

A decorative graphic consisting of three colored circles (dark teal, light teal, and grey) and a vertical black line to their right.

Representações de Cores

35T56 – Sala 3E1

Bruno Motta de Carvalho

DIMAp – Sala 15 – Ramal 227

Introdução

- Sistemas de representação de cores
 - Facilitam a escolha de cores
 - Descrevem e nomeiam cores
 - Conversão entre sistemas diferentes
- Percepção humana
- Especificação de uma sistema de coordenadas e um subspace

Introdução



- Representação e uso de cores é uma área que envolve física, psicologia, fisiologia e arte

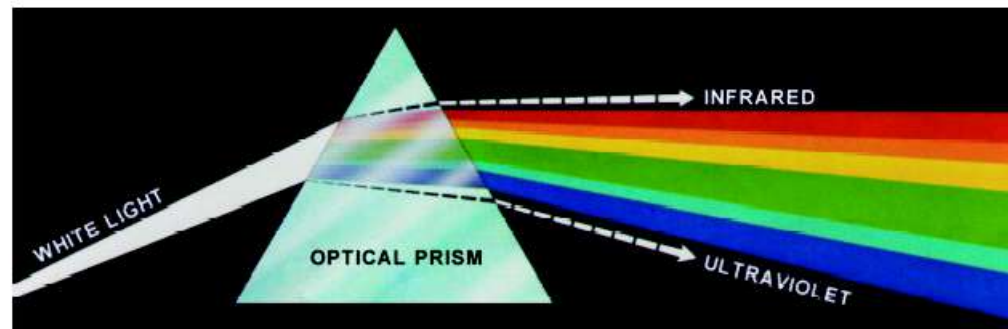


FIGURE 6.1 Color spectrum seen by passing white light through a prism. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)



Introdução



- Existem vários padrões de cores mas nenhum é aceito como padrão universal
- Cor de um objeto depende também da luz que o ilumina, das cores dos objetos ao seu redor e do sistema visual humano, que varia de pessoa a pessoa

Luz acromática



- Luz acromática codifica somente intensidade de luz
 - Chamada de intensidade ou luminância se representa energia ou brilho da luz
 - Tons de cinza
 - Geralmente, em torno de 64 a 256 tons de cinza são necessários para representação de imagens de tons contínuos sem a criação de contornos artificiais

- EXEMPLO





Luz cromática



- Luz cromática
 - Sensação visual de cores
 - Intensidade
 - Cromaticidade/cor
 - Tonalidade (posição no espectro – azul, vermelho, amarelo. . .)
 - Saturação

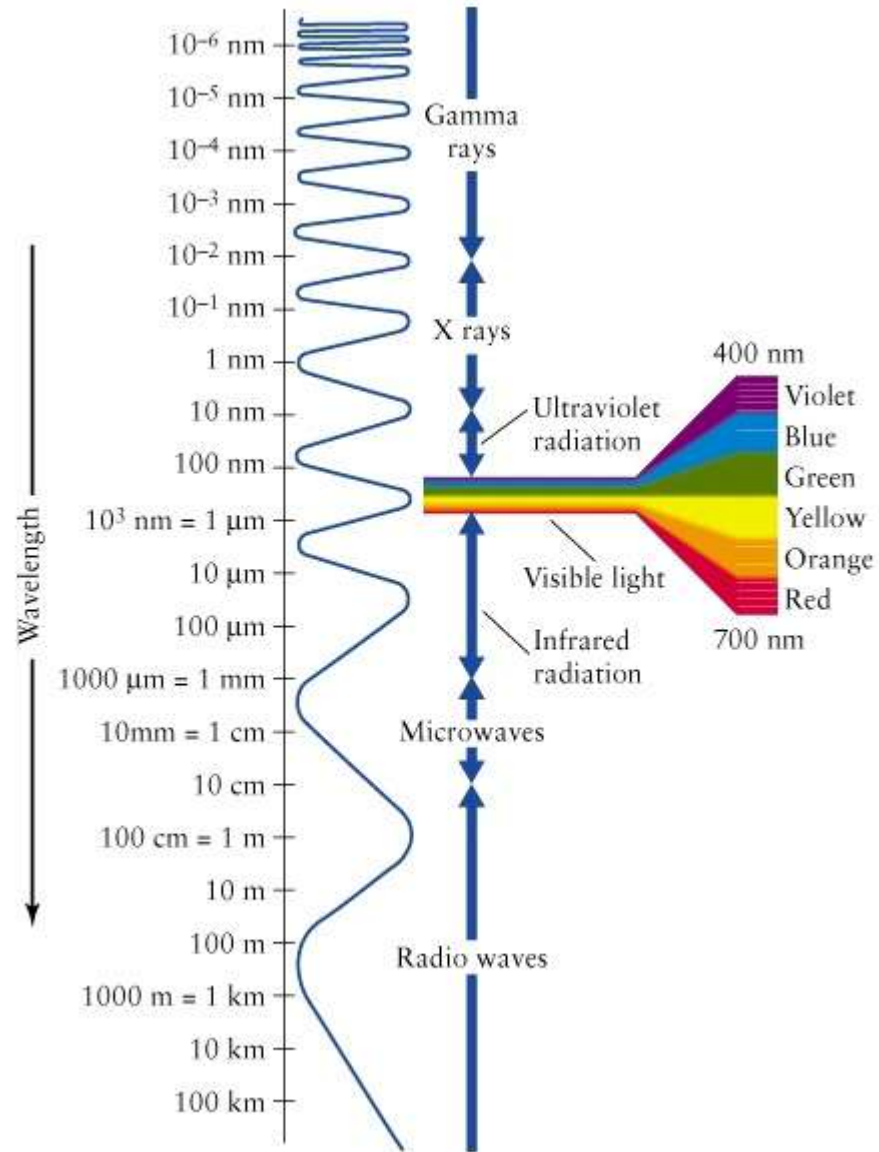


Cores



- Tonalidade (tom/hue) distingue entre cores
- Saturação indica quão pura a cor é, isto é, quanto de branco/cinza está misturado a mesma. Por exemplo, vermelho é muito saturado enquanto que rosa é pouco saturada
- **Clareza** é a intensidade percebida de um objeto que reflete luz enquanto que **brilho** é a intensidade percebida de um objeto que emite luz
- Nós podemos distinguir aproximadamente 7 milhões de cores quando colocadas lado a lado (JNDs – Just Noticeable Diffs.)
 - Com variações somente nos tons, diferenças de λ nas cores JND são de 2nm na parte central do espectro visível e de 10nm nos seus extremos

