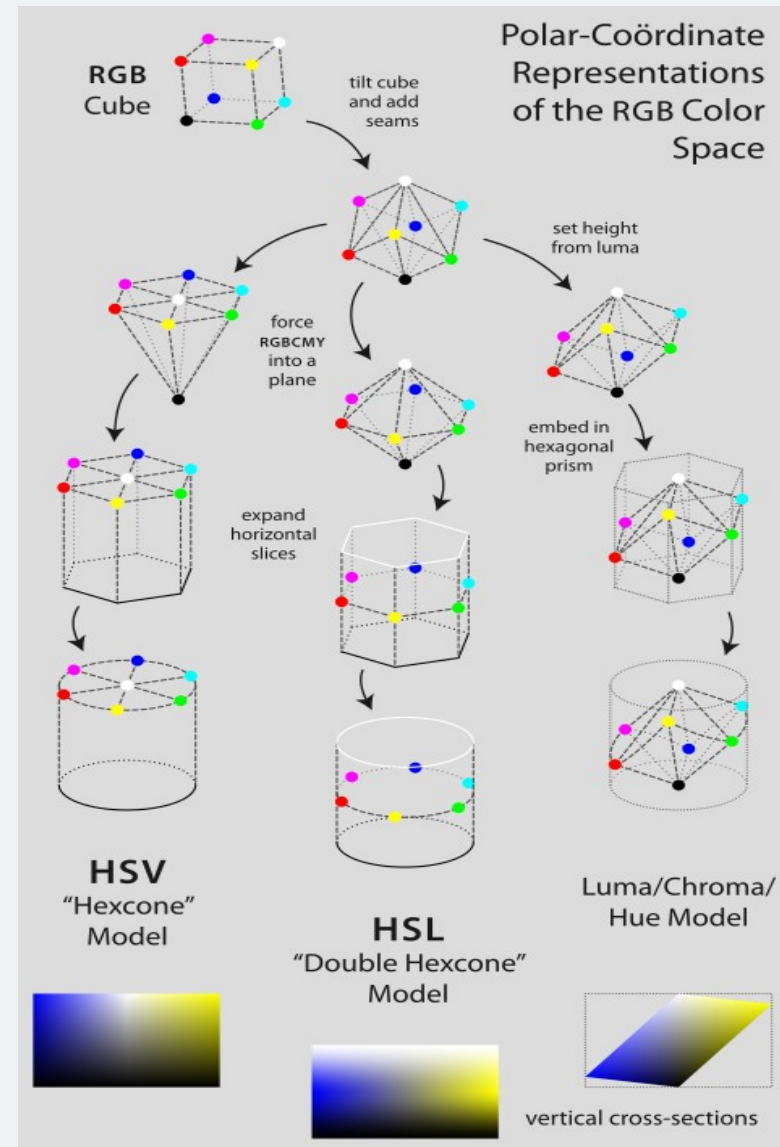


Modelos HSL e HSV



Fonte: Adaptado de Wikipedia (2023).

Fonte: Wikipedia (2023).



