

Tema 8

Modelo de Sombreamento ou de Iluminação

Aulas 22 02 2021 a 02 03 2021

UFF - 2021



<http://computacaografica.ic.uff.br/conteudocap7.html>

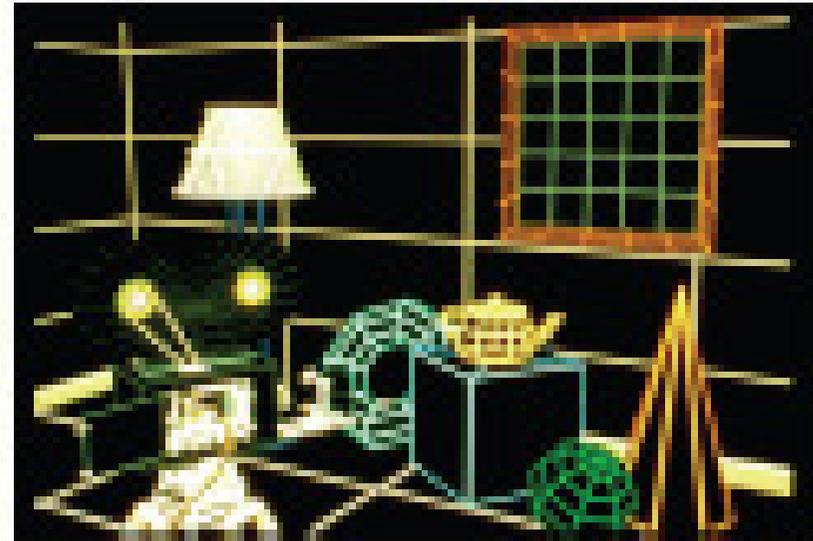
cap 7 - livro texto versão antiga,

Cap 5 - versão 2018.

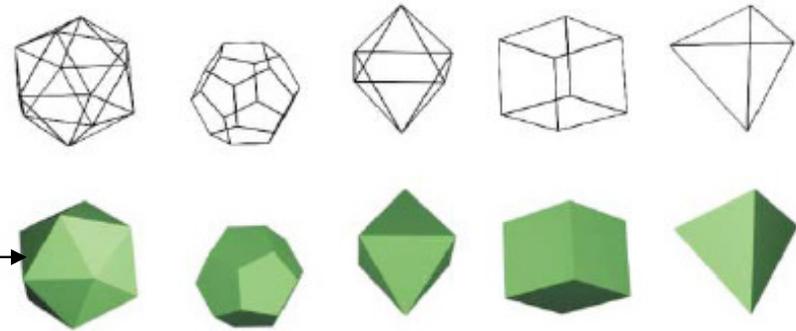
Objetivo

Melhorar o realismo e colorir adequadamente os objetos criados

(tempo processamento
x
perfeição física da cena)



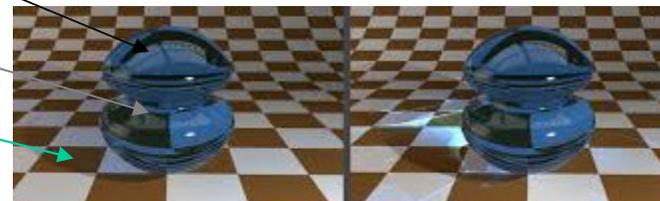
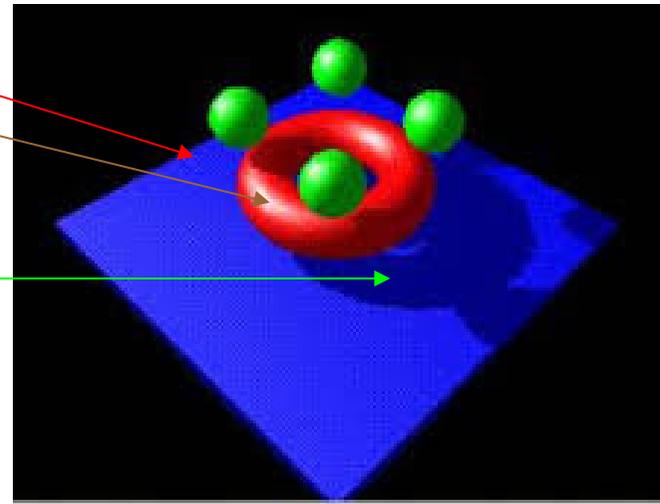
Nível adequado do realismo



Sombreamento das diversas superfícies ou *Shading* :
reflexão difusa,
reflexão especular

Demais níveis de detalhes:

Sombras (*shadows*)
Transparências,
Refração,
Texturas,
Reflexão



Um *modelo de Sombreamento (Shading) ou Iluminação*

é a forma utilizada para **calcular a intensidade** de cor (*Shading*) observada em um ponto na superfície de um objeto.

Modelos :

Empíricos x Físicos

Locais x Globais

Sombreamento das diversas superfícies

Shading :

Shading se refere ao processo de alterar ou não a color do objeto/superfícies/polígonos numa cena 3D, baseado em um modelo de iluminação para o criar um efeito realístico.

Modelos mais comuns:

Flat Shading ou *Constant Shading*,

Shading variável em função da intensidade,

Shading variável em função da normais,

Shading considerando funções de reflexão bidirecionais (BRDF),

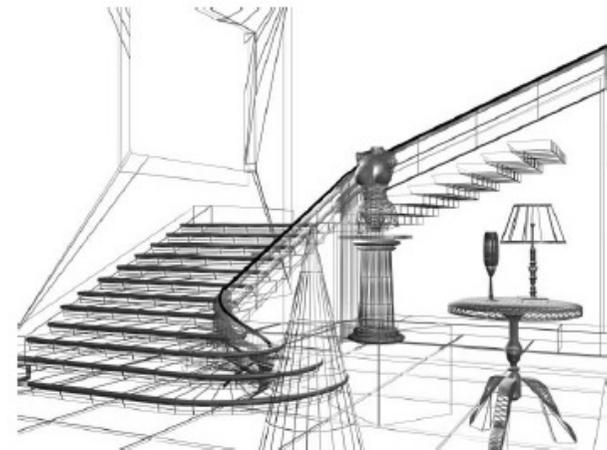
Shading baseado em ray tracing,

Shading descrito por radiosidade.

Modelo de iluminação: empírico e local.

Quando se *renderiza* um objeto onde o **tom de um ponto** é determinado por:

- A descrição das fontes de luz disponíveis
- As superfícies dos objetos da cena
- A posição relativa entre as fontes de luz e as superfícies dos objetos



Descrição das fontes de luz disponíveis

Deve incluir detalhes como:

- Onde estão localizadas nas coordenadas da cena (em 3D da cena inteira)
- Intensidade, cor, número
- Tipo:

Ambiente – uniformemente distribuída em todas as direções da cena

Direcional, Pontuais ou

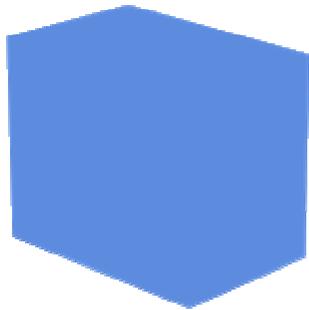
Com áreas de dimensões definidas

Shading com luz ambiente

Intensidade constante, cor constante → afeta igualmente todas as faces e objetos da cena:

Difusa e non-directional lighting

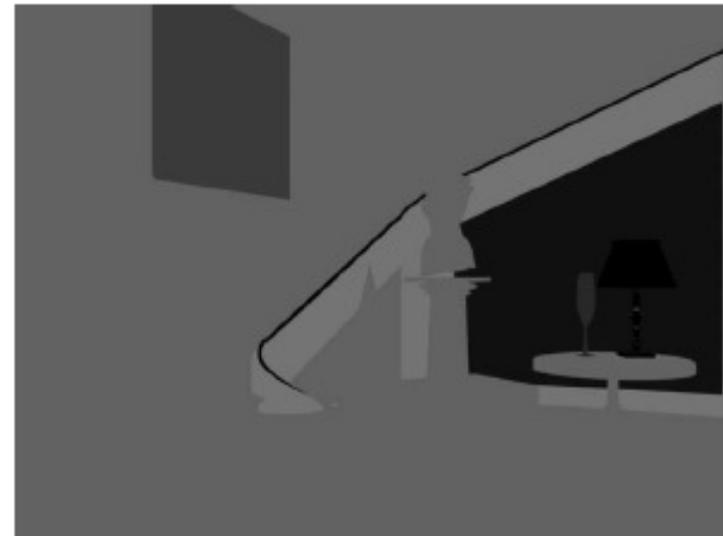
Se I = intensidade da luz no ponto em estudo, I_a = intensidade da luz **ambiente** no ponto em estudo, r_a = coeficiente de reflexão entre 0 e 1



$$I = I_a r_a$$

Paralelepípedo e cena sob luz ambiente

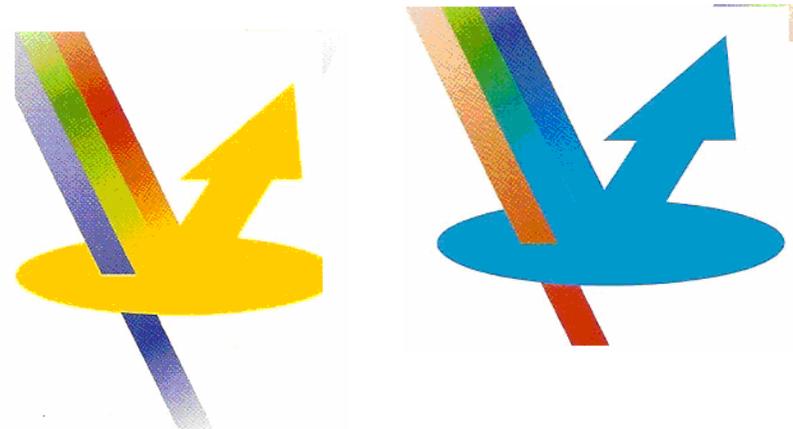
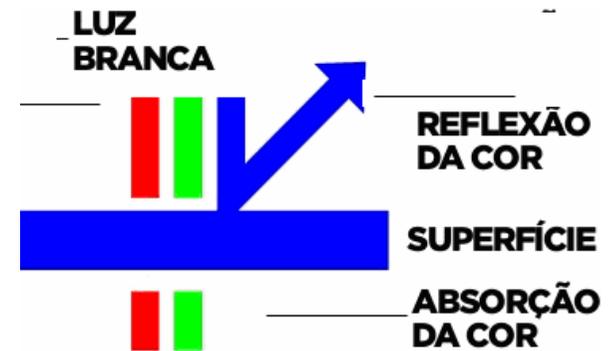
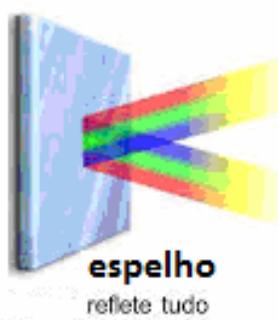
-



la e ra ?