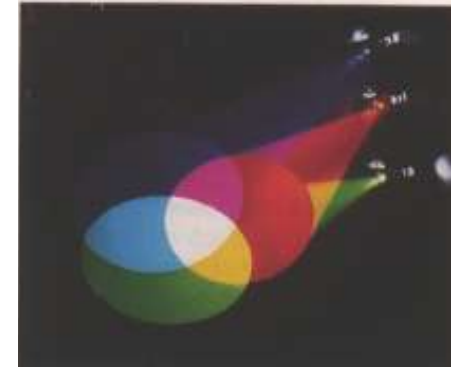
Cores



Misturas de Cores



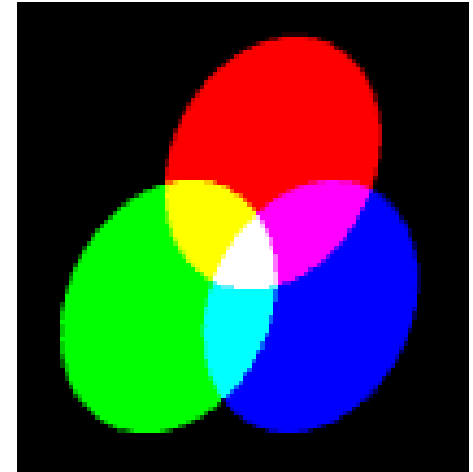
- A mistura de cores aditiva é o efeito da projeção de luzes de várias cores no mesmo ponto
- A mistura de cores subtrativa é o efeito da passagem de luz através de vários filtros



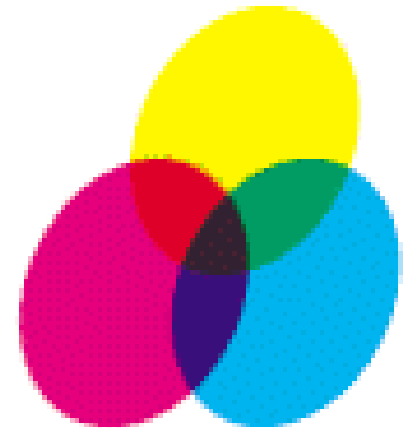
Misturas de Cores



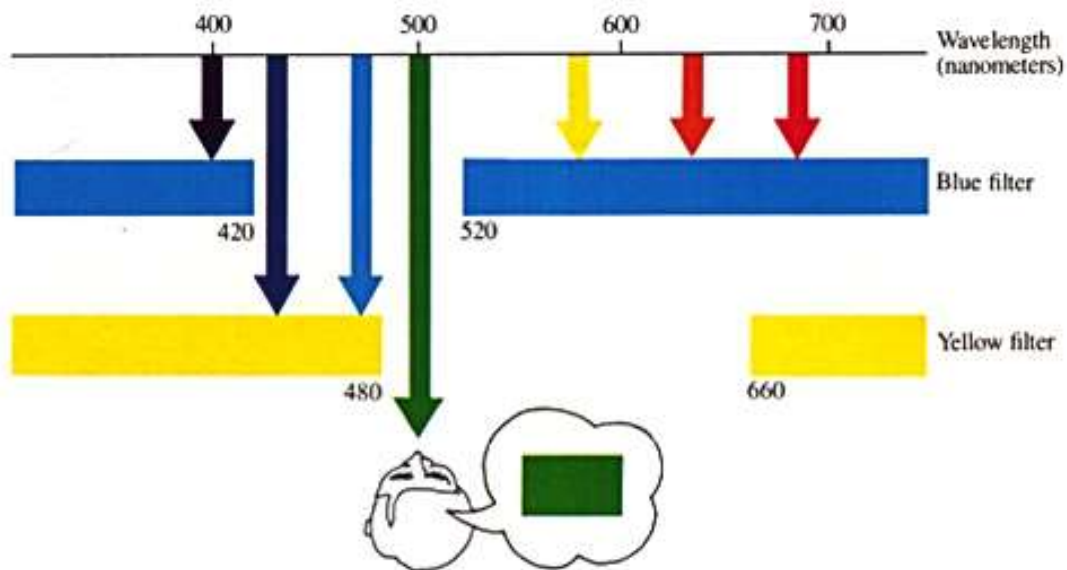
- A mistura de cores aditiva é o efeito da projeção de luzes de várias cores no mesmo ponto



- A mistura de cores subtrativa é o efeito da passagem de luz através de vários filtros

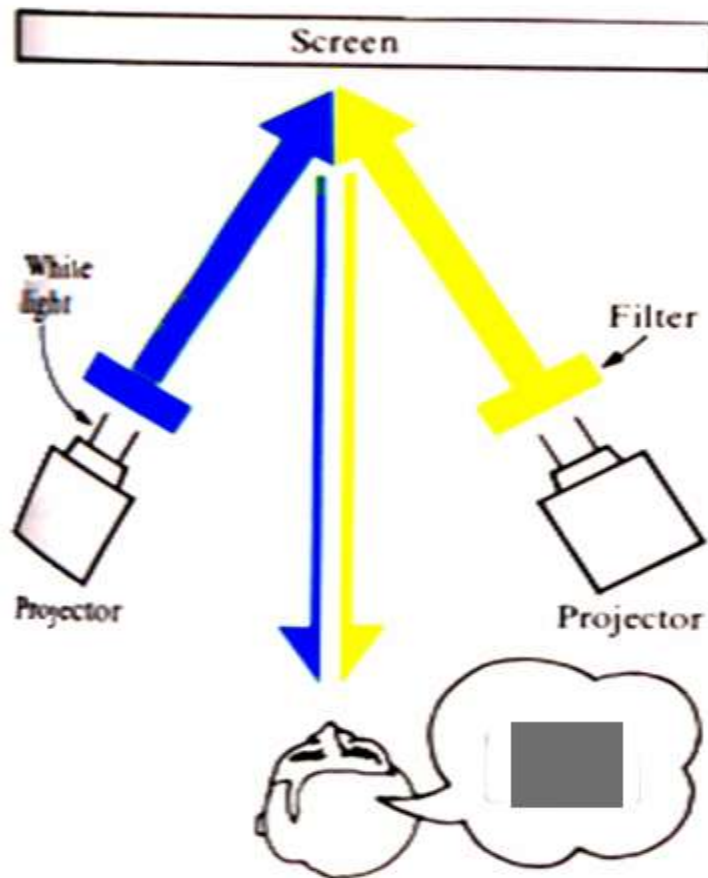


Mistura de Cores Subtrativas



A mistura subtrativa acontece na mistura de tintas para desenho (que absorvem luz). Em mistura subtrativa, a luz que passa por dois filtros é a interseção das faixas de frequência que passam pelos dois filtros. No exemplo ao lado o primeiro filtro é um filtro azul largo (que deixa passar luz entre 420 e 520 nm) e o segundo filtro é um filtro amarelo largo (que deixa passar luz entre 480 and 660 nm), logo, a luz que passa é a entre 480 e 520 nm, que é verde