Conversão RGB → HSV

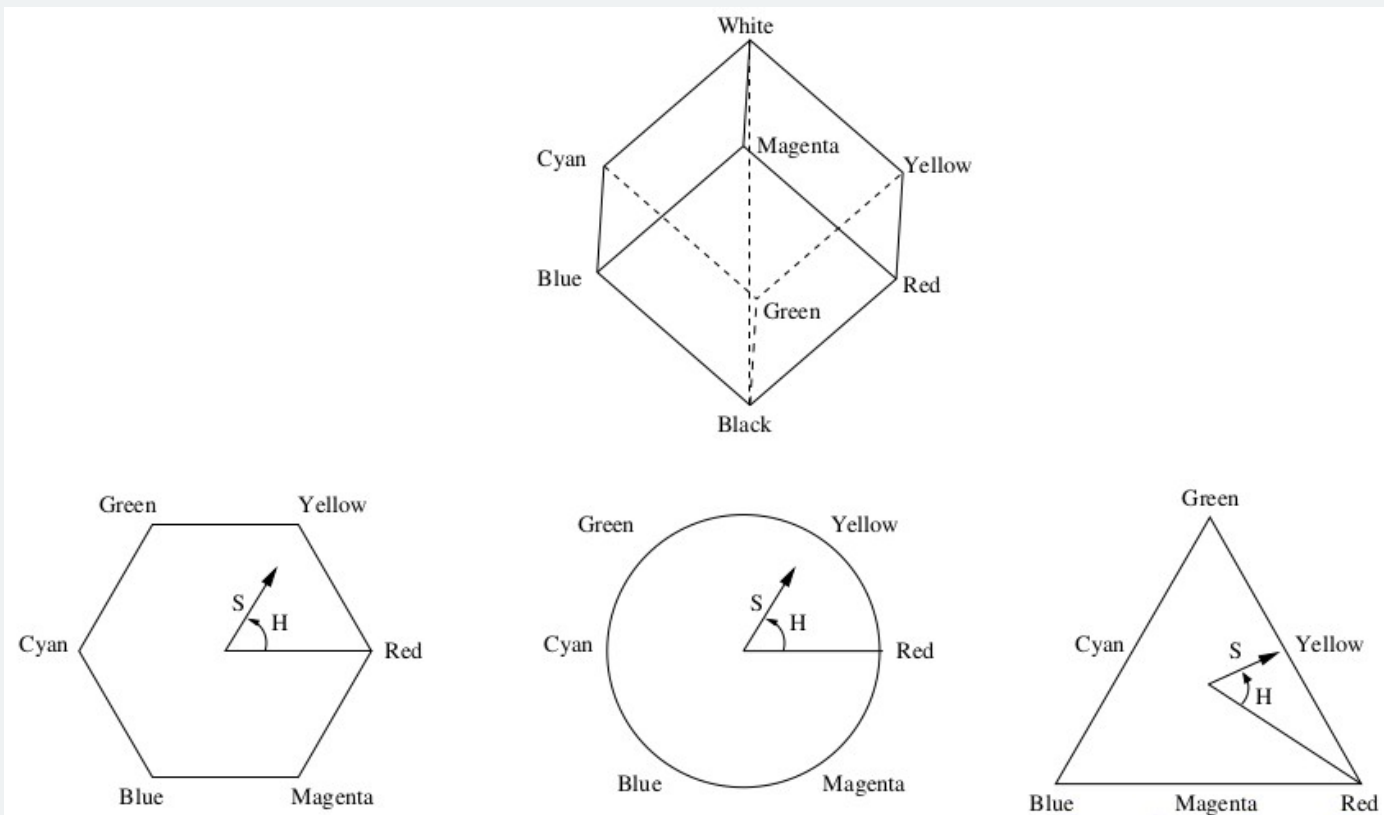
- Considerando que os valores de RGB são normalizados no intervalo [0, 1], a conversão é dada por:

$$\begin{aligned} V &= \max(R, G, B) \\ S &= \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} & \text{se } V \neq 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \\ H &= \begin{cases} \frac{60(G-B)}{V - \min(R, G, B)} & \text{se } V = R \\ 120 + \frac{60(B-R)}{V - \min(R, G, B)} & \text{se } V = G \\ 240 + \frac{60(R-G)}{V - \min(R, G, B)} & \text{se } V = B \end{cases} \end{aligned}$$

Se $H < 0$, $H = H + 360$.

Conversão RGB \rightarrow HSV

- A figura ao lado contém a relação conceitual entre RGB e HSV.



Fonte: Brito Jr. (2018).

Conversão HSV → RGB

- Assumindo valores para $H \in [0^\circ, 360^\circ]$ e $S, V \in [0, 1]$, a conversão HSV → RGB pode ser dada pelas seguintes equações:

Para $0^\circ \leq H < 120^\circ$

$$\begin{aligned} B &= I(1 - S) \\ R &= I \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ G &= 1 - (R + B) \end{aligned}$$

Para $120^\circ \leq H < 240^\circ$

$$\begin{aligned} H &= H - 120^\circ \\ R &= I(1 - S) \\ G &= I \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ B &= 1 - (R + G) \end{aligned}$$

Para $240^\circ \leq H < 360^\circ$

$$\begin{aligned} H &= H - 240^\circ \\ G &= I(1 - S) \\ B &= I \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ R &= 1 - (G + B) \end{aligned}$$

Decomposição de cores RGB



Fonte: Pat David (2012).

Decomposição de cores CMY



Fonte: Pat David (2012).

Decomposição de cores HSV



Fonte: Pat David (2012).

Decomposição de cores HSL



Fonte: Pat David (2012).

Processamento de Pseudocores

Processamento de Pseudocores

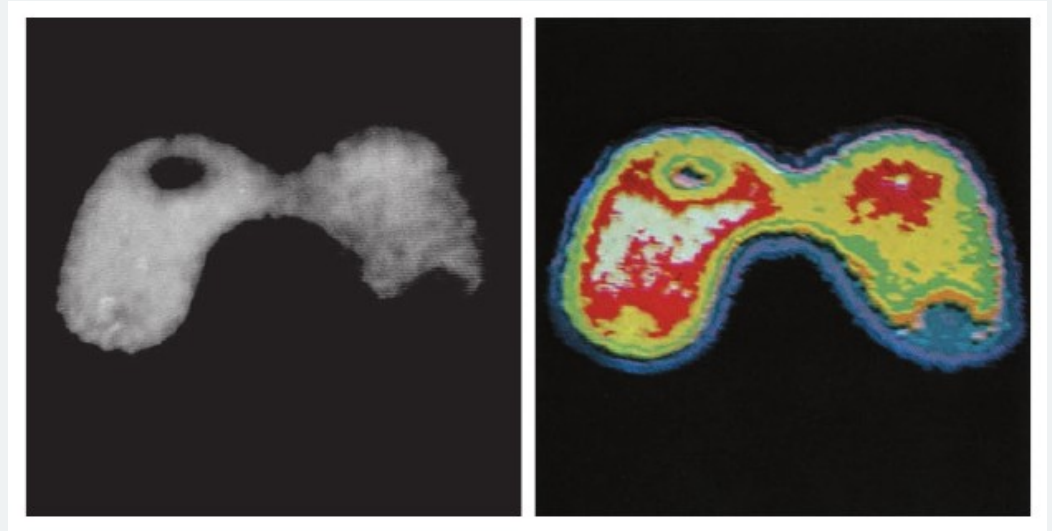
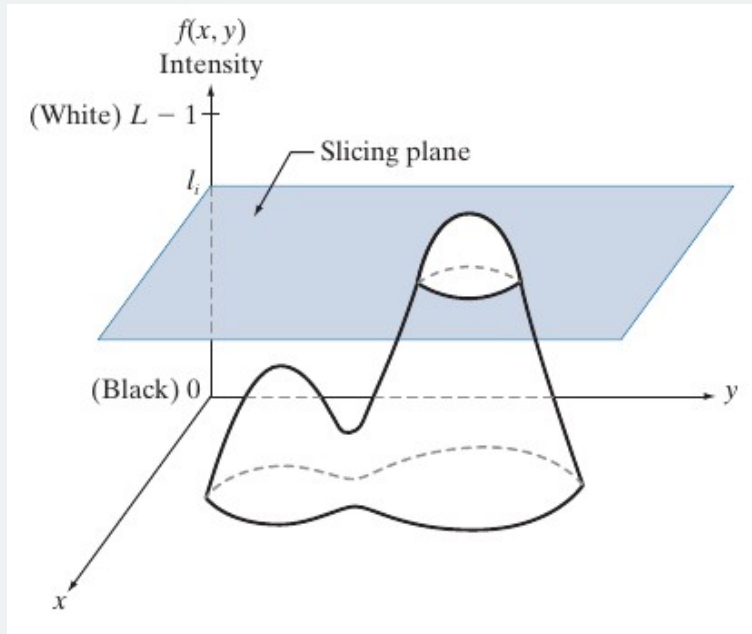
- Processamento de pseudocolor (*cor falsa*) consiste em atribuir cores para valores de cinza com base em um critério específico
 - O termo é utilizado para diferenciar o processo de atribuição de cores para imagens acromáticas do processo associado às cores reais;

Processamento de Pseudocores

- Técnicas de *intensity slicing* e codificação de cores são os primeiros exemplos de processamento de pseudocores
 - Essa técnica consiste na adição de planos paralelos às coordenadas da imagem, de modo que cada plano corte a função na área de interseção;
 - Uma cor específica é atribuída para cada lado do plano – *pixels* de um lado recebem uma determinada cor, enquanto os *pixels* do outro lado recebem outras cores.

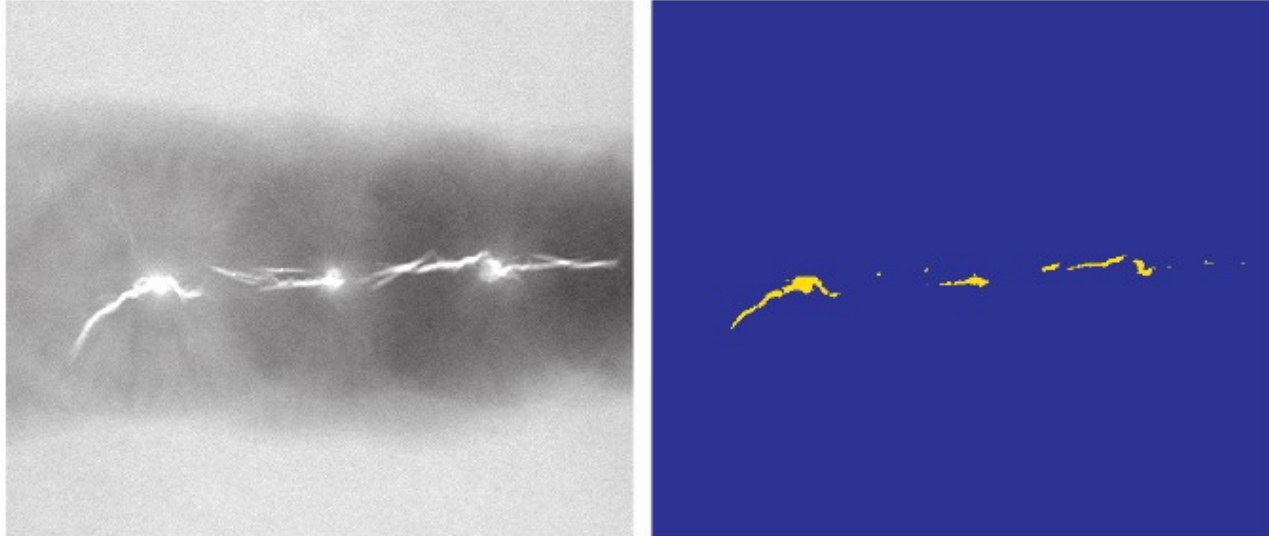
Processamento de Pseudocores

- Múltiplos planos podem ser utilizados, possibilitando a atribuição de múltiplas cores.



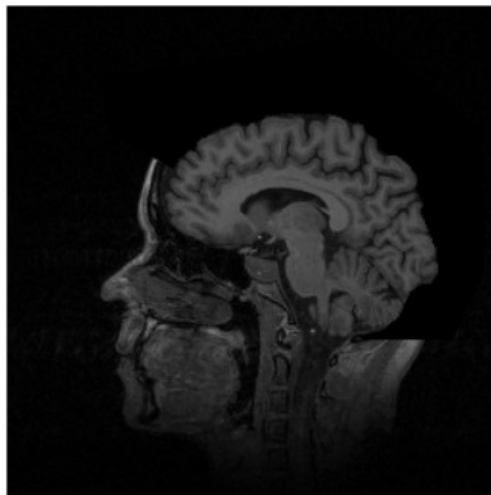
Processamento de Pseudocores

- O processamento de pseudocores pode ser utilizado para atribuir limites e demarcar regiões em imagens.
 - A coloração do raio-x abaixo foi utilizada para marcar segmentos da imagem.

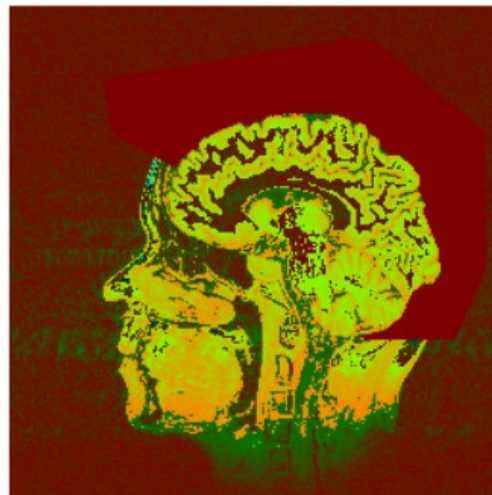


Processamento de Pseudocores

- A pseudocoloração é um recurso particularmente útil em imagens médicas
 - Seres humanos conseguem perceber milhões de cores diferentes, ao invés de apenas alguns padrões de cinza



16 bits → cinza



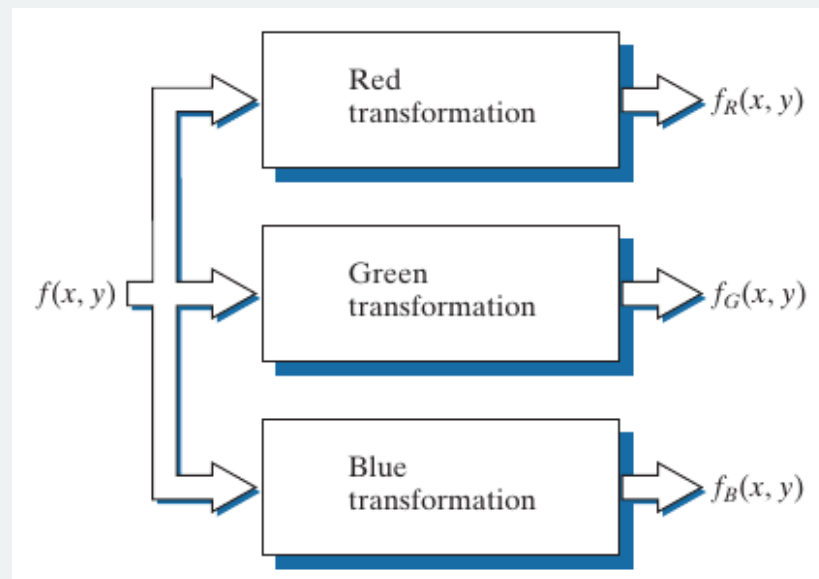
16 bits → RGB

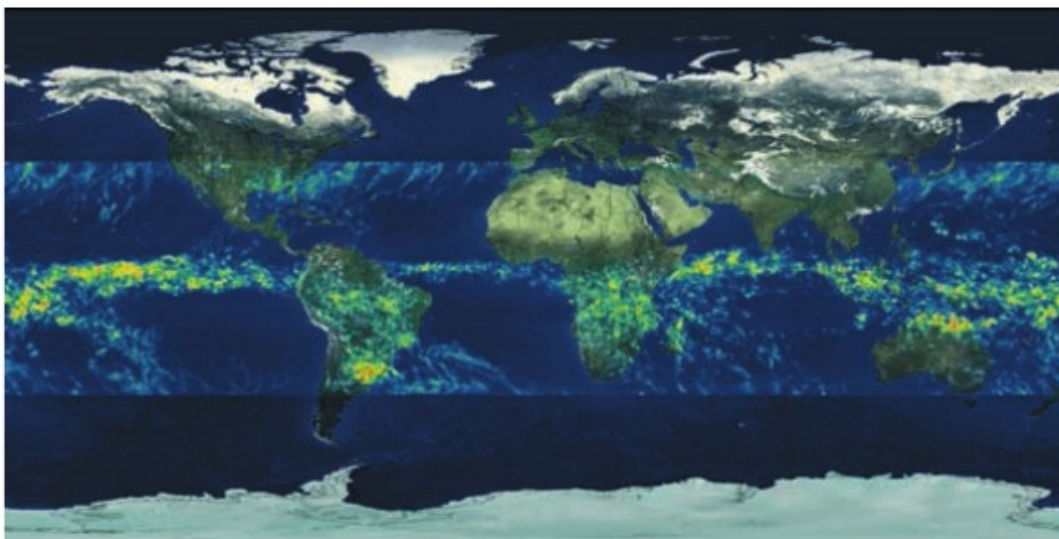
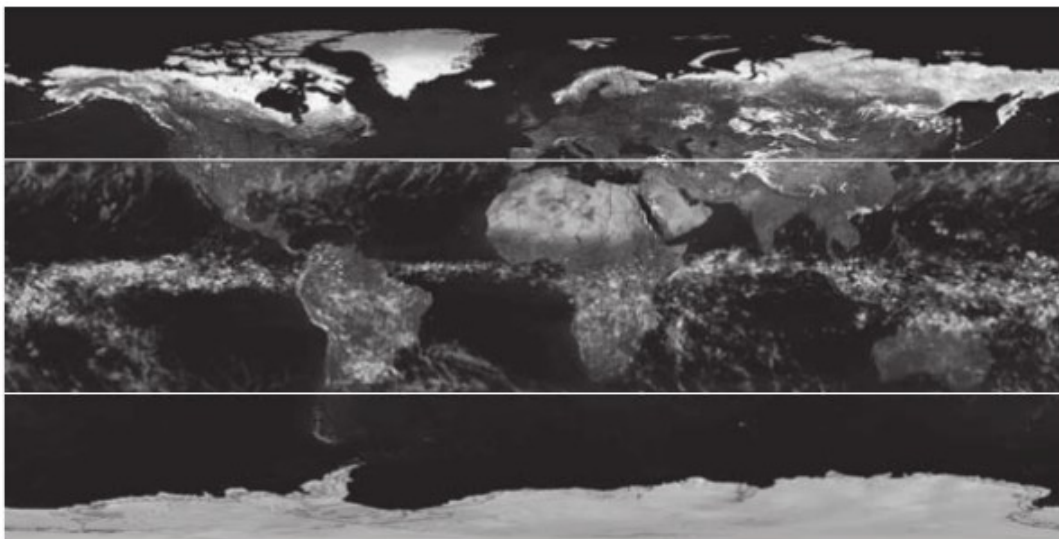
Fonte: Agostinho Brito Jr. (2018).

Transformação baseada na intensidade de cores

- Uma ideia para pseudocoloração é realizar três transformações independentes, com base na intensidade dos *pixels* de entrada
 - Os três resultados alimentam separadamente os canais de cores vermelho, verde e azul;
 - O método produz uma imagem composta no qual as cores são moduladas pela natureza das funções de transformação.

Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

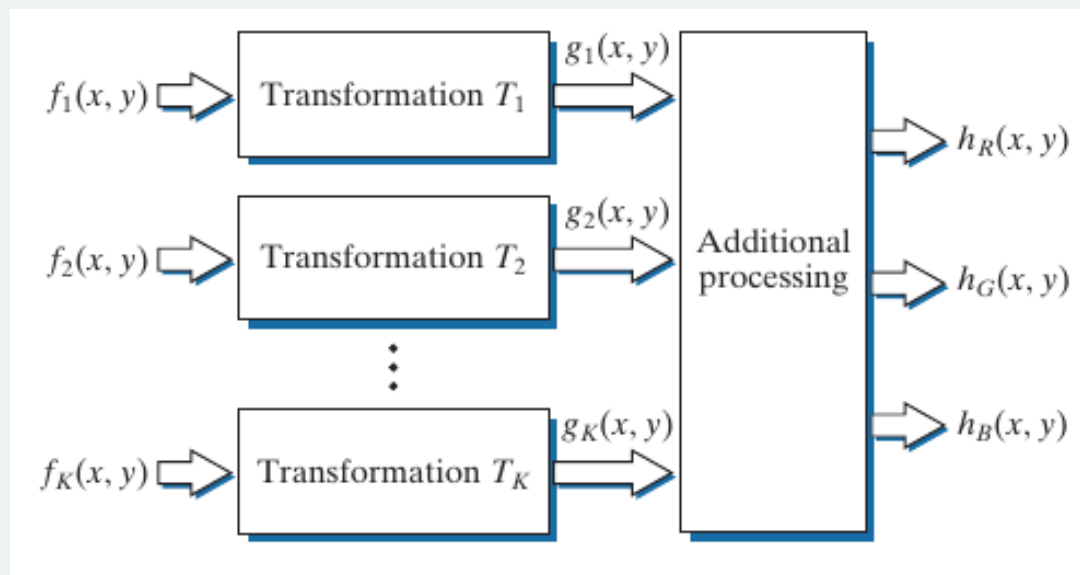




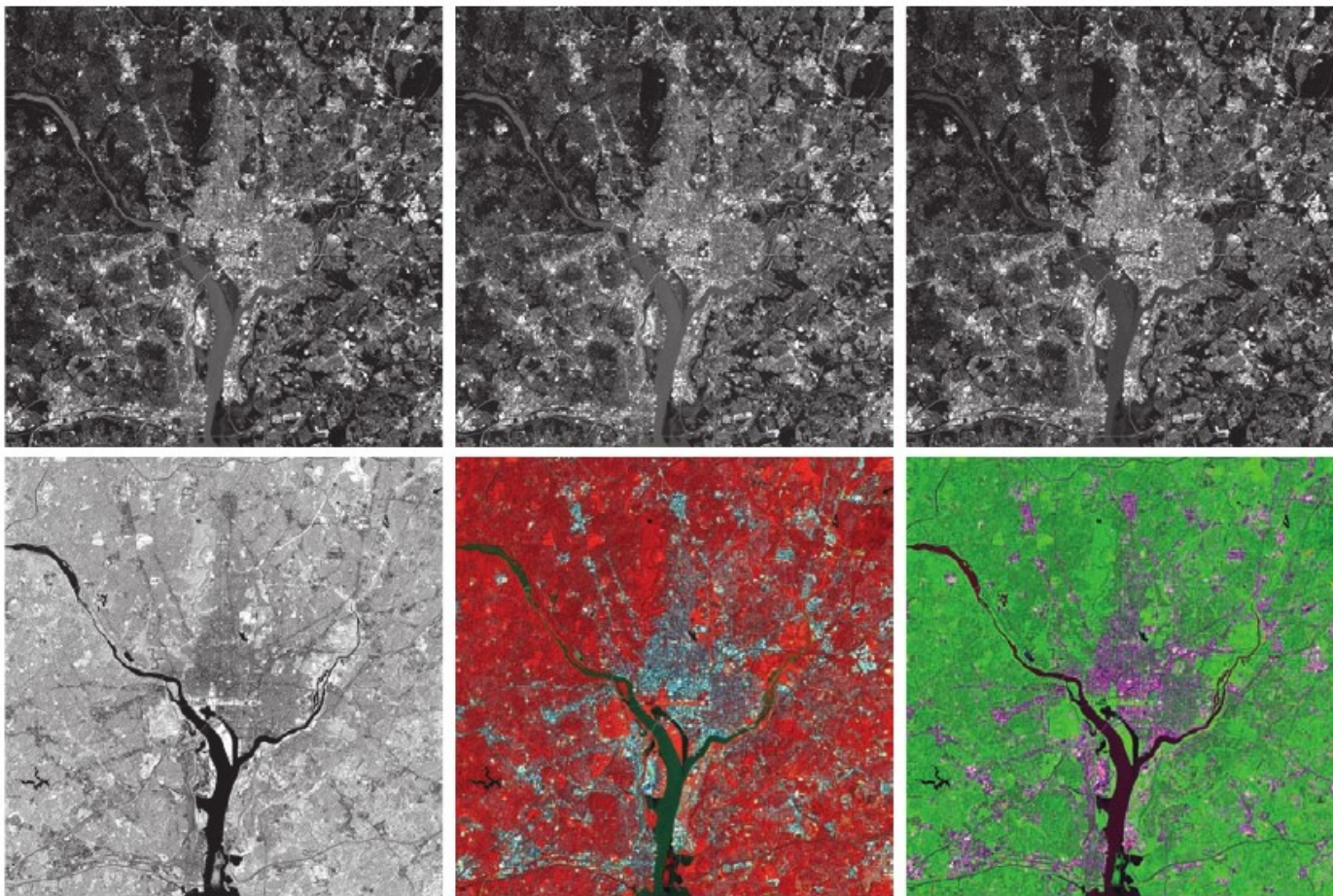
Fonte: Gonzalez
& Woods (2018).

Transformação baseada na intensidade de cores

- Além das transformações nos canais de cores tradicionais, é possível realizar transformações em outros canais, caso existentes;
- Imagens de satélites podem conter informações de infravermelho, ultravioleta e outros espectros – estes também podem ser aprimorados para geração de melhores imagens;
- Processamentos adicionais podem ser realizados para aprimoramento extra dos resultados.



Fonte: Gonzalez & Woods (2018).



a b c
d e f

FIGURE 6.25 (a)–(d) Red (R), green (G), blue (B), and near-infrared (IR) components of a LANDSAT multispectral image of the Washington, D.C. area. (e) RGB color composite image obtained using the IR, G, and B component images. (f) RGB color composite image obtained using the R, IR, and B component images. (Original multispectral images courtesy of NASA.)



Visible . WFC3 . 2015



Infrared . WFC3 . 2015

Cores Complementares

Cores complementares

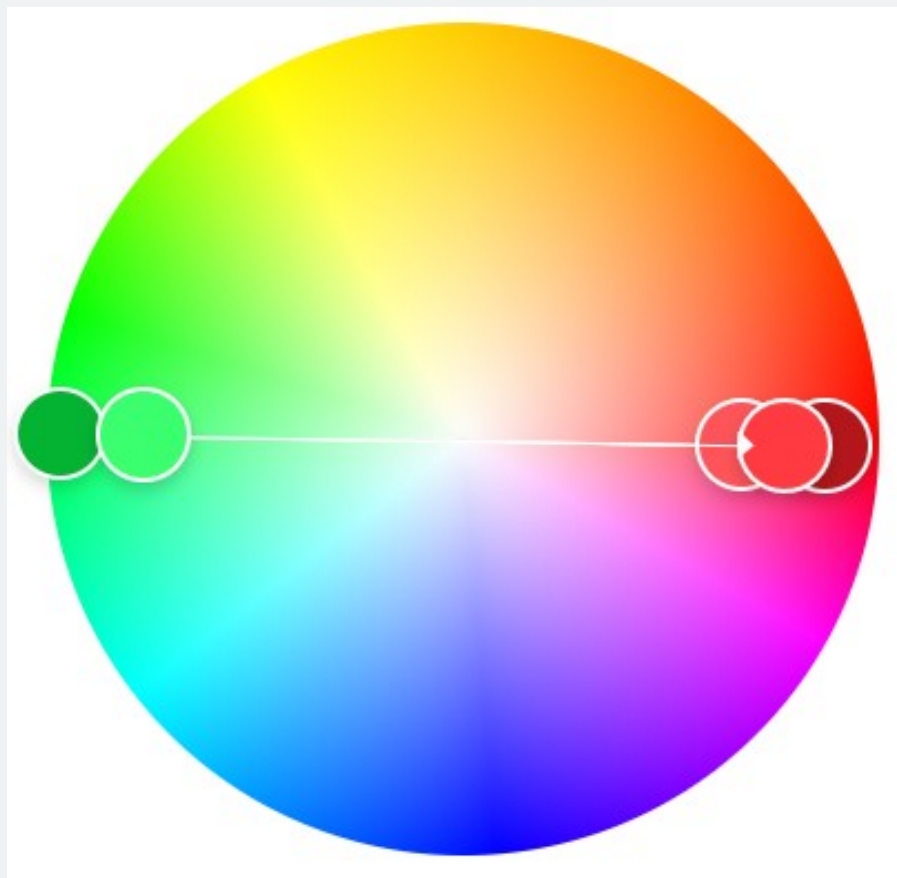
- O **círculo de cores** (ou roda de cores) é um tipo de representação criada por Isaac Newton no século XVII, de forma a unir as cores no seu espectro
 - O círculo é arranjado de modo que exista relação cromática entre as cores;
 - As cores primárias são organizadas em intervalos equidistantes entre si;
 - As cores secundárias e terciárias são organizadas entre as cores primárias, também em intervalos equidistantes;
 - As matizes (*hue*) de cores em posições diretamente opostas são complementares;
 - Os círculos de cores podem ser utilizados para escolha de cores em gráficos e projetos de design, permitindo melhor visualização das informações.

Cores complementares

- O círculo e as combinações de cores podem ser vistas na figura ao lado
 - Combinações complementares: cores em lados opostos;
 - Combinações análogas: cores vizinhas;
 - Combinações em fenda: cor primária e duas complementares (os dois tons devem estar oposto à cor primária);
 - Combinações triádicas: composta por três cores que apresentam a mesma distância umas das outras.

Fonte: Adobe (2023).

<https://color.adobe.com/pt/create/color-wheel> .



Referências

Referências

- Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. **Digital Image Processing – 4th Edition**. 2018. Pearson. ISBN: 978-9353062989.
- Agostinho Brito Jr. **Processamento digital de imagens – Slides de Aula**. 2018.
- Leigh Cotnoir's learn site. **Primary Colors of Light and Pigment**. 2023. Disponível em: <https://learn.leighcotnoir.com/artspeak/elements-color/primary-colors/>
- Wikipedia Contributors. **Chromaticity**. 2022. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Chromaticity>

Referências

- Wikipedia Contributors. **HSL and HSV**. 2023. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV
- Pat David. **Getting Around in GIMP - Black and White Conversion (Part 3)**. 2012. Disponível em: <https://patdavid.net/2012/12/getting-around-in-gimp-black-and-white30/>
- Monisha Ravisetti. **Webb Space Telescope Mechanics: How NASA Unlocked Astronomy's Next Great Era**. 2022. Disponível em: <https://www.cnet.com/science/space/features/webb-space-telescope-mechanics-how-nasa-unlocked-astronomys-next-great-era/>
- Adobe. **Adobe Color**. 2023. Disponível em: <https://color.adobe.com/pt/create/color-wheel>

Referências

- Educa+Brasil. **Sabe o que é círculo cromático?**. 2021. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/cursos-e-faculdades/design-grafico/noticias/sabe-o-que-e-circulo-cromatico>