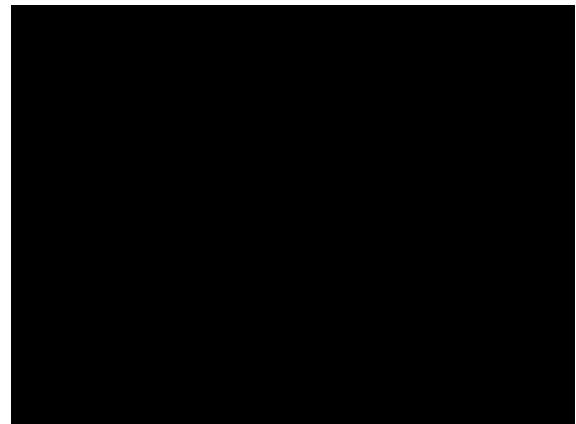
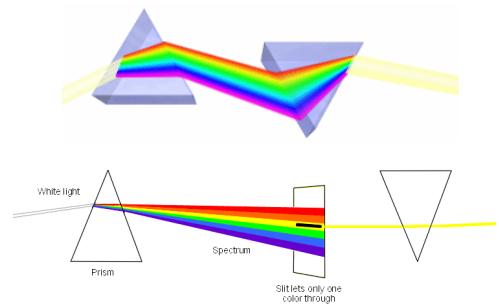




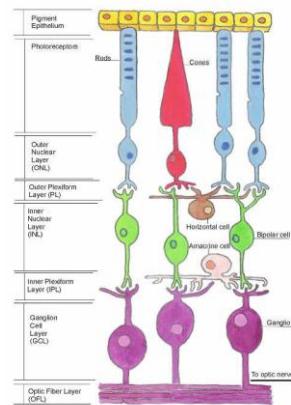
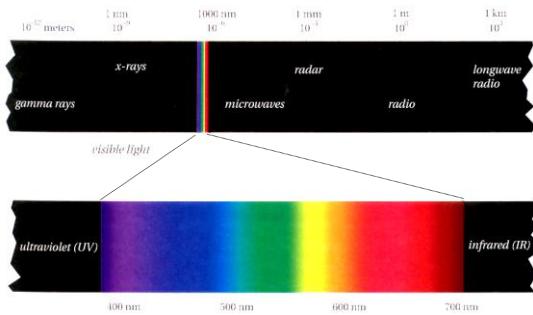
Cores na natureza



Decomposição espectral da luz



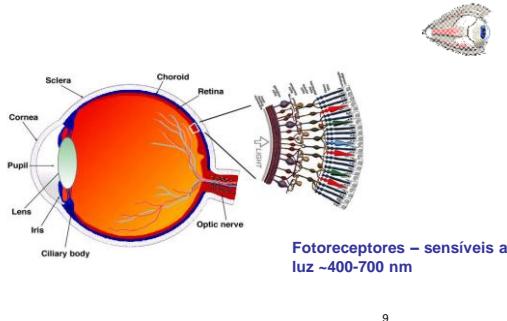
Espectro eletromagnético



Percepção das cores

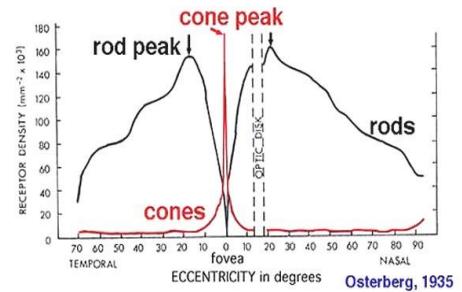
Ultraviolet	<380 nm
Violet	380-450
Blue	450-500
Blue-green	500-520
Green	520-550
Yellow-green	550-570
Yellow	570-600
Orange	600-630
Red	630-680
Infra-red	>680

O olho



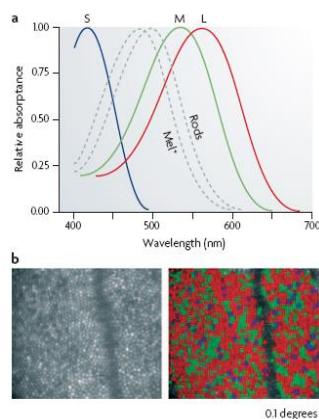
9

Distribuição dos sensores

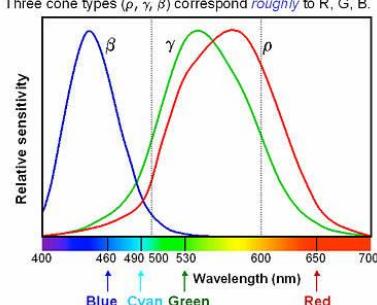


Sensores

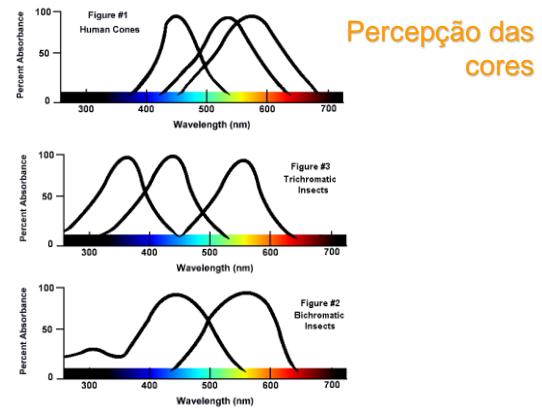
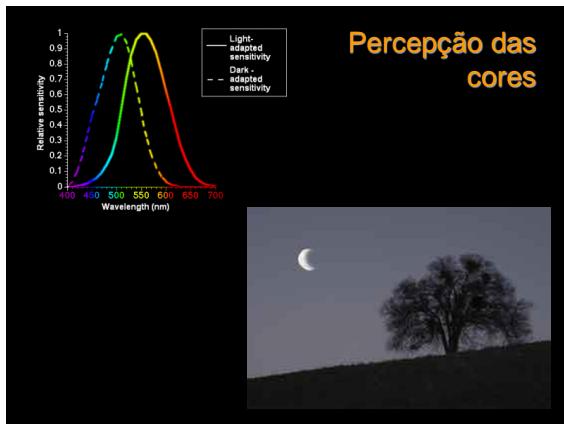
- Cones
 - S(hort)
 - M(edium)
 - L(ong)
 - Topologia irregular
- Bastonetes
- Melanopsina

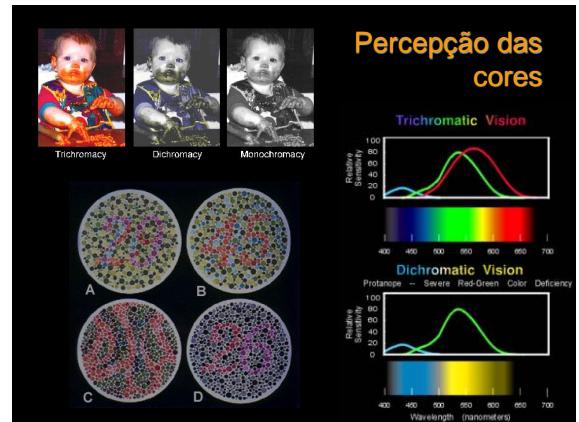
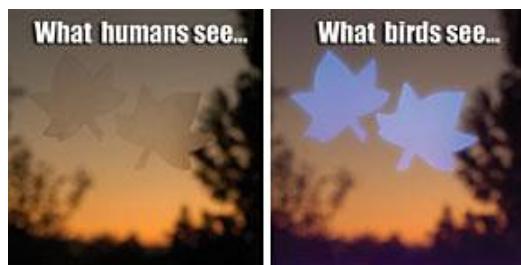
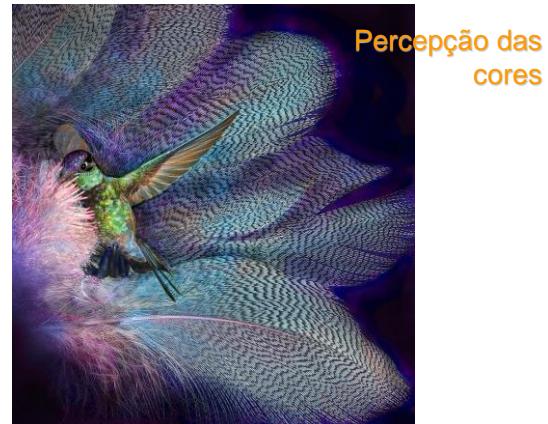


Human spectral sensitivity to color
Three cone types (ρ , γ , β) correspond roughly to R, G, B.



Percepção das cores





Estudos artísticos das cores



Leone Battista Alberti



Leonardo da Vinci

Leonardo da Vinci

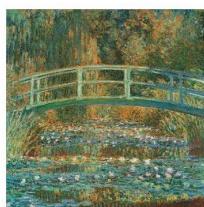


The Annunciation, Leonardo da Vinci

Rembrandt H. van Rijn 1606-1669



Claude Monet – 1840-1926



Pierre-Auguste Renoir

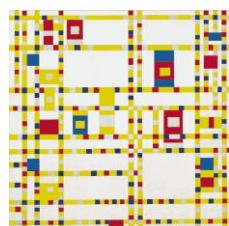


1841-1919

Piet Mondrian



1872-1944



Piet Mondrian



Isaac Newton – 1643 - 1727



- Method of Fluxions (1671)
- Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687)
- Opticks (1704)
- Dentre muitos outros

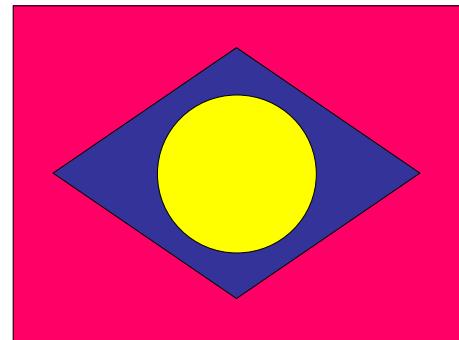
Newton

- Por um acaso, Newton descobre a natureza da luz
 - “The Rays to speak properly are not coloured. In them there is nothing else than a certain Power and Disposition to stir up a Sensation of this, or that Colour... So Colours in the object are nothing else but a Disposition to reflect this or that sort of Rays more copiously than the rest”

Johann W. von Goethe – 1749 - 1832



- Farbenlehre
- Theory of colors
- Doutrina/estudo das cores



George Palmer

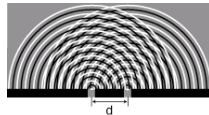
- Sete princípios gerais sobre a cor
- Seis princípios sobre a visão de cores
- Um dos princípios propõe que existem três tipos de receptores no olho humano
- Esses receptores são responsáveis pela produção das sensações psicológicas das cores primárias: vermelho, verde e azul

Thomas Young



1773 - 1829

Experimento com a dupla fenda



Teoria do tri-estímulo: a visão a cores é possível graças à existência de três receptores diferentes de cores

Hermann von Helmholtz



1821-1894

Handbuch der Physiologischen Optik

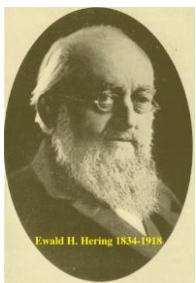
Teorias empíricas sobre:

- visão espacial
- visão a cores
- percepção de movimento

Estendeu a teoria de Young através de experimentos de casamento de cores

Ewald Hering

(1834 - 1918)

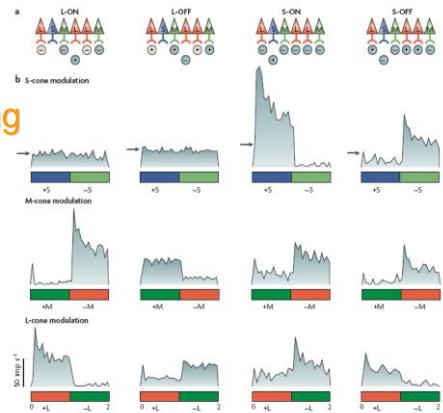


Ewald H. Hering 1834-1918

Teoria da visão a cores baseada em estímulos complementares

Ele não negava a existência dos três sensores, mas não aceitava que a explicação da visão a cores fosse essa

Hering



Muitos outros

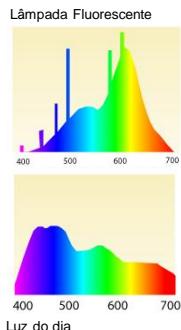
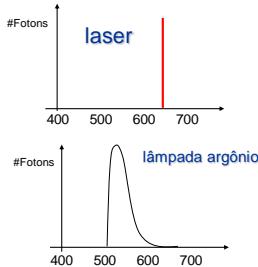
- Maxwell
- König
- Rayleigh
- Wright
- Einstein
- Land
- ...

Visão de cores

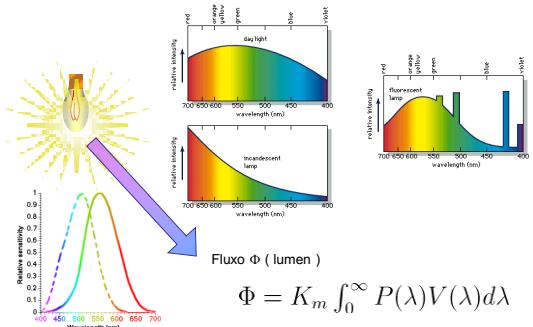
- O que é cor?
- Cor está mais para uma propriedade *psicológica* da nossa experiência visual, do que para uma propriedade *física* dos objetos, ou da luz
- É claro que a nossa sensação de cor é seja baseada nas propriedades físicas da luz, ou dos objetos
- Porém, a relação entre o estímulo físico e a percepção psicológica **não** é direta, nem simples

Fontes de luz

- Monocromática ou policromática



Unidades Fotométricas

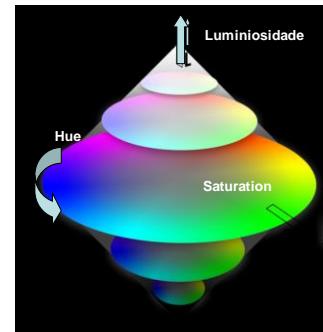


Espaço de cores

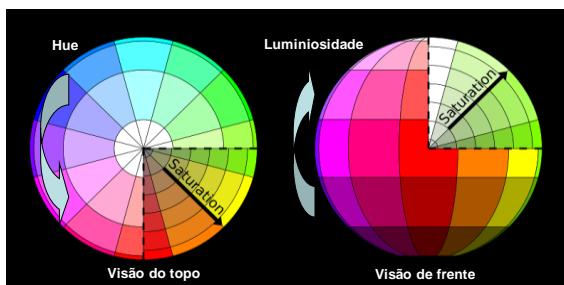
- A experiência subjetiva das cores tem estrutura diferente da luz física
- As cores, refletidas das superfícies, que o olho vê podem ser descritas em termos de três dimensões:
 - Hue
 - Saturação, ou chroma
 - Luminosidade, ou valor
- Essas quantidades, juntas, definem o chamado espaço de cores

Espaço de cores

- O conjunto de cores visíveis formam um sub-espaco do espaço de cores.



Espaço de cores de Munsell



Definições básicas

- Matiz (Hue)**: atributo de cor da percepção: azul, verde, amarelo, vermelho, ...
- Corresponde ao ângulo no espaço de cores
- Sua interpretação não é igual ao comprimento de onda, embora estejam relacionadas
- Saturação ou pureza**: o grau ou pureza da cor.
- Distância do eixo central
- Cores vivas estão distantes; os cinzas estão próximas do centro e as cores pasteis no meio

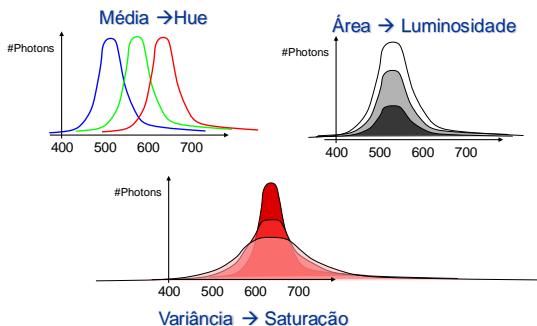
Definições básicas

- **Intensidade:** medida sobre um intervalo do espectro do fluxo que é irradiado de, ou incidente à, uma superfície (watts/m²)
- **Luminosidade/Brilho (CIE):** atributo da sensação visual que atribui mais ou menos luz sobre/de uma área
- No espaço de cores, corresponde à altura

Correspondência psicofísica

- Para superfícies que refletem segundo uma gaussiana
 - A média do comprimento de onda determina o hue
 - A área do espectro determina a luminosidade
 - A variância do espectro determina a saturação

Correspondência psicofísica

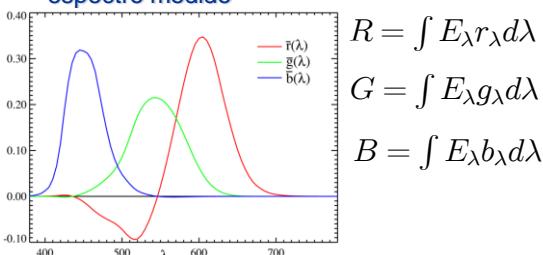


Colorimetria

- Estuda a comparação das cores
- Muito importante para a indústria de tintas, impressoras, máquinas fotográficas e afins
- Não se importa com a aparência da cor, mas com alguma medida objetiva sobre a cor

Colorimetria

- Modela o estímulo de acordo com o espectro medido

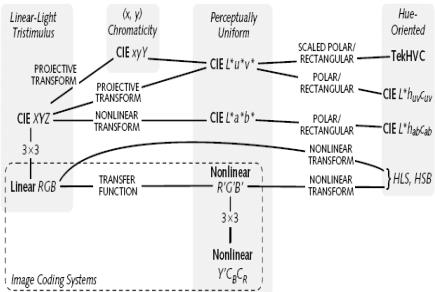


Commission Internationale de l'Éclairage - CIE



Cartógrafos tem diferentes mapas de projeção para expressar diferentes visões dos dados. Projeções que preservam área, mostram latitude e longitude como linhas retas e etc. Nenhuma visão preenche todas as necessidades

Commission Internationale de L'Éclairage - CIE



Codificação de imagens coloridas

- RGB linear
- RGB não-linear
- CMY não-linear
- CMYK não-linear
- $Y'CB_C_R$
-

Conversão: RGB → HSV

```

var_R = (R / 255)           //RGB values = 0 + 255
var_G = (G / 255)
var_B = (B / 255)

var_Min = min(var_R, var_G, var_B) //Min. value of RGB
var_Max = max(var_R, var_G, var_B) //Max. value of RGB
del_Max = var_Max - var_Min        //Delta RGB value
V = var_Max

if (del_Max == 0)               //This is a gray, no chroma...
{
    H = 0                      //HSV results = 0 + 1
    S = 0
}
else
{
    H = del_Max / var_Max      //Chromatic data...
    S = del_Max / var_Max
}

del_R = (((var_Max - var_R) / 6) + (del_Max / 2)) / del_Max
del_G = (((var_Max - var_G) / 6) + (del_Max / 2)) / del_Max
del_B = (((var_Max - var_B) / 6) + (del_Max / 2)) / del_Max

if ((var_R == var_Max) & (var_B == del_B))
else if (var_G == var_Max) H = (1 / 3) + del_R - del_B
else if (var_B == var_Max) H = (2 / 3) + del_G - del_B

if ((H < 0), H + 1
)
    
```

Conversão: RGB → YIQ

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Y = luma (intensidade, níveis de cinza)
I e Q codificam a cor

RGB → níveis de cinza

$$I = Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

- Bem definido (*luma*), usado em TV/video, próximo a resposta humana verdadeira

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

- Simples de calcular e envolve os 3 canais

$$I = G$$

- O mais simples e funciona para algumas aplicações

Sensores multiespectrais

Sensoriamento remoto:
Landsat, SPOT, CBERS

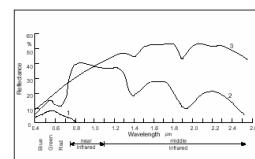


Figure 1. Example Reflectance Spectra for Water (curve 1), Vegetation (curve 2), and Soil (curve 3)(adapted from ¹)

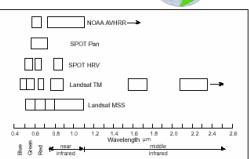


Figure 3. Positions of Spectral Bands for Common Multispectral Remote Sensing Satellites (adapted from ¹)

Bandas do Landsat (wavelength)

Band #	Wavelength Interval	Spectral Response
1	0.45-0.52 µm	Blue-Green
2	0.52-0.60 µm	Green
3	0.63-0.69 µm	Red
4	0.76-0.90 µm	Near IR
5	1.55-1.75 µm	Mid-IR
6	10.40-12.50 µm	Thermal IR
7	2.08-2.35 µm	Mid-IR

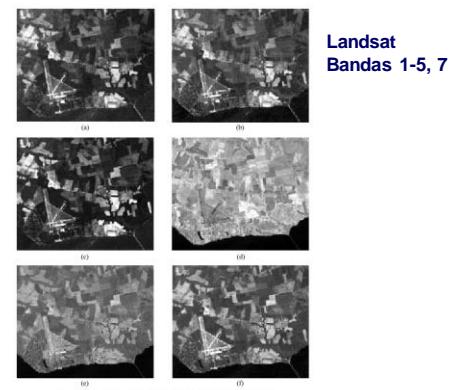
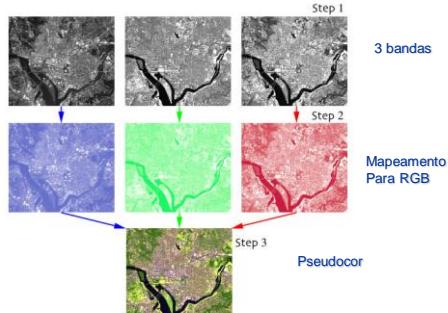
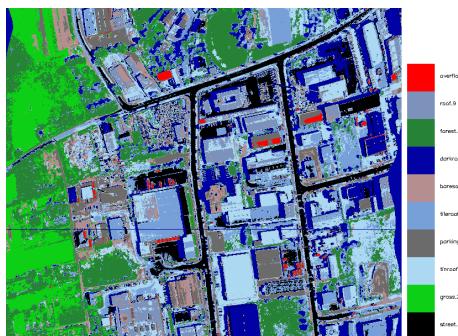


Figure 2. Landsat Thematic Mapper Image of the North Carolina Coast

Combinando as bandas



Classificação e pseudocor



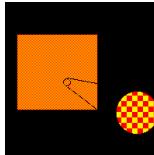
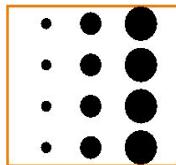
Processamento de Imagens Coloridas

Tarefas

- Processamento de ponto
 - Histograma
 - Threshold
 - Ruido
- Processamento de arestas
- Segmentacao de images coloridas

- Color matching
- Color dithering

Color dithering



Em impressão, usa-se geralmente, tamanho do ponto

Em visualização, mistura de pontos

Dithering



Original full-color photograph

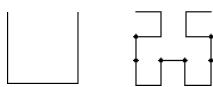


Dithered to 256 colors



Dithering - algoritmos

- Aleatório
- Curva de Hilbert



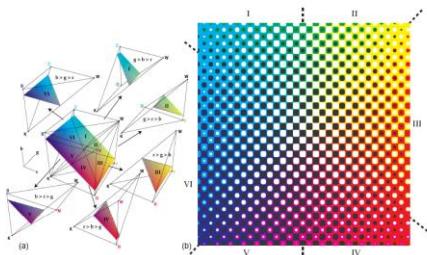
$$\begin{aligned} \square &\Rightarrow \square \downarrow \square \rightarrow \square \uparrow \square \\ \square &\Rightarrow \square \rightarrow \square \downarrow \square \leftarrow \square \\ \square &\Rightarrow \square \uparrow \square \leftarrow \square \downarrow \square \\ \square &\Rightarrow \square \leftarrow \square \uparrow \square \rightarrow \square \end{aligned}$$

Dithering multicor

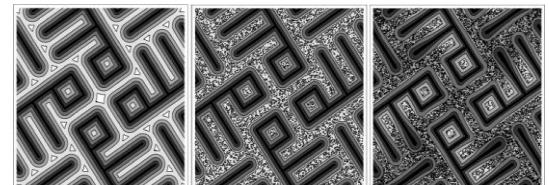
Multi-Color and Artistic Dithering

*Victor Ostromoukhov, Roger D. Hersch
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland
{victor, hersch}@di.epfl.ch*

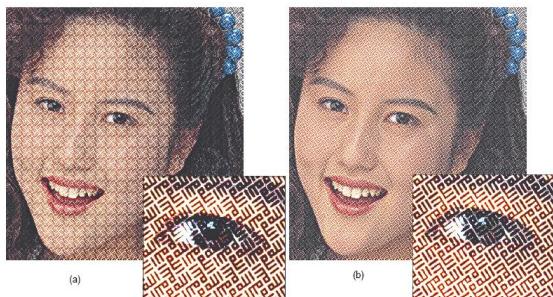
Dithering multicor



Dithering multicor



Dithering multicor



Dithering com ImageMagic

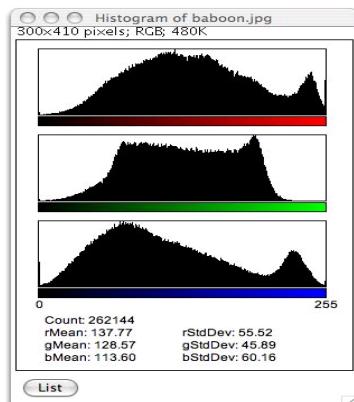
- [IM v6 Examples -- Color Quantization.htm](#)

Histograma de cor

- Solução trivial:
 - cria-se uma matrix $256 \times 256 \times 256$ (24bits)
 - conta-se o número de ocorrências em cada célula
- Problemas:
 - A matriz é esparsa
 - Gasta-se $256^3 \times 2$ bytes = 2^{25} = 32Mb
 - Fazer processamentos nessa matriz não é trivial

Histograma de cor

- Possível solução:
 - Remove-se os 3 bits menos significativos
 - Mas isso equivale a uma pré-quantização
 - Só funciona direito em RGB
 - Usa-se uma hash-table para armazenar as diferentes cores da imagem
 - Faz-se um histograma para cada canal



Histogramas usando imageJ

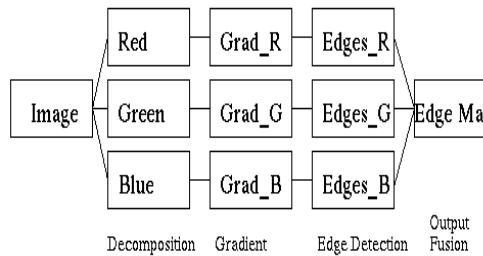
Categorização de cor

- [color-cat.pdf](#)

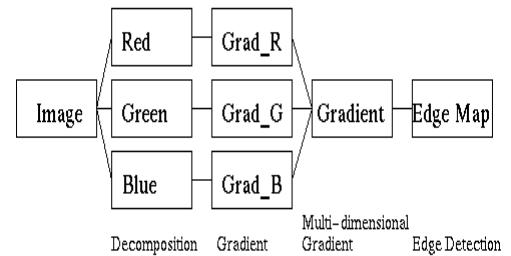
Detecção de bordas

- Há basicamente 3 métodos importantes
 - Método da fusão
 - Método multi-dimensional
 - Métodos vetoriais

Detecção de bordas - Fusão



Multidimensional

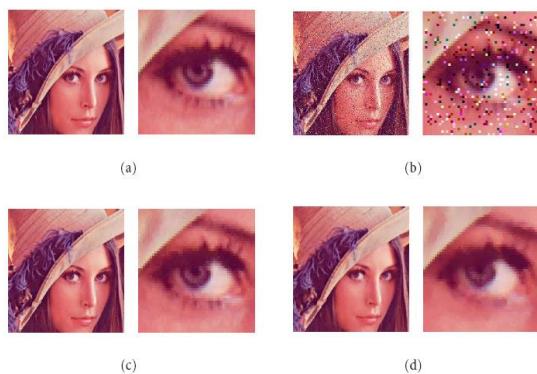


Vetorial

- Classificação de pontos baseada em análise estatística
 - PCA
 - Clustering
 - ...

Remoção de ruído

- O mesmo quadro da detecção de bordas se aplica



"It's evolution. Women are not color blind because they need it for shopping."