Mistura de Cores Aditivas



A mistura aditiva é usada em projetores, e luz que passa por dois ou mais filtros (ou refletida por dois ou mais pigmentos) atinge a mesma região da retina ao mesmo tempo. A figura mostra dois projetores transmitindo luz pura azul e amarela, e o observador vê a cor cinza

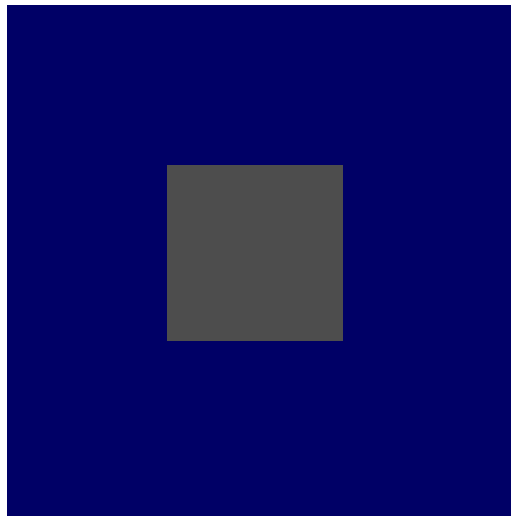
Cores Complementares Aditivas



- Tons complementares - Pares de tons que quando misturados aditivamente produzem cinza. Os dois pares de tons complementares mais importantes são vermelho-verde e azul-amarelo (percepção de cores)

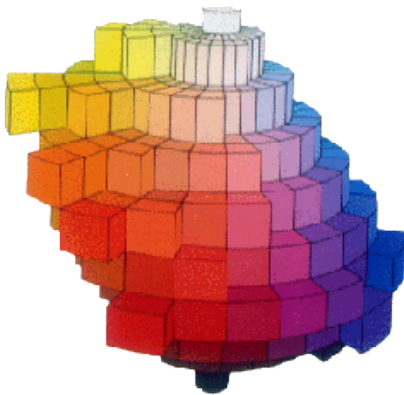


Contraste



Os quadrados cinza são iguais, mas não aparentam ser devido a cor na qual estão envolvidos. Eles diferem em intensidades percebidas e tons

Nomeando Cores



- Pode-se comparar cor desconhecida com amostras de uma coleção, mas cores tem de ser vistas com uma iluminação padrão e dependem de julgamento humano. Ex. Sistema PANTONE® na indústria de impressão
- Sistema de cores Munsell é um conjunto de amostras em 3D (tom, valor, chroma/saturação) onde vizinhos estão a distâncias iguais do ponto de vista perceptual
- Artistas especificam cores por matiz (tint), intensidade (shade) e tom (tone) usando pigmentos puros, brancos e pretos

Psicofísica



- Comparações de matizes, tons e intensidades são subjetivas e dependem de iluminação, cores envolvendo a amostra, tamanho da amostra, etc.
- Colorimetria ou cromometria é usada na análise quantitativa na comparação de cores

Percepção

Tom

Saturação

Intensidade (luz refletida)

Brilho (luz emitida)

Colorimetria

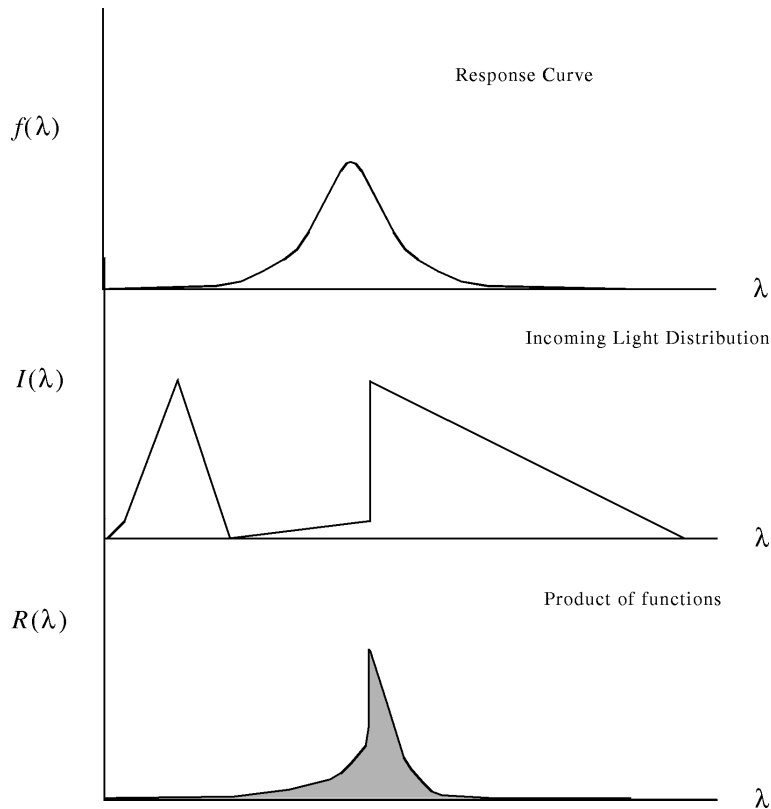
Comprimento de onda dominante

Pureza de excitação

Luminância

Luminância

Resposta à Estímulo



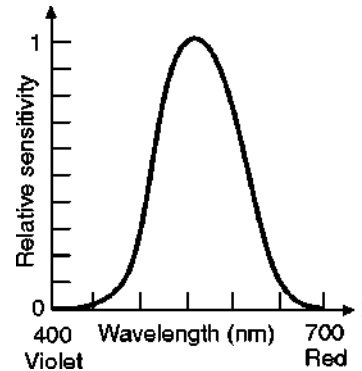
- Uma curva de resposta (filtro) a frequência indica as frequências e a porcentagem de luz destas frequências que são detectadas pelos receptores. Indica como receptores respondem a luz de intensidade uniforme para cada comprimento de onda
- A área cinza ao lado indica quanto da luz emitida os receptores detectam
- Suponha que o gráfico represente os receptores vermelhos, então temos

$$\text{percepção vermelho} = \int R(\lambda) d\lambda = \int I(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$

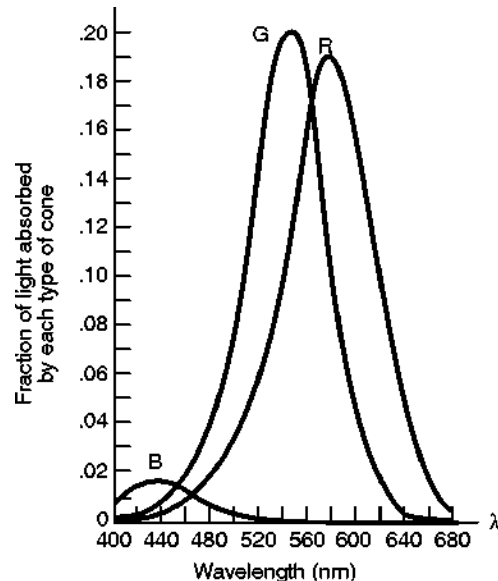
Teoria de Triestímulos



Função de eficiência luminosa : $\sum f_{\lambda}$
(pico de sensibilidade no amarelo - verde /550 nm)

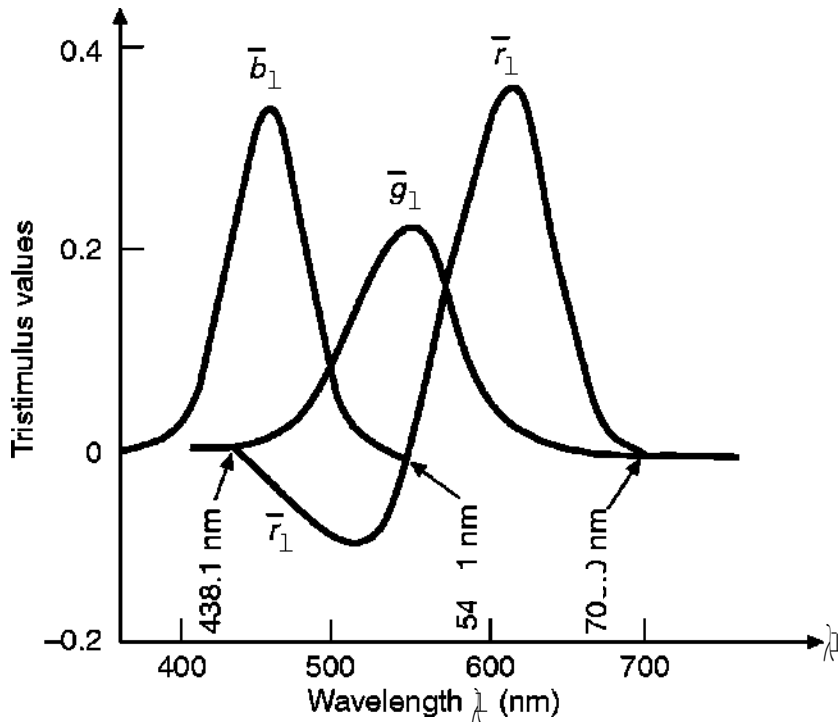


Funções de resposta espectrais f_{λ} dos três tipos de cones na retina humana



- Pós-processamento neural
 - Os três tipos de receptores tem conexões excitatórias e inibitórias
- Todas as cores podem ser descritas usando-se as 4 cores primárias psicológicas (vermelho, verde, azul e amarelo)
- Canais de cores antagonistas vermelho-verde, azul-amarelo e preto-branco

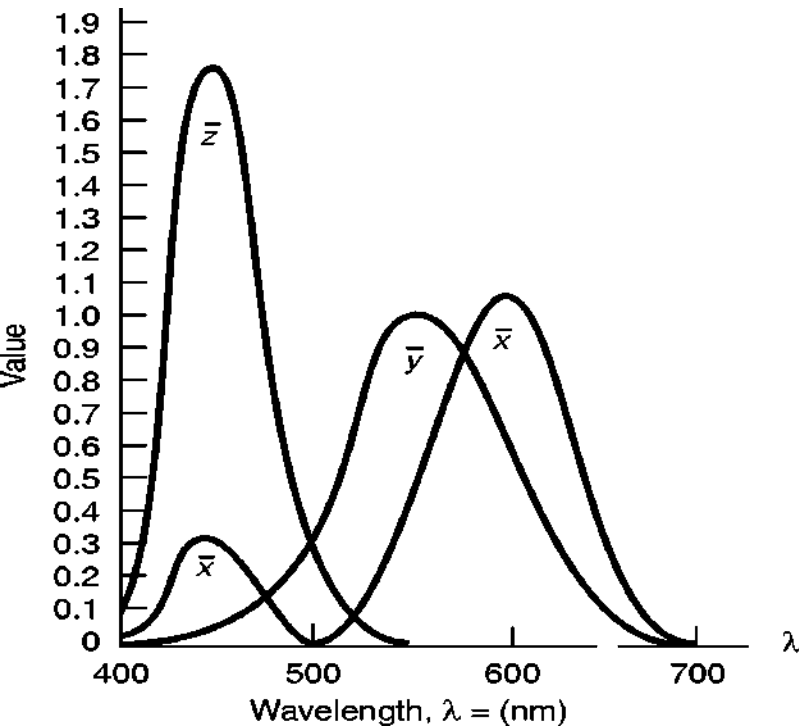
Reproduzindo Cores



- Teoria do Triestímulo leva a idéia de se reproduzir todas as cores visíveis com combinações monoespectrais de vermelho, verde e azul
- A mistura de quantidades positivas arbitrárias de primárias R, G, B pode gerar um grande gamute de cores mas nenhum dispositivo baseado em um número finito de primárias pode mostrar todas as cores

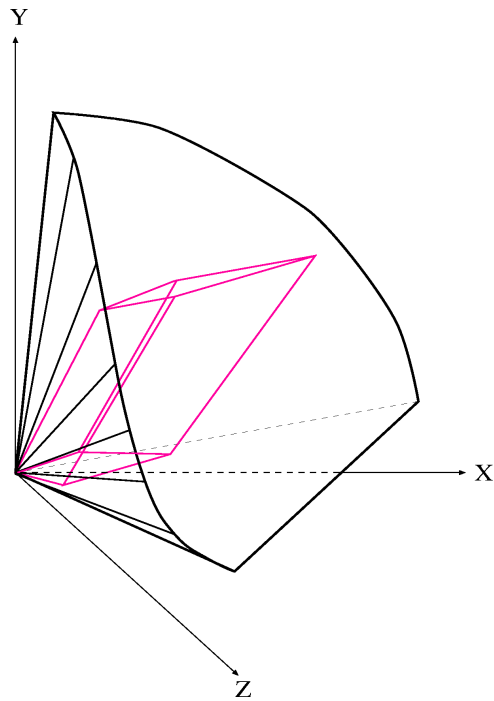
Funções de reprodução de cores, que mostram as quantidades das três primárias necessárias para reproduzir uma cor de luminância constante, para todos os valores de frequências dominantes no espectro visível, para um observador médio

Modelo CIE



- Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)
- Definiu primárias **X**, **Y**, e **Z** para substituir primárias vermelho, verde e azul
- **Y** foi escolhido de forma que y_λ codifica a função de eficiência luminosa (intensidade)
- x_λ , y_λ , e z_λ são as funções de representação de cores para esta primárias e são combinações lineares de r_λ , g_λ , e b_λ
- x_λ , y_λ , e z_λ para as primárias **X**, **Y**, e **Z** foram definidas em 1931 em intervalos de 1 nm

Espaço CIE



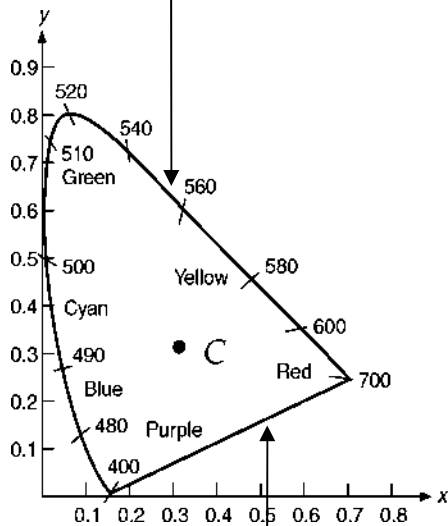
- A forma irregular do gamute de cores visíveis no espaço CIE acontece devido a resposta do nosso olho pelas curvas de resposta
- A faixa de valores que um monitor pode mostrar é bem menor que todas as cores visíveis no espaço **XYZ**

O gamute de cores de um monitor colorido típico no espaço de cores XYZ

Diagrama de Cromaticidade CIE



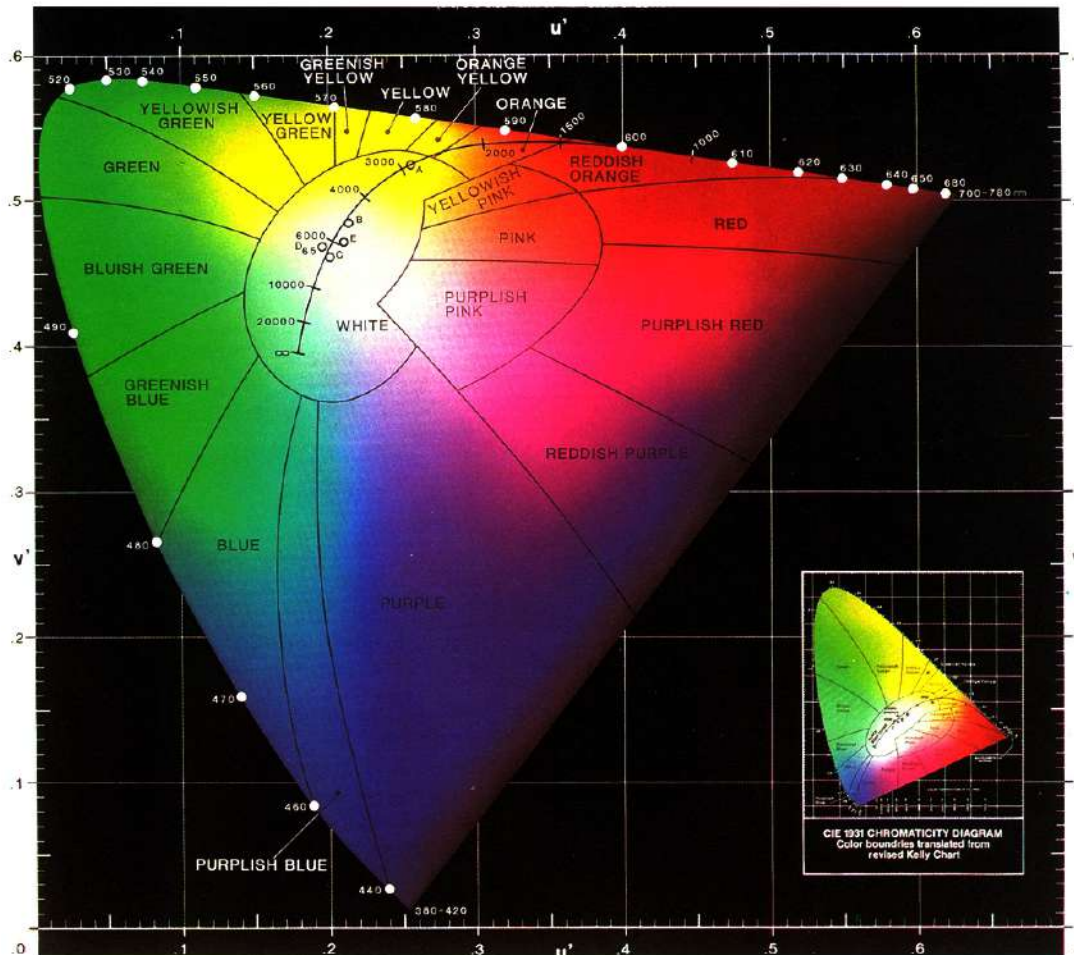
Qualquer coisa fora dessas bordas não é uma cor física



Região que define espectro de cores Visíveis é fechada pela linha Conectando azul e vermelho

- É a projeção do plano $(X + Y + Z) = 1$ no plano (X, Y)
- Mostra x e y para todos os valores de cromaticidade visíveis:
 - Todas as cores com mesma cromaticidade mas luminância diferentes mapeiam para o mesmo ponto
 - Cores puras espectralmente (monocromáticas) são localizadas nas bordas curvas do diagrama
 - Como luminância não é representada, cores que são relacionadas com luminância não são mostradas (ex. Marrom – cromaticidade laranja-vermelho com baixa luminância)
 - *Illuminante C*: próximo a (nas não exatamente) $x = y = z = 1/3$; semelhante a luz solar
- **Definir mistura de cores, definir e comparar gamutes de cores, purity e dominant wavelength**

Diagrama de Cromaticidade CIE

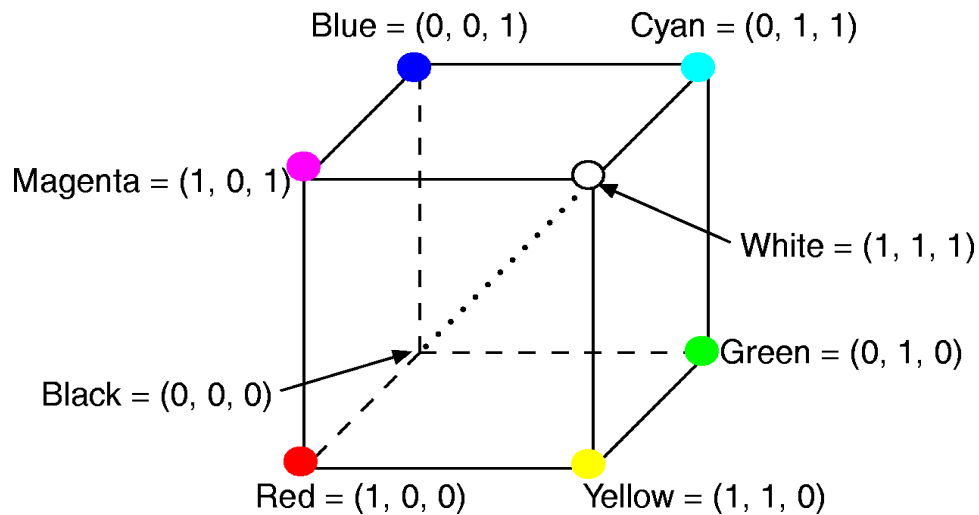


Modelos de Cores para Dispositivos de Rasterização



- Especificam em um sistema de coordenadas de cores 3D um gamute, que é um subconjunto de todas as cores visíveis
- Modelos orientados a hardware não são intuitivos pois não relacionam conceitos de tons, saturação e intensidade
 - RGB (monitores CRT), YIQ (TVs NTSC), CMY e CMYK (impressão de cores)
- Modelos orientados a usuário
 - HSV/HSB (hue, saturation, value/brightness)
 - HLS (hue, lightness, saturation)
 - The Munsell system

Modelo RGB



- Componentes RGB são aditivos:
- Diagonal principal \Rightarrow tons de cinza - preto é (0,0,0) e branco é (1,1,1)
- Gamute de cores RGB definidos pelo CRT
- Conversão de um gamute CRT para outro é feita usando-se XYZ como passo intermediário

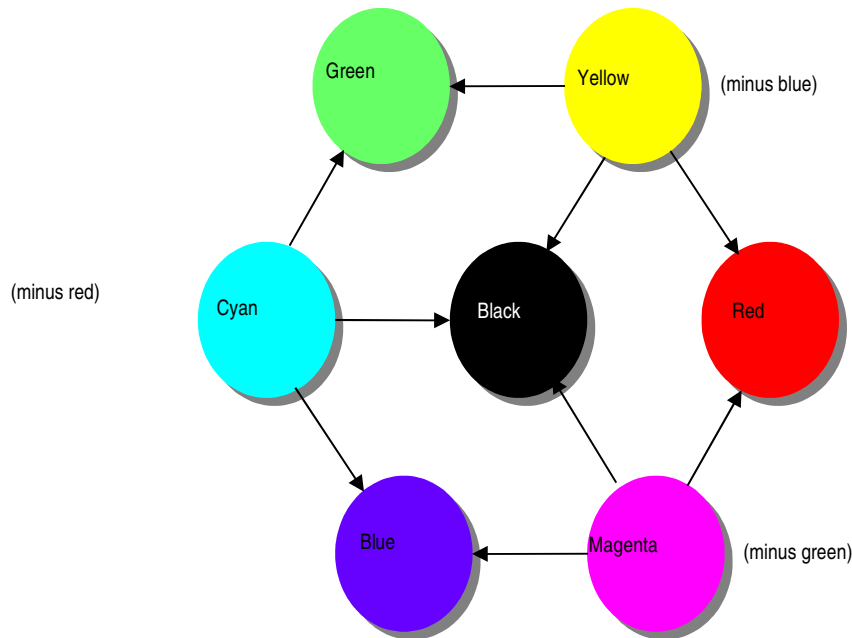
Modelo RGB

- Transformação RGB:
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$
- Onde X_r , X_g , e X_b são os pesos multiplicados pelas cores RGB do monitor para achar X (mesmo para Y e Z)
- M é a matriz 3 x 3 de coeficientes de casamento de cores

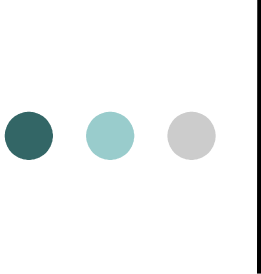
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Modelo CMY(K)

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



- Usado em impressão (depósito de pigmentos no papel)
- Ciano (C), magenta (M) e amarelo (Y) são complementares de vermelho (R), verde (G) e azul (B)
- Primárias subtrativas: cores são especificadas pelo o que subtraído da luz branca
- Sistema de coordenadas Cartesiano - Branco é (0,0,0) e preto é (1,1,1)



Modelo CMY(K)



- Impressoras geralmente usam CMYK (K=black)
- K usado ao invés de quantidades iguais de CMY – preto mais realista e menos tinta no papel (secagem mais rápida)

- Cálculo:

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

$$C' = C - K$$

$$M' = M - K$$

(C', Y' ou M' será 0)

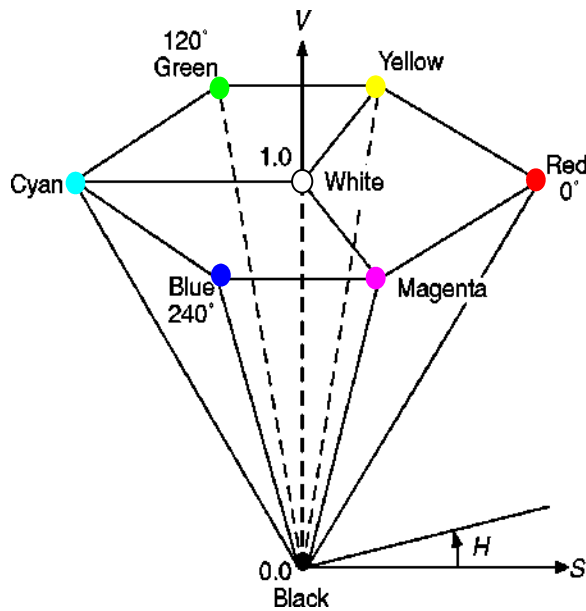
Modelo YIQ



- Criado para ser eficiente e compatível com TVs preto-e-branco. Usado no NTSC (National Television Standards Committee (cynically, “never the same color”))
- Y é a luminância (intensidade) – mesmo que CIE Y
- I e Q codificam cromaticidade
- Somente $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$ é monitores preto-e-branco:

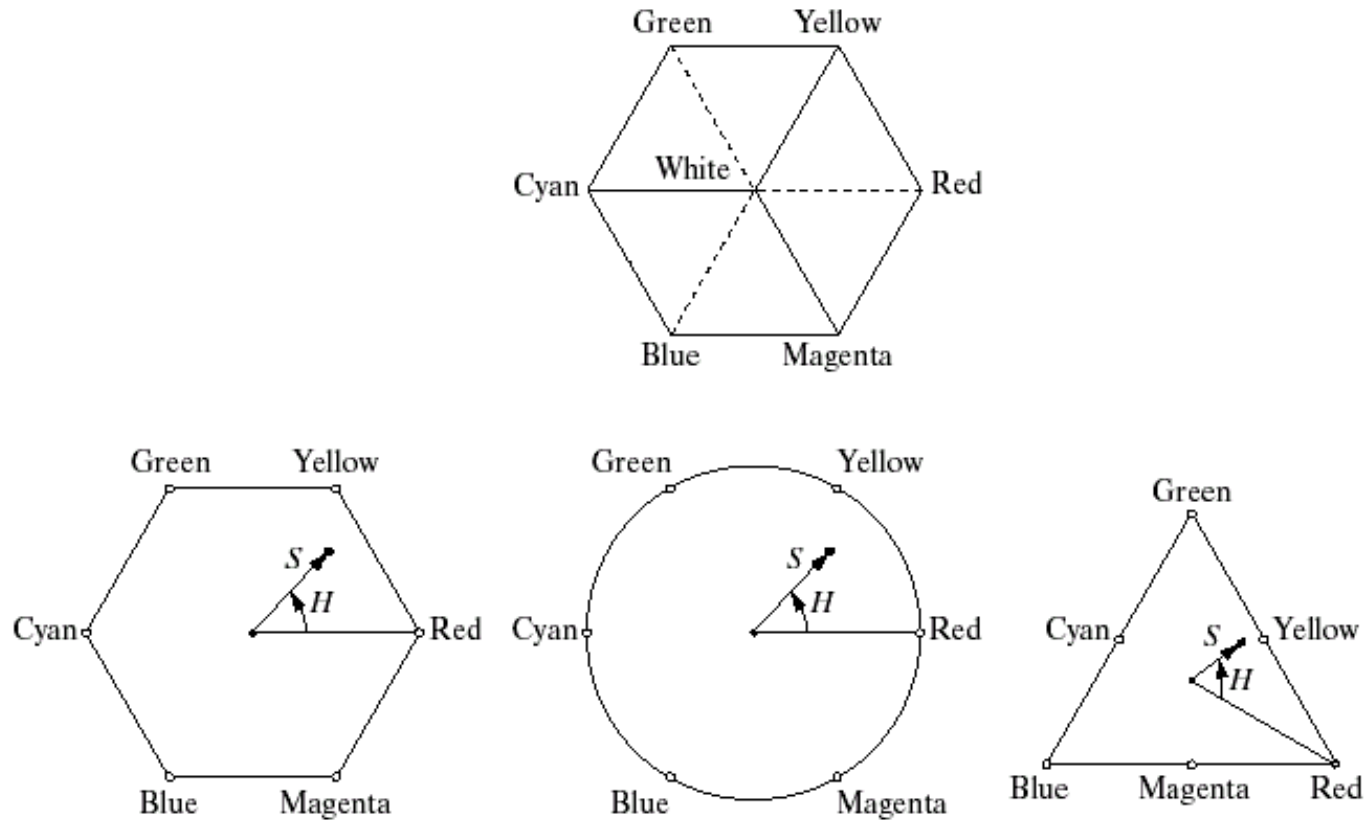
$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.60 & -0.28 & -0.32 \\ 0.21 & -0.52 & 0.31 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Modelo HSV



- Hue, saturation, value (intensidade)
- Cone hexagonal. O plano $V = 1$ contém a parte do modelo RGB $R = 1, G = 1, B = 1$)
- Relacionamento com o modelo do artista (matiz, intensidade e tom)
 - Pigmentos puros estão localizados em $(I, 1, 1)$ onde $0^\circ \leq I \leq 360^\circ$
 - Saturação: Adicionando pigmento branco diminuindo S em um V constante
 - Intensidades: Adicionando pigmento preto diminuindo V em um S constante
 - Tons: diminuindo S e V

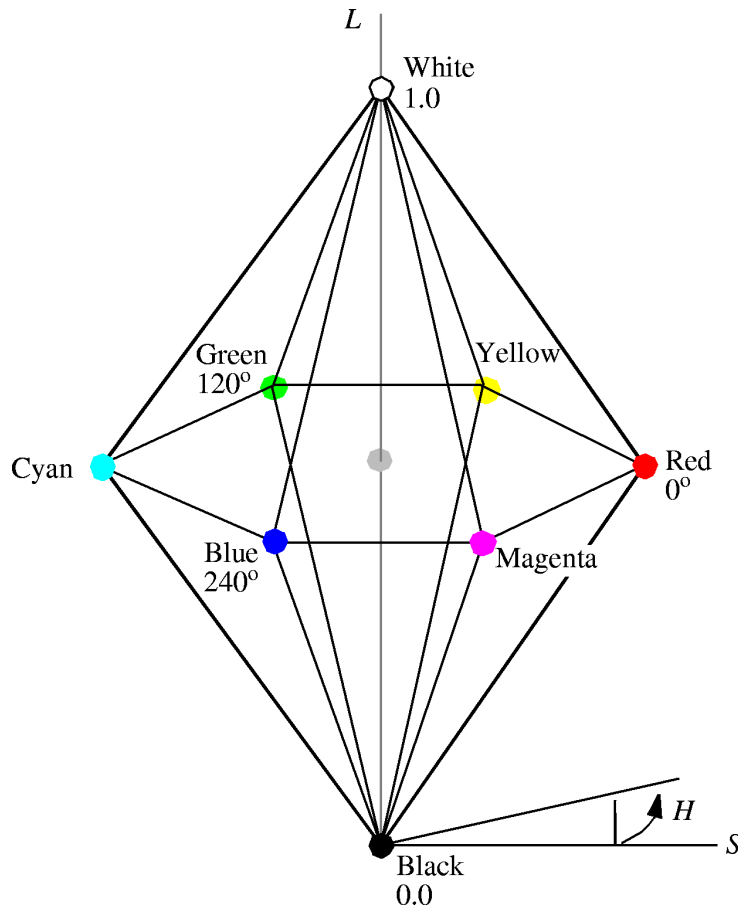
Modelo HSV



a
b c d

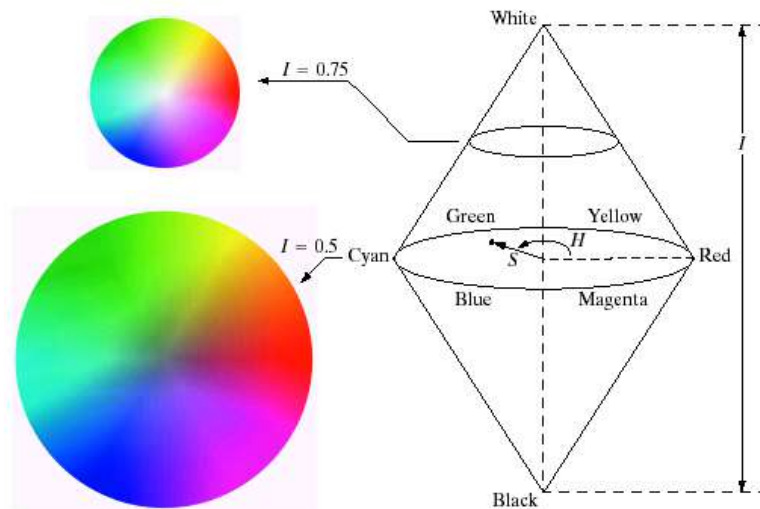
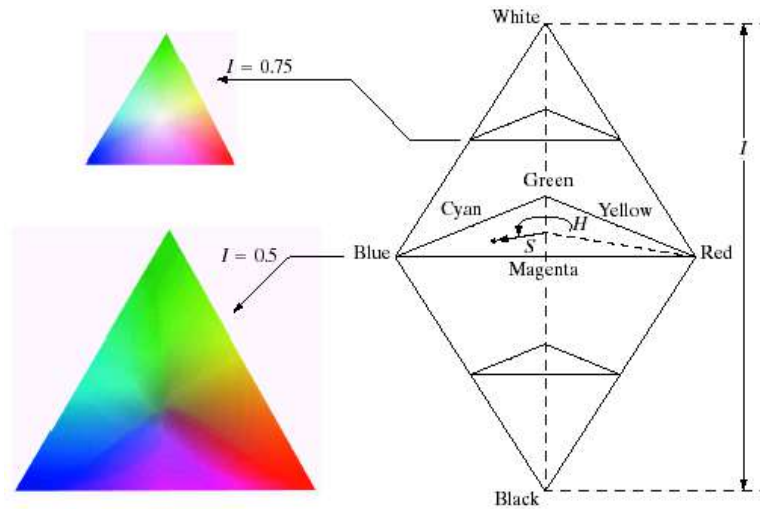
FIGURE 6.13 Hue and saturation in the HSI color model. The dot is an arbitrary color point. The angle from the red axis gives the hue, and the length of the vector is the saturation. The intensity of all colors in any of these planes is given by the position of the plane on the vertical intensity axis.

Modelo HLS



- Hue, Lightness, Saturation
- Cone hexagonal duplo
- Pigmentos puros estão localizados em $S = 1$, $L = 0.5$
- Conceitualmente mais fácil para algumas pessoas ver branco como um ponto fora do plano mencionado acima

Modelo HLS



Problemas com Sistemas de Cores Padrão



- Eles são não-uniformes do ponto de vista perceptual
 - Mudanças de cores iguais matematicamente não são percebidas como iguais
- Mudança de um parâmetro causa uma mudança perceptual nos dois outros parâmetros
- O primeiro espaço de cores perceptualmente uniforme foi o sistema de Munsell, que foi criado a partir de dados perceptuais
 - Leva em conta o fato que amarelo intenso é mais claro que azul intenso, logo podemos distinguir mais níveis de saturação de azul do que de amarelo

Interpolando Cores

- Interpolação usada para algoritmo de Gouraud, antialiasing e sequencia fade-in, fade-out
- Resultados dependem do modelo de cores usado:
 - Em RGB, CMY, YIQ, CIE linhas retas são mantidas durante interpolação
 - Não acontece em HSV, HLS
- Exemplo: interpolação entre vermelho e verde em RGB:
`vermelho = (1, 0, 0), verde = (0, 1, 0)`
`ponto_medio = (0.5, 0.5, 0)`
- Interpolando em HSV:
`vermelho = (0°, 1, 1); verde = (120°, 1, 1)`
`ponto_medio = (60°, 1, 1)`
`RGB_para_HSV = (60°, 1, 0.5)`

Interpolando Cores

- Para Gouraud shading pode-se usar qualquer modelo na interpolação pois as cores interpolantes são em geral muito próximas
- Para efeitos tipo fade-in fade-out ou para antialiasing, cores podem ser distantes logo use modelo aditivo (por exemplo RGB)
- Se as duas cores tem mesmo tom ou saturação e deseja manter o mesmo tom ou saturação durante interpolação use HSV ou HLS (durante interpolação tons idênticos podem ser percebidos de forma diferente)



Uso de Cores



- Usos estéticos (passar uma sensação ao observador), destacar objetos, codificar quantidades (relevo, temperatura, dinâmica de fluídos)
- Nosso sistema visual é mais sensível a variação espacial (pequenos detalhes devem diferir do fundo da imagem não somente em cor mas em intensidade)
- Azul e preto, amarelo e branco são combinações ruins (não use azul para texto)
- Para daltônicos evite verdes e vermelhos com baixa saturação e intensidade



Uso de Cores



- É difícil de se perceber cores quando usadas com pequenos objetos
- Cor percebida de objeto é afetada por cor da área que o circula
- Cores muito saturadas produzem imagens posteriores
- Cores afetam tamanhos percebidos
 - Objetos vermelhos aparentam ser maiores que objetos verdes
 - Cores refratam de modo diferente na nossa lente e aparentam distâncias diferentes