Os elementos I_a , r_a devem levar em conta como se dá a Subtração de energia no espaço de cores que se está usando no momento para representar as superfícies dos objetos. Por exemplo se for direto o RGB deve precisar conseguir fazer meio tons de uma cor especifica utilizando cada um deles 3 componentes: R,G, B de modo que na realidade serão:

$I_aR, I_aG, I_aB, \quad r_aR, r_aG, r_aB$





Cores aditiva obtidas pela combinação de luzes RGB

Todos sabem que o número de tons de cada cor primária, RGB, que se pode representar (ou níveis desta cor), depende de quantos bits são alocados na matriz de imagem para armazenar o tom de cada canal de cor do vídeo.

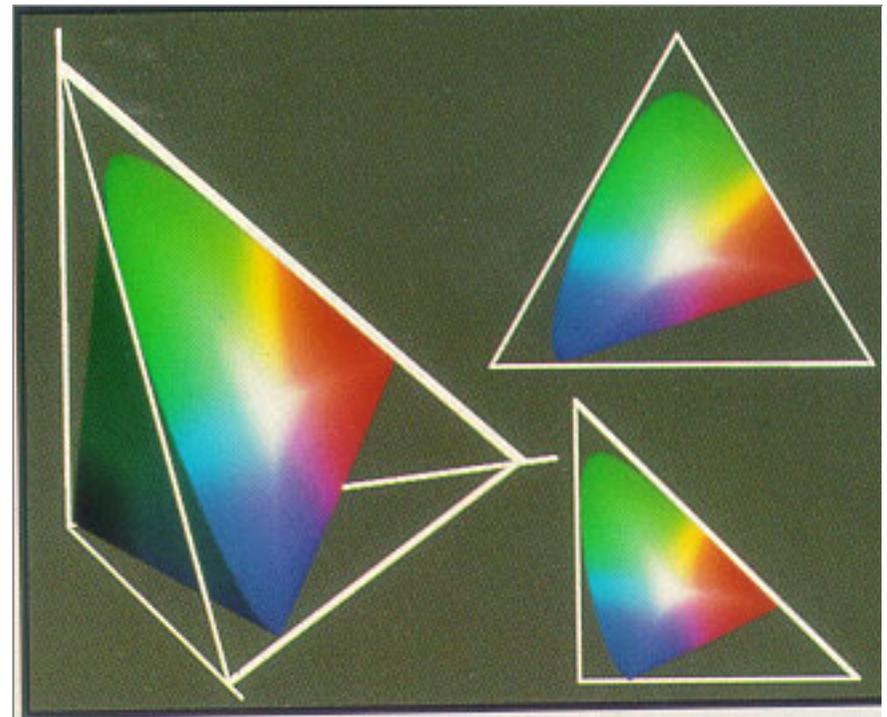
		Tons	Números de Bits
2^1	2 valores	0,1	1
2^3	8 valores	0 a 7	3
2^4	16 valores	0 a 15	4
2^8	256 valores	0 a 255	8

Multiplicando os 3 canais se tem o numero de variações de cores do vídeo.
 Por exemplo $256 \times 256 \times 256 = 16\ 777\ 216$
 (16 milhões 777 mil e 216 cores o que é chamado de “true colors”).

Mas existem diversas combinações

Que por mais que tenhamos subtons de uma cor primaria não podemos combinar com as aditivas visíveis do RGB

Precisaríamos das XYZ
(que não são cores
Visíveis)
Mas isso é outra parte
desta “historia” ...



No video Shading é feito com variações adequada das cores primarias !

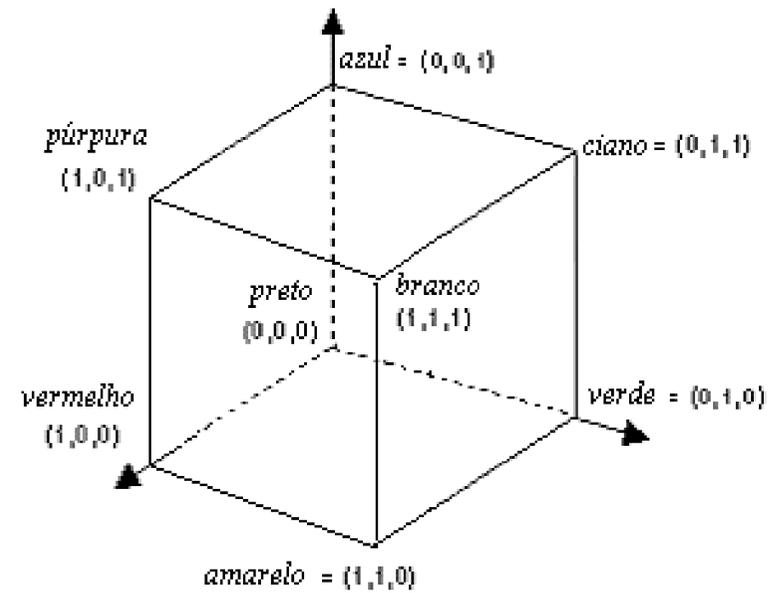
Uma coisa é calcular o nível correto de cada cor primaria.

Outra coisa é representar o nível adequadamente.

Para ficar independente das variações possíveis (do hardware e do armazenamento), vamos só pensar na matemática da coisa.

Vamos normalizar para valores reais entre 0 e 1

Preto? Branco?
Magenta? Ciano?

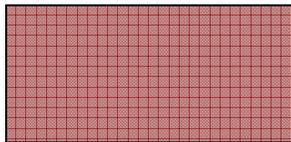


A intensidade de luz **máxima normalizada** de um ponto do vídeo seria ele estar na Cor Branca= (1,1,1)

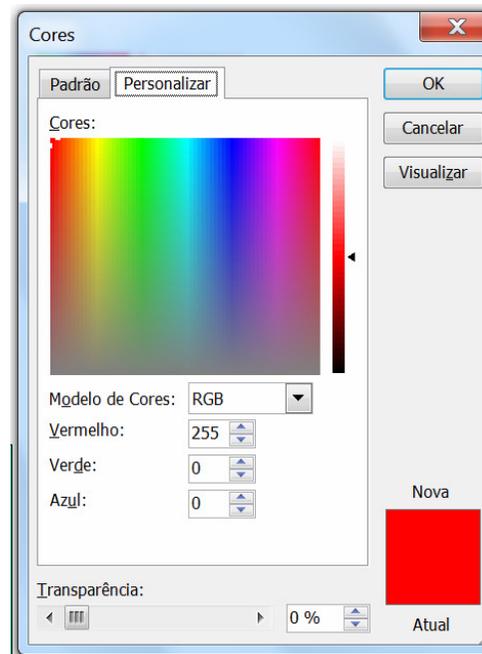
Se cada cor com 1 byte:
Branco= (255,255,255)



Vermelho mais intenso
=(1 , 0 , 0)



Vermelho menos intenso
=(0.5 , 0 , 0)



Vermelho máximo:
= (255,0,0)

Vermelho 50% :=
(127,0,0)

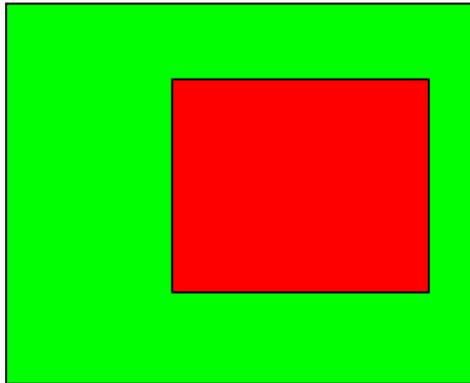
**No RGB = sistemas de cores aditivos -> 3 cores
Combinadas ao Maximo = BRANCO !**

Shading é feito com variações do tom da cor !

sistemas de cores aditivos – 2 cores combinadas

RGB = 3 cores primarias:

vermelho,
verde e
azul.



vermelho=(1 , 0 , 0)

verde = (0, 0,5 , 0)

cinza = (0,5, 0,5 , 0,5),

vermelho=(0,5, 0 , 0),

cinza = (0,5, 0,5 , 0,5),

Com porcentagens de branco ,

Tons de vermelho mais claro ou rosa !

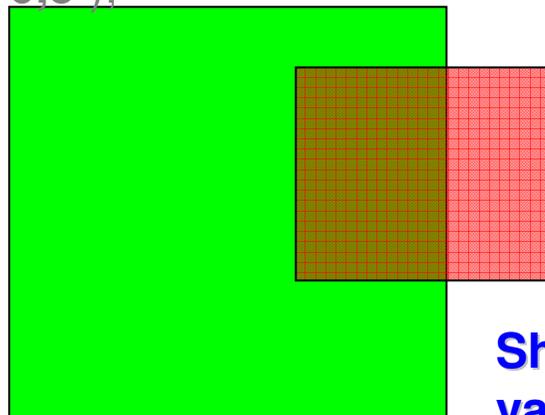
vermelho=(1 , 0 , 0),

Com porcentagens de verde,

verde = (0, 0,5 , 0)

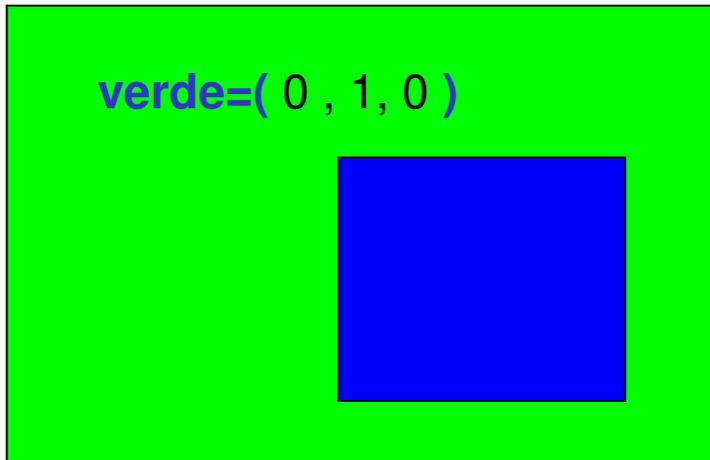
Tons de amarelos ou marrons

marron = (1, 0,5 , 0)

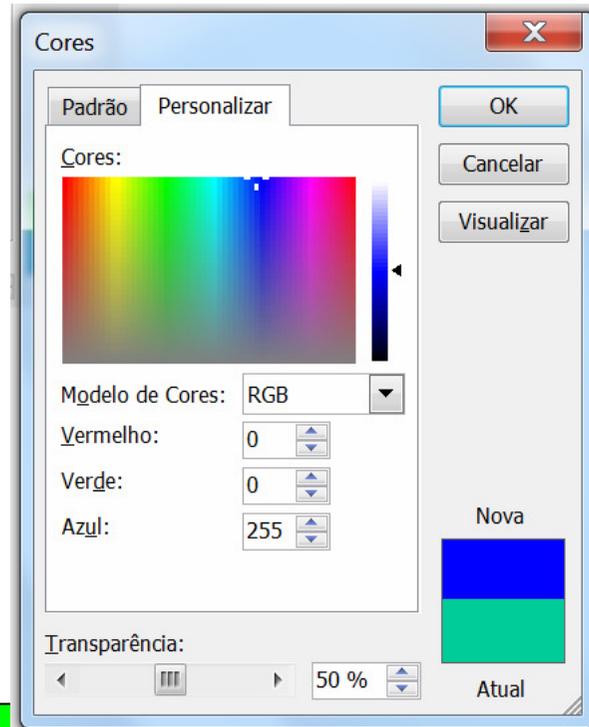


rosa=(1 , 0.5 , 0,5),

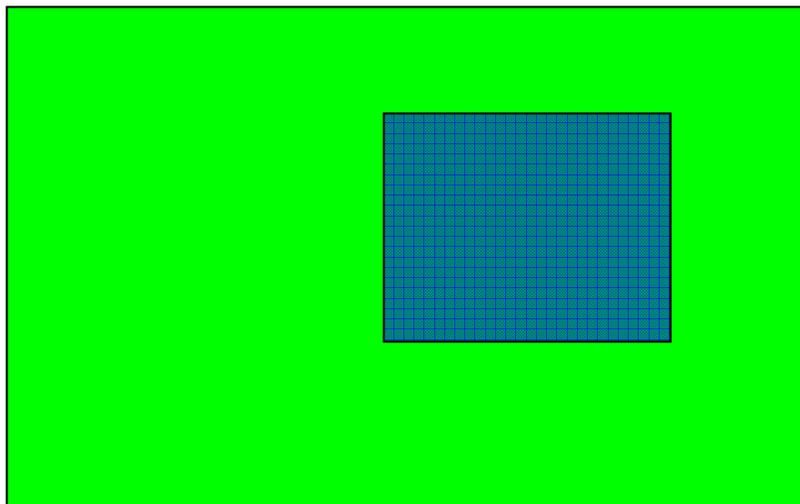
Shading é feito com variações da cor somando cinza Ou alterando a intensidade!



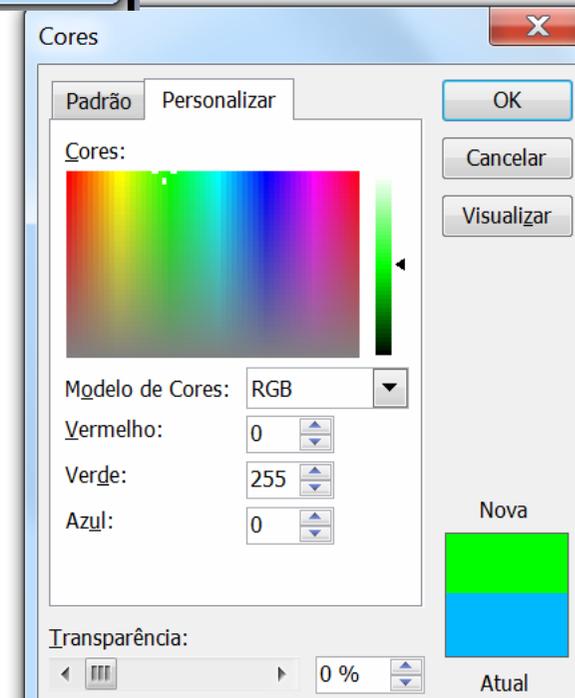
azul=(0 , 0 , 1)

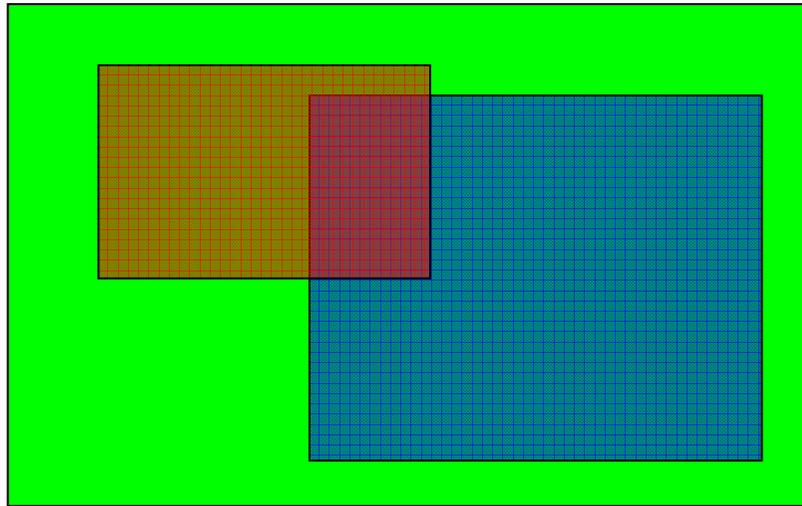


Shading é feito com variações da cor !



azul=(0 , 1, 0.5) combinado com o verde





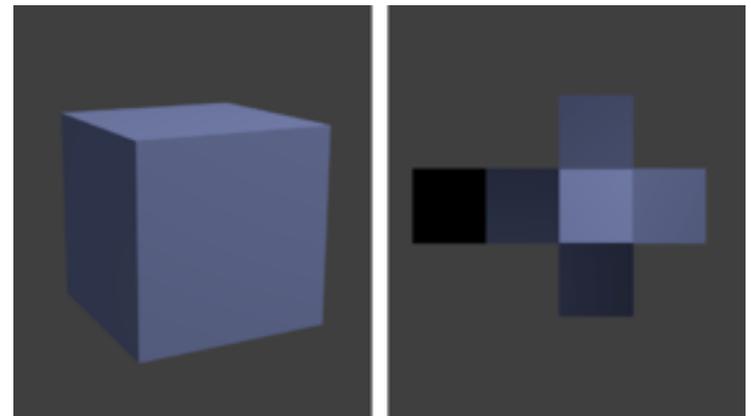
Combinando com o branco ou com o preto se tem os diversos tons dos superfícies das faces de um objeto),

Vermelho mais escuro : (127, 0 , 0)

Idem para o Verde (0 , 1 , 0) em porcentagem ou na forma de 1 byte por canal de cor = (0, 255,0)

E para o azul

Com essas combinações nos sistemas de cores aditivos se tem o shading dos objetos !!!



Como funciona a visão?

A luz **emitida** ou **refletida** chega em seus olhos, a **córnea** a **refrata**, ela penetra pela **pupila**, sendo **focada pelo cristalino** (lentes) na segunda parte do olho, e encontra a **retina**.

Onde células fotossensíveis **iniciam** sua transformação em **sinais elétricos** que a transformam em visão.

Teoria de Young

Young, no século XIX, mostrou experimentalmente que a retina tem **3 tipos distintos de foto pigmentos**, sensíveis às 3 cores primarias: **vermelho**, **verde** e o **azul**.

Ele concluiu ainda que esta decomposição da luz em 3 cores não é uma característica da luz, mas sim uma característica do sistema visual humano

Padronizando os Sistema de Cores

- Os fotos receptores cones dos olhos humanos tem picos de sensibilidade as ondas **curtas** (S: 420–440 nm), **médias** (M: 530–540 nm), e **longas** (L: 560–580 nm).
- Assim em principio 3 parâmetros são suficientes para descrever a sensação de cor humana.
- Essas são as consideradas cores primárias de um modelo aditivo de cor
- As mais usadas destas são as definidas pela **Commission internationale de l'éclairage** - CIE 1931 e denominadas X, Y e Z.
- O CIE XYZ, é um dos muitos espaços de cores aditivos e serve como base para a definição de cores de forma padronizada
- Site oficial: <http://cie.co.at/>

Modelos de cor

RGB

- Base de primárias do sistema:
 - $R(\lambda)$ luz vermelho com comprimento de onda de 700 nm
 - $G(\lambda)$ luz verde com comprimento de onda de 546 nm
 - $B(\lambda)$ luz azul com comprimento de onda de 435.8 nm

Shading é feito com variações adequada em HSV

Elementos que descrevem a cor mais próximos a **intuição humana**:

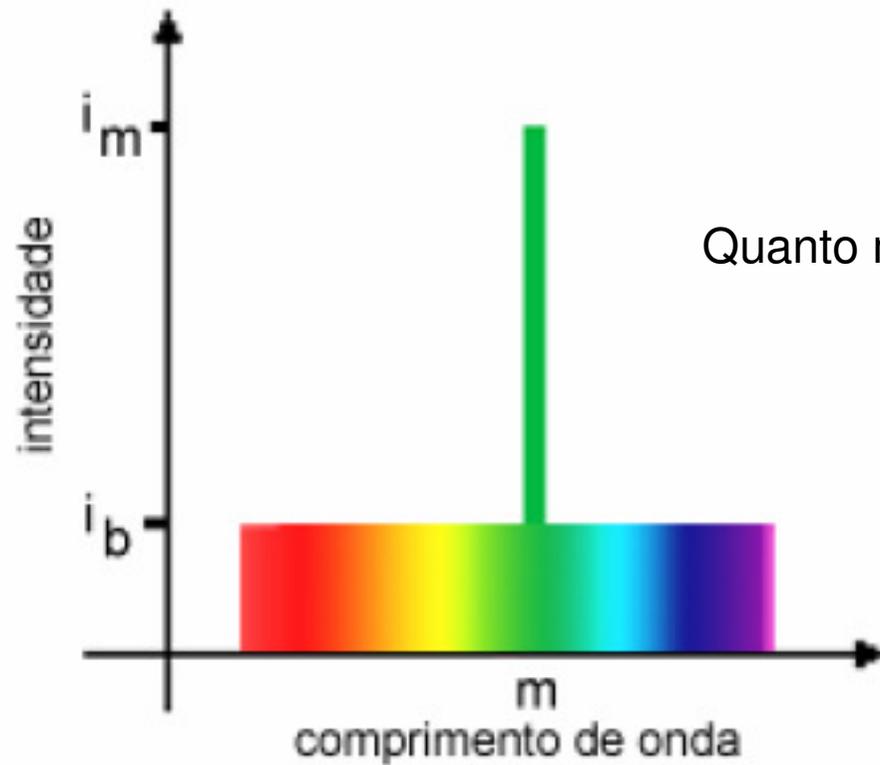
- matiz;
- saturação;
- intensidade.



Variações no matiz, saturação e intensidade.

Shading é feito com variações adequada de Matiz (Hue), Saturação

Intensidade = energia luminosa



Quanto menos i_b mais o matiz está saturado

Quanto maior a relação i_m / i_b
mais o matiz está saturado

**Modelos mais próximos a dispositivos ou
hardwares**

2 cores e Intensidade (transmissão TV) : YIQ

3 luzes primárias (aditivos) : por exemplo RGB

3 tintas primárias (subtrativos) : por exemplo
CYM

X

**Modelos mais próximos a efeitos e percepção
por exemplo HSV , Lab, etc**

Espaços de Cores

Para que a quantificação seja possível, é e necessário um domínio para se trabalhar com a cor, ou seja, um **espaço de cores**.

Este deve ter as seguintes propriedades:

Capacidade de representar a **maior quantidade** de cores possíveis.

Possuir **uma base** (com o menor número de cores possíveis) capaz de gerar todo o espaço.

Considerar ao máximo as **características fisiológicas** do sistema ótico e subjetivas do sistema perceptivo.

O espaço de cor *RGB*

$$C = r \mathbf{R} + g \mathbf{G} + b \mathbf{B}$$

onde \mathbf{R} , \mathbf{G} e \mathbf{B} são as cores primarias e r , g e b os coeficientes da mistura

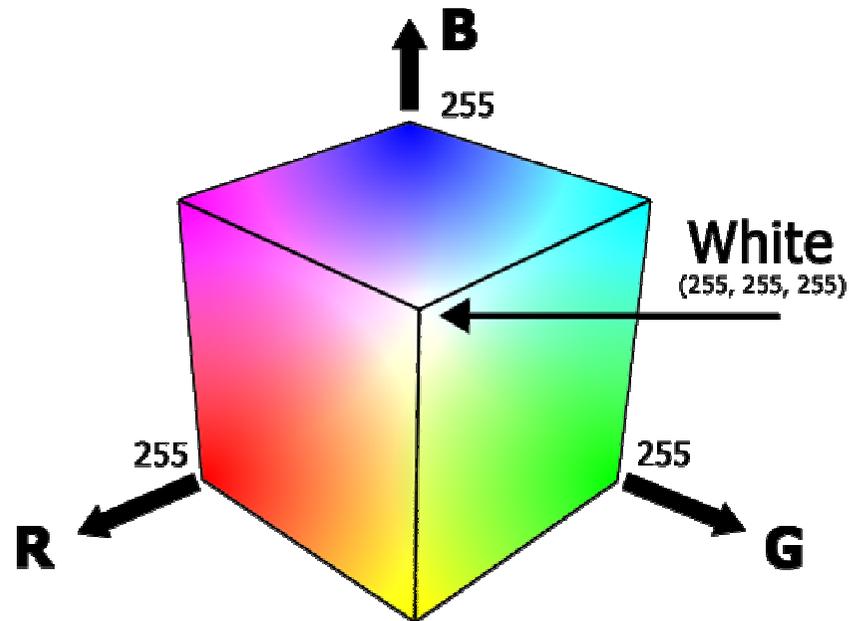
Em geral define-se em três como o número de cores primarias em um espaço, devido ao fato do olho humano possuírem **três tipos de fotorreceptores**.

Nem todos os espaços de cor possuem uma **base com cores primárias**, nos espaços de cores *HSV* e *HSL* não existe um grupo de cores primarias.

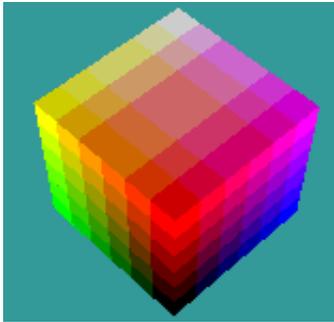
Mesmo em um espaço com uma base, nem sempre essa base será formada por **comprimentos de onda visíveis**.

Por exemplo no espaço de cor XYZ, os 3 comprimentos de onda primários **X, Y e Z que formam a base não são visíveis**, mas podem ser usados para produzir **todas as outras cores visíveis**

VISUALIZAÇÃO contínua



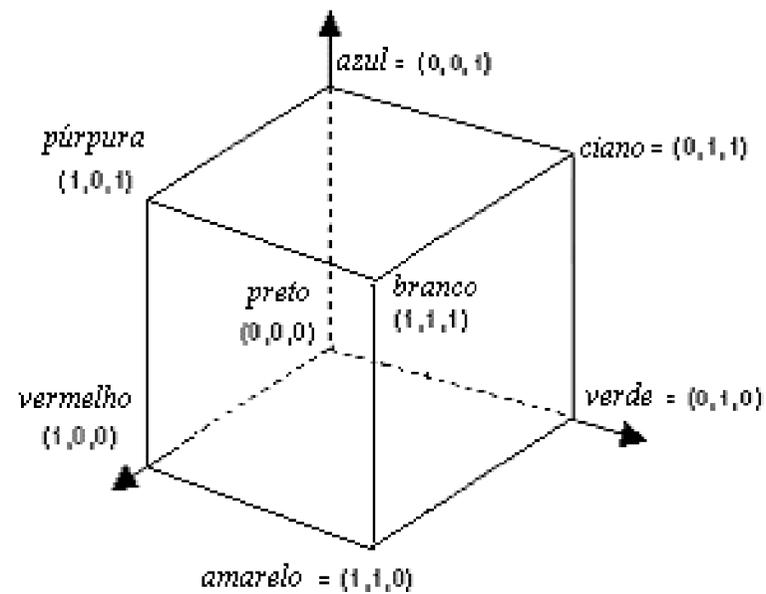
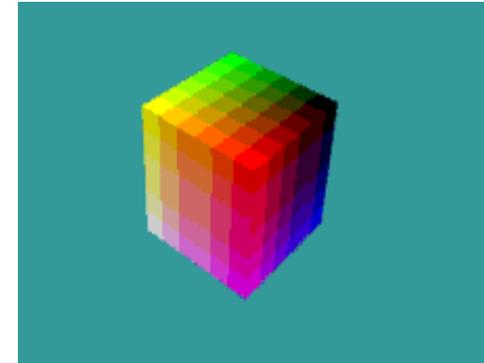
RGB: visualização pelo formato de um cubo, onde não existem posições negativas, e estas variam de 0 até 255 para cada cor primária (R,G ou B).



Modelos de cor

Sistema RGB

Normalizado entre 0 e 1

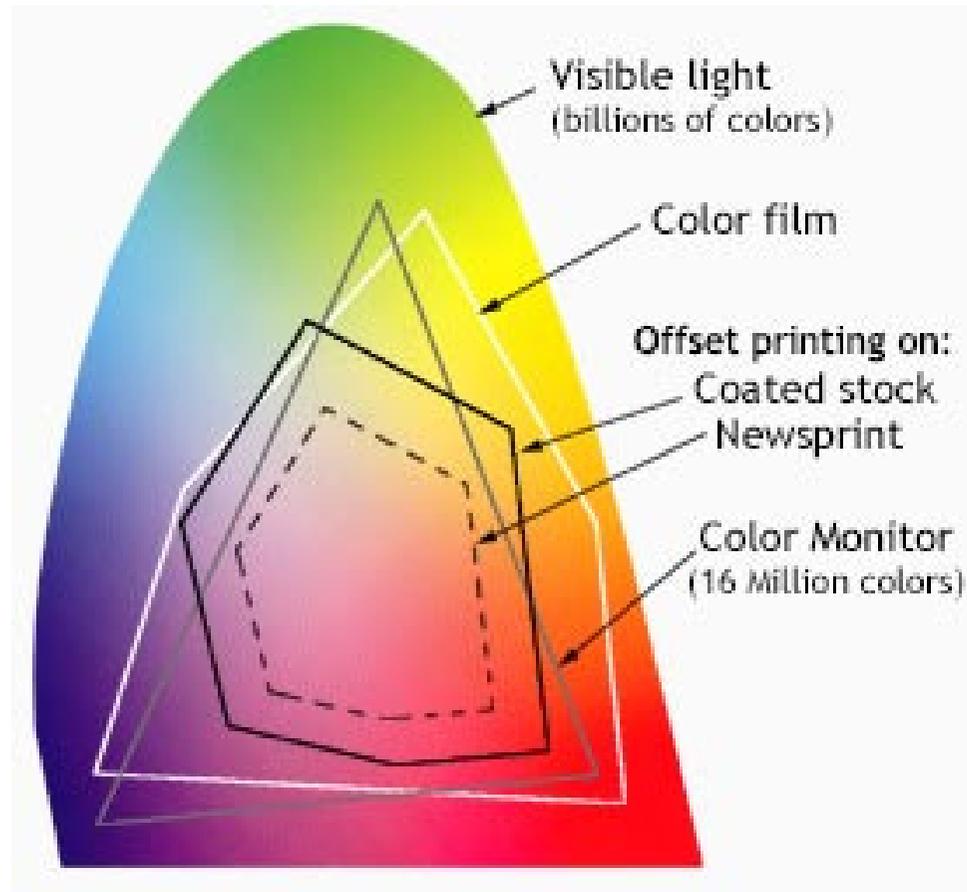


Sólidos de cores visíveis

- Devido aos 3 tipos de sensores de cores a resposta a diferentes amplitudes de comprimentos de onda que representam todas as cores visíveis é uma figura 3D.
- Mas o conceito de uma cor pode ser descrito em 2 partes sua **intensidade luminosa ou energia** (brightness) e a **cor** (chromaticity).

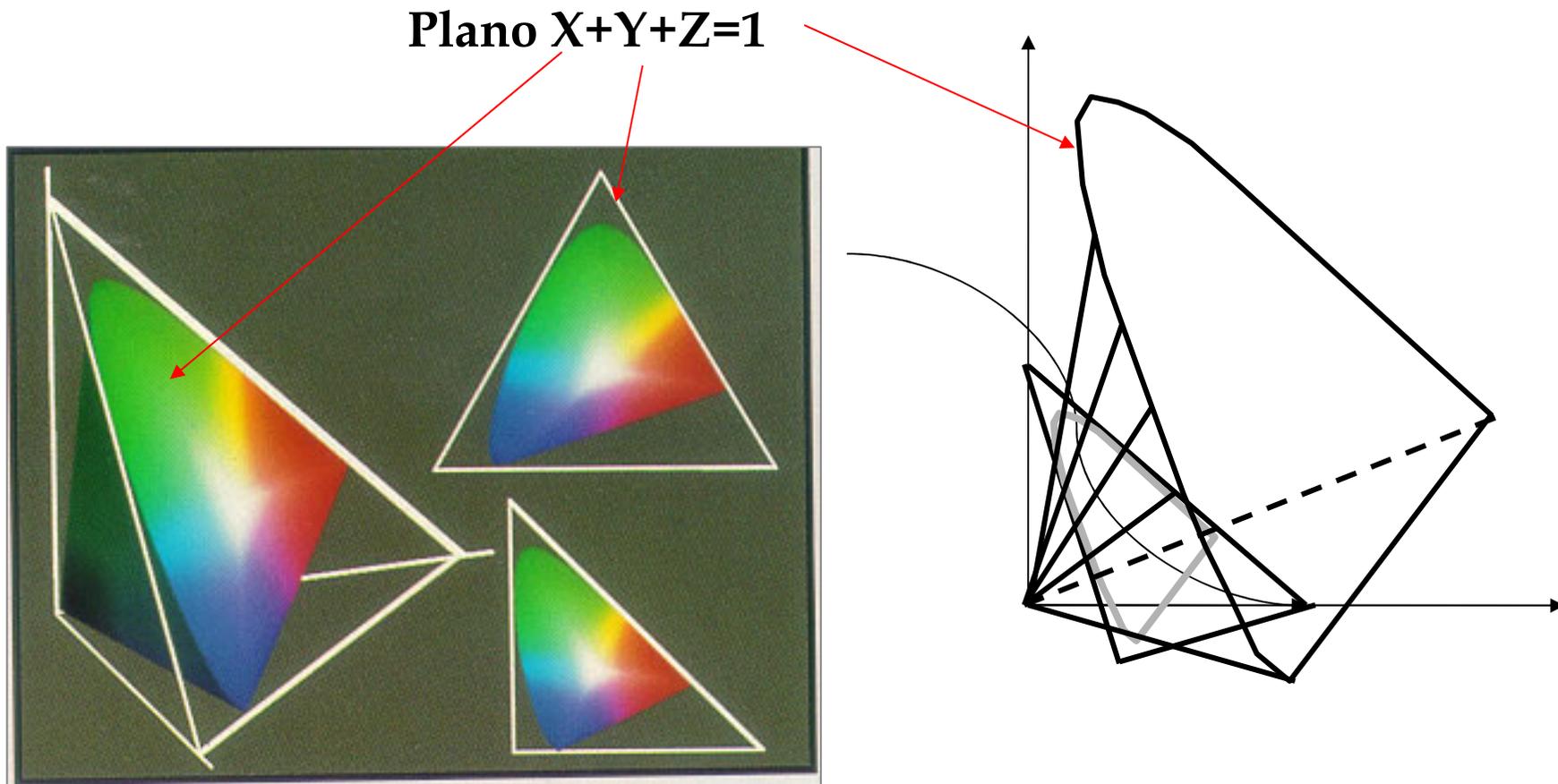
Porque fisicamente os dispositivos são limitados quanto as cores

**Separando a intensidade
intensidade luminosa
Da cromacidade,
pode-se ter um plano
de cores**



Modelos de cor

Sólidos de cores visíveis e diagramas de cromaticidade

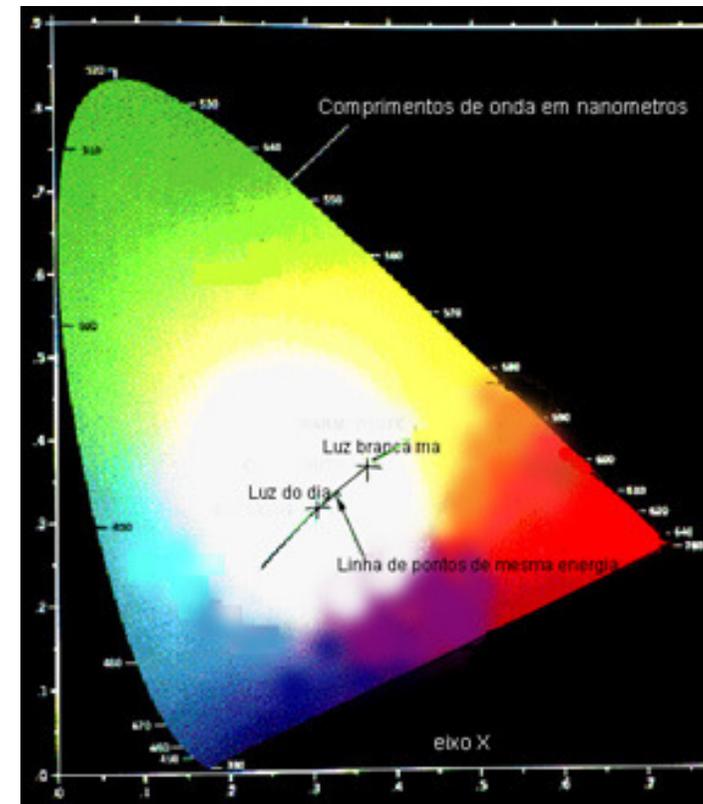
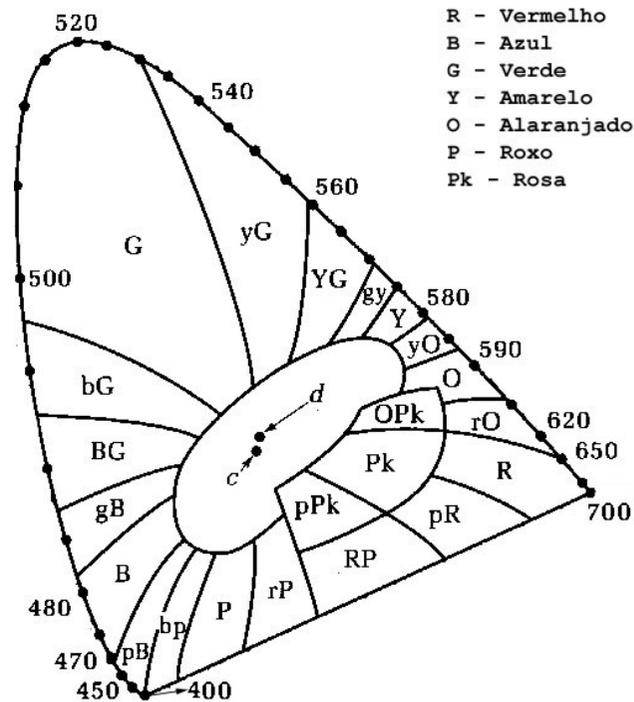


A cromacidade define a cor em si

- A intensidade diz o quanto ela é intensa.
- Por exemplo uma **cor branca** e um **cinza**, no fundo tem a mesma combinação de cores primárias, mas o branco é muito mais intenso que o cinza.
- Assim é possível descrever a cor em 2D e surgem os **diagramas de cromacidade**

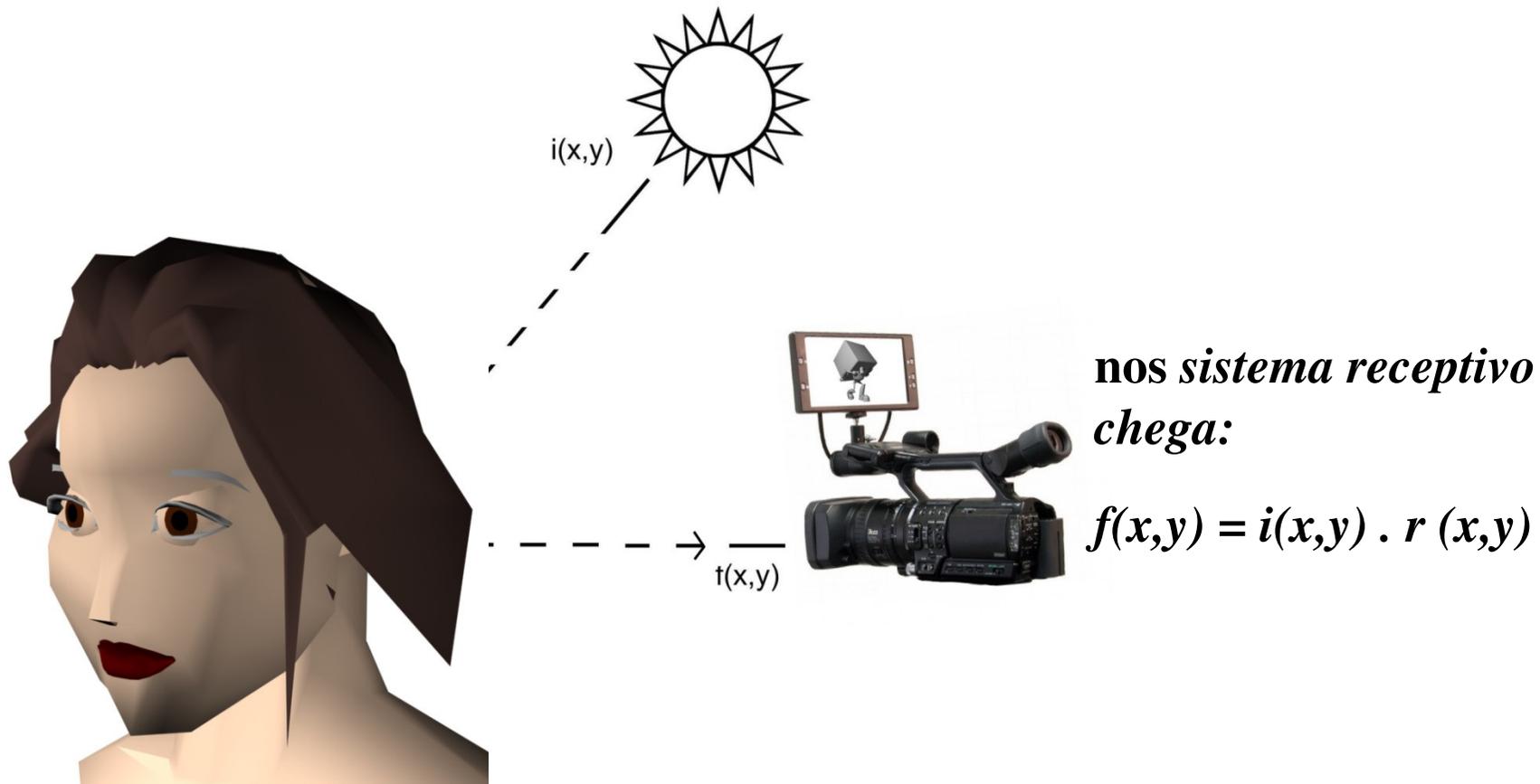
Shading é feito com variações adequada de matiz, intensidade e saturação

- Diagrama de Cromacidade CIE : **matiz e saturação**



Cores visíveis

Imagens de objeto **eminentes** ou **iluminados**



Representação da cor

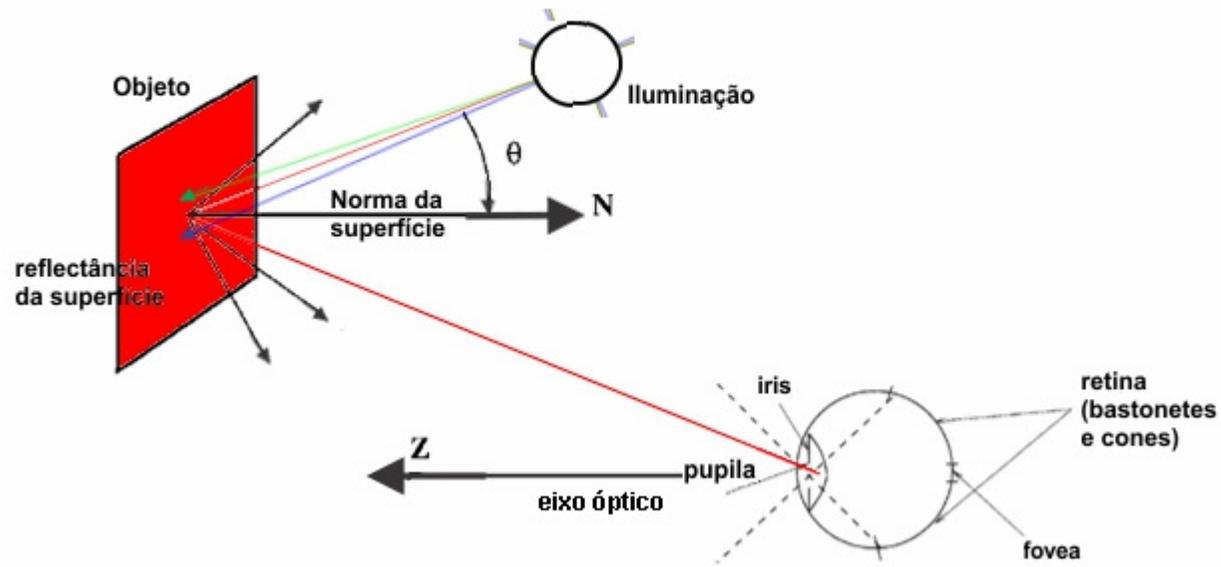
- **Objetos Refletivos** - não emitem energia luminosa, utilizam de luz proveniente de uma outra fonte e a REFLETEM produzindo a informação de cor (modelo de cor subtrativo) .
- **Emissivos** - são fontes de energia radiante que produzem diretamente a informação de cor (modelo de cor aditivo) .

Nos sistemas subtrativos

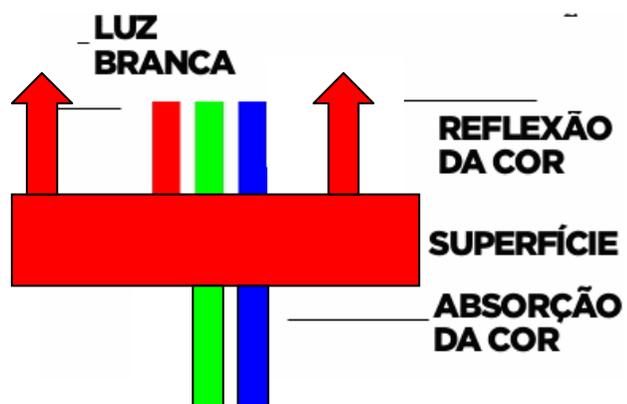
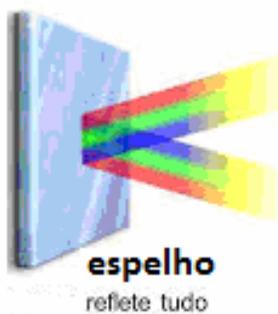
Ou na renderização de cenas há outro elemento muito importante:

A luz que ilumina os objetos e a CENA

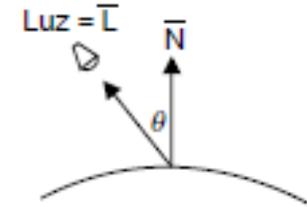
Subtração de energia



Subtração de energia



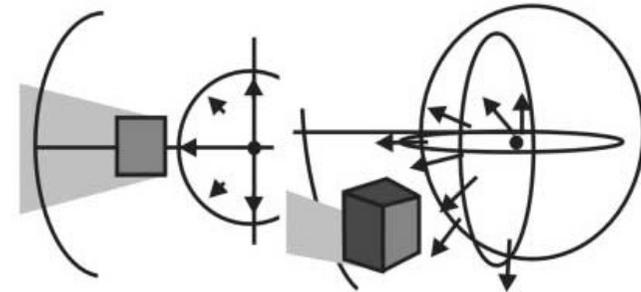
Luz direcional (longe do objeto)



A luz é distribuída a partir de um ponto igualmente em todas as direções.

Pode deixar as superfícies e as sombras com os limites muito intensos

$$I = I_a r_a + I_d r_d \cos \theta$$



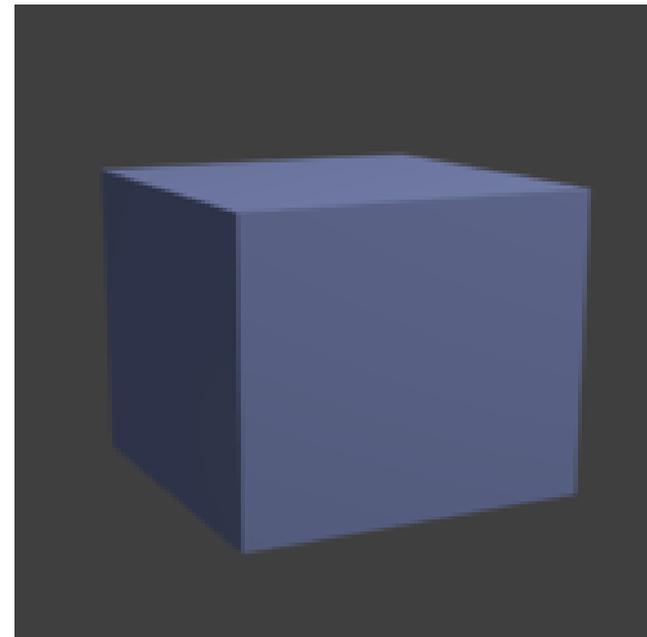
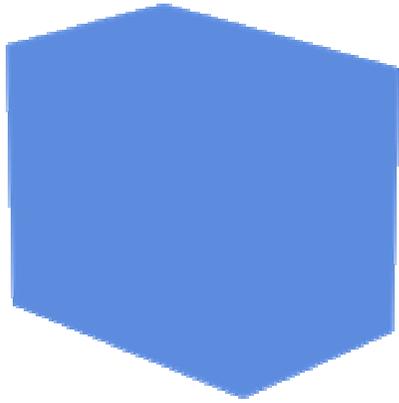
Boa aproximação quando:

- 1) A fonte está suficientemente distante da cena.
- 2) A fonte tem dimensões pequenas comparadas aos demais objetos.

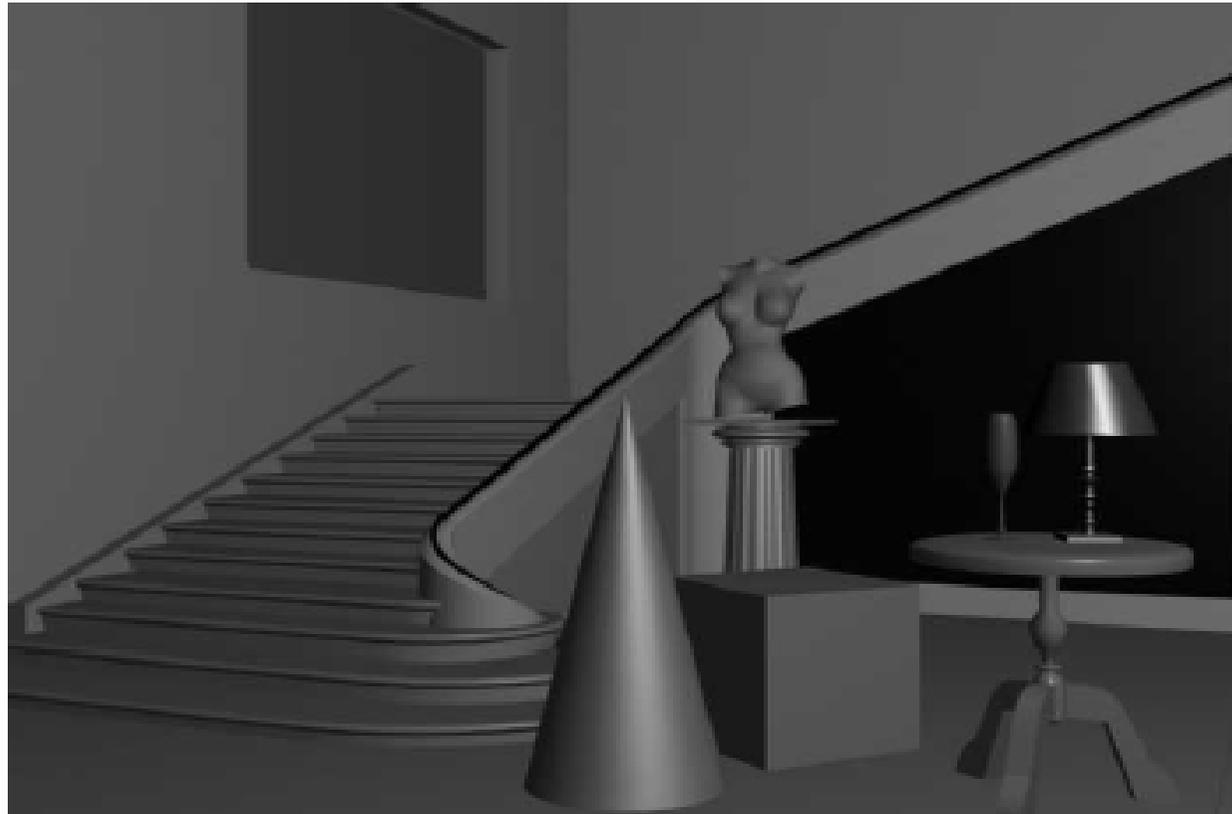
Caso o ângulo varie ponto a ponto:

$$I = I_d r_d (\overline{u_e \cdot u_n})$$

Ambiente x direccional

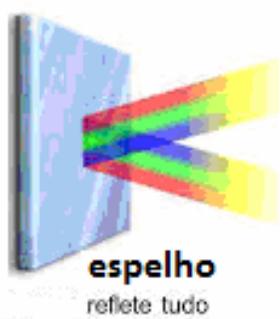


Luz direccional (possível distinguir faces dos objetos)

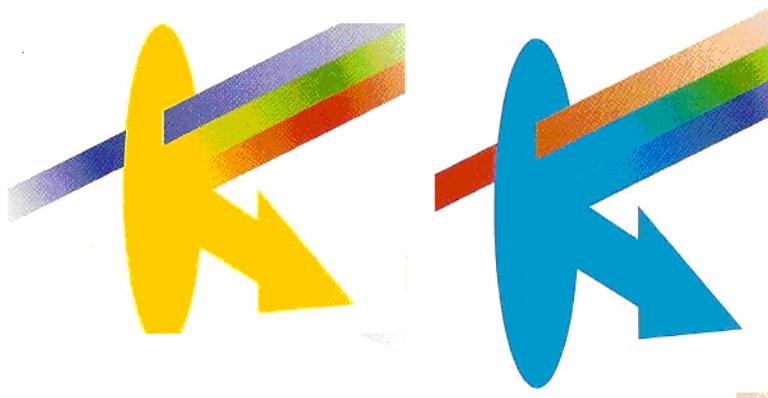
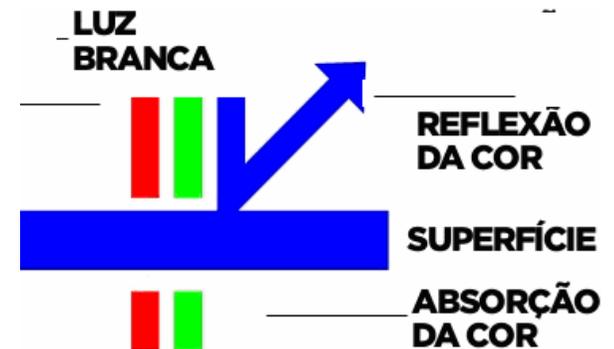


Os elementos I_a , I_d , r_a e r_d devem levar em conta como se dá a Subtração de energia no espaço de cores que se esta usando no momento para representar as superfícies dos objetos. Por exemplo se for direto o RGB deve precisar conseguir fazer meio tons de uma cor especifica utilizando cada um deles 3 componentes: R,G, B de modo que na realidade serão:

I_{aR} , I_{aG} , I_{aB} , I_{dR} , I_{dG} , I_{dB} , r_{aR} , r_{aG} , r_{aB} e r_{dR} , r_{dG} e r_{dB}



I_a , I_d , r_a , r_d !



tons de cores primarias e secundarias são, Faceis Mas quando envolve variações das 3 Pode resultar muito trabalho e o melhor é usar espaços de cores que separam Os matizes dos demais elementos: HSV !

O espaço de cor HSV

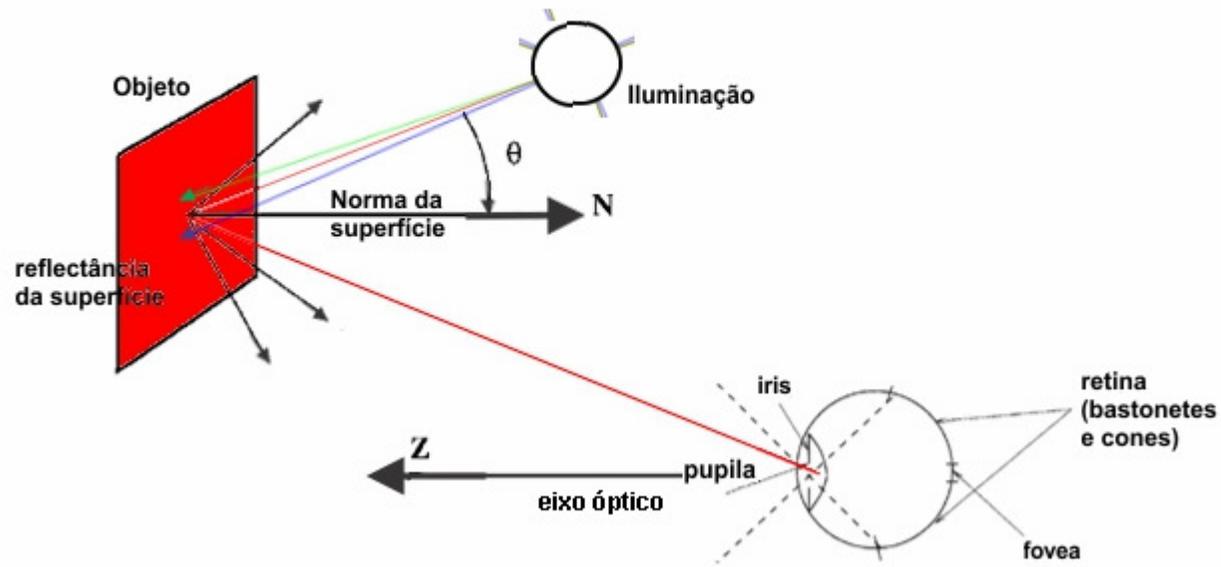
$$C = h H + s S + v V$$

onde h , s e v são b os coeficientes da mistura

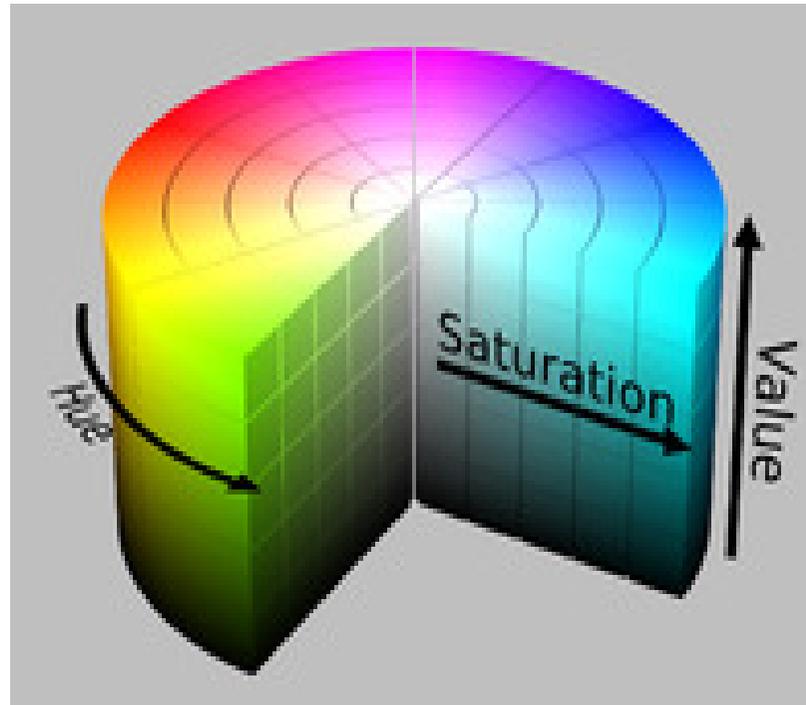
Neste espaço de cor a base são elementos controlando a intensidade, V , a pureza ou saturação de uma cor, H .

H é que se associa aos **comprimentos de onda visíveis**.

Subtração de energia



Em aplicações usuais de CG



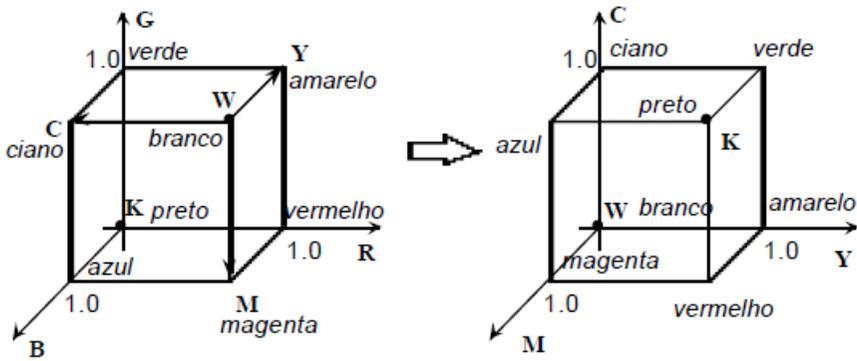
Modelo de cor H S V

O espaço *HSV* foi desenvolvido em 1978 por *Alvey Ray Smith*,

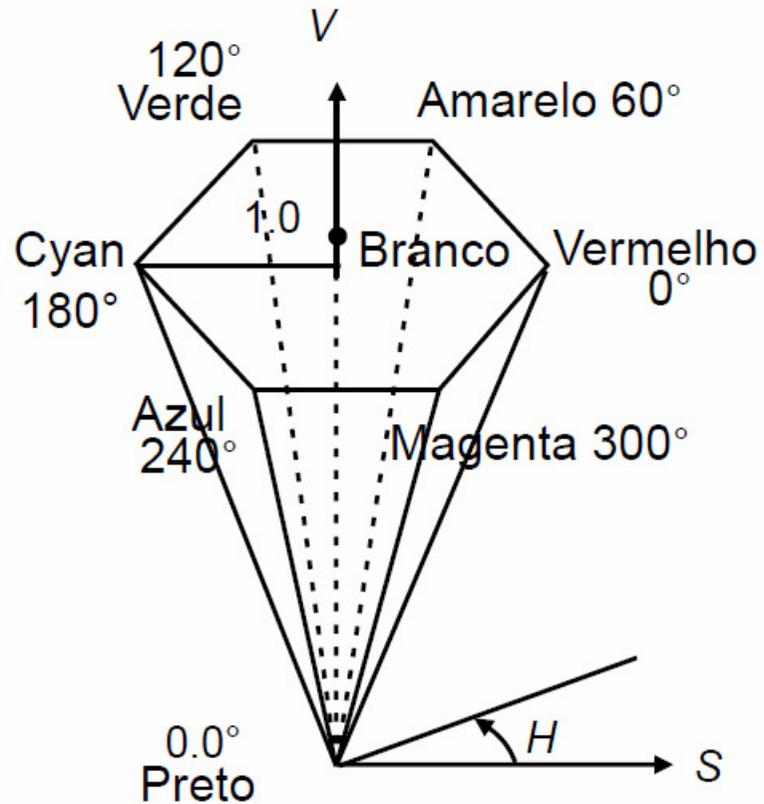
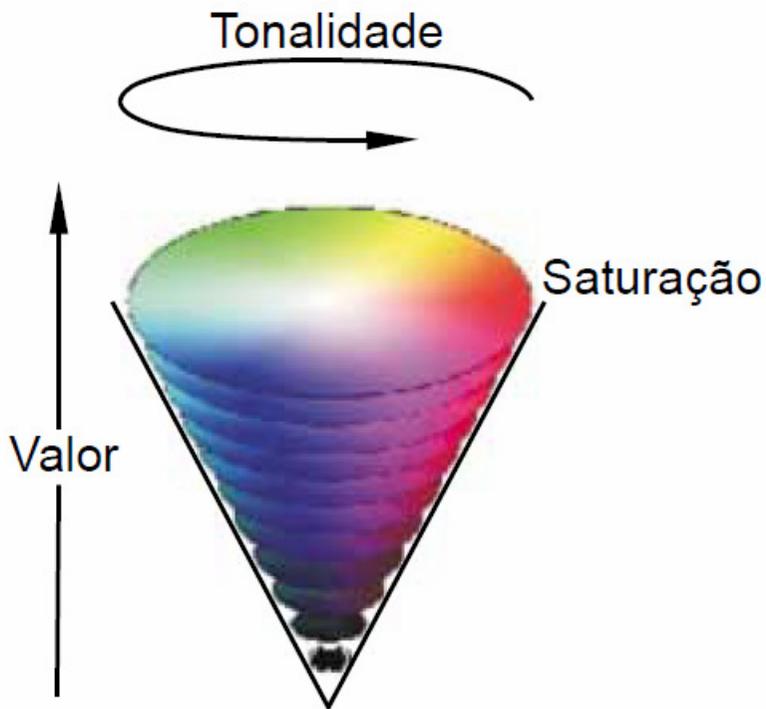
baseando-se em como um artista plástico descreve as misturas de cores.

As cores principais (vermelho, amarelo, verde, ciano, azul e magenta) ocupam os vértices da base de uma pirâmide hexagonal invertida.

Cada uma defasada da outra de 60 graus:
Vermelho 0 graus (ou 360 graus),
amarelo 60 graus, verde 120 graus, ciano 180
graus, azul 240 graus e magenta 300 graus.



Olhe o RGB ou o CMY pela diagonal principal



Shading no HSV

Azul 240 =H, S= 1 e V=1 mais intenso possível!

Azul 240 =H, S= 1 e V=0,5 menos intenso !

Azul mais claro 240 =H, S= 0,5 , V=1 !

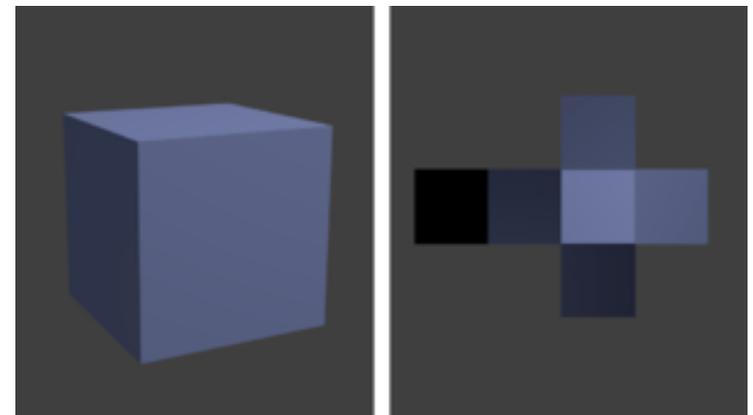
Ou normalizado (dividindo cada canal pelo maximo! $240/360 = 2/3 = 0,67$)

H=0,67 , S= 1 e V=1 azul normalizado mais intenso possível!

H=0,67 , S= 1 e V=0,5 azul normalizado menos intenso !

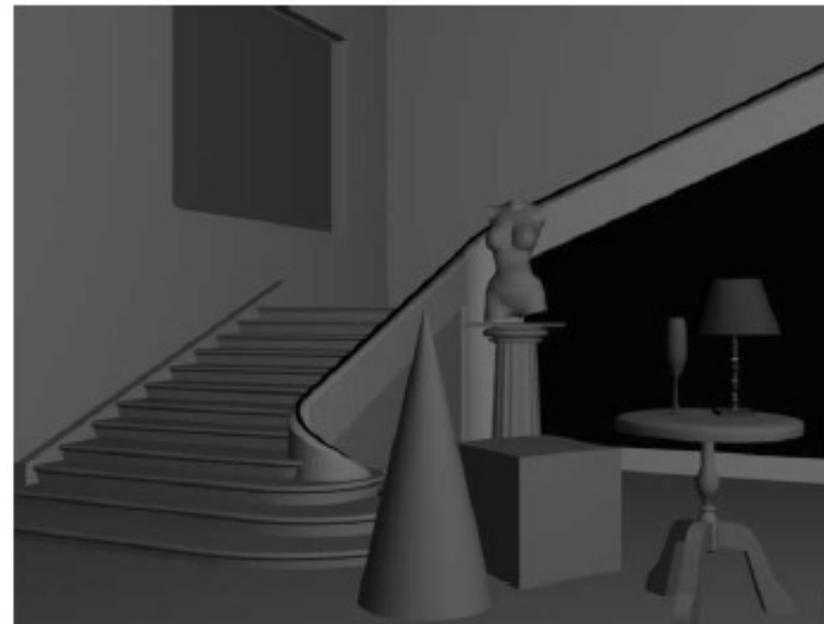
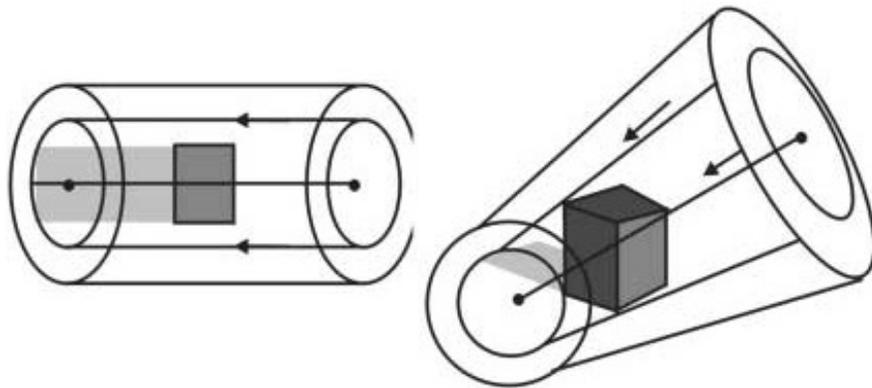
Azul normalizado mais claro H=0,67, S= 0,5 , V=1 !

**o shading
dos objetos !!!**



Luz direcional

A direção da iluminação é considerada, mas áreas mais distantes e mais próximas com mesmo ângulo em relação a luz são iluminadas igualmente

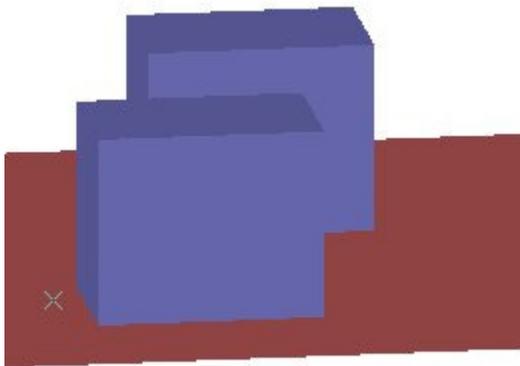


Luz direcional

A **direção da iluminação** é considerada, nas áreas mais distantes e mais próximas com mesmo ângulo em relação a luz são iluminadas igualmente.

Isso **não é muito realístico** pois se espera que áreas mais distantes da luz fiquem mais escuras!

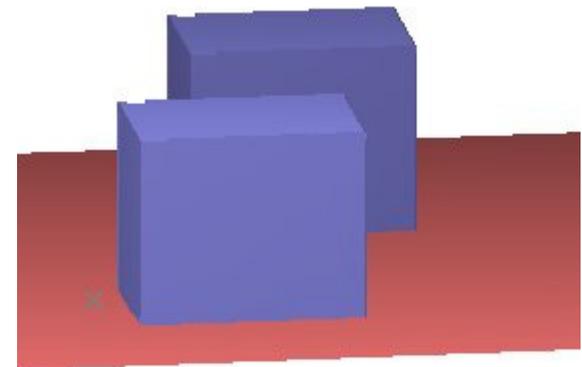
A **atenuação com a distância** (da fonte de luz, que pode ser considerado pontual) pode ser de diversas maneiras: linear, quadrática, com fator de atenuação, associada ou não a constantes, etc.



$$I = I_a \cdot r_a + I_d r_d \cos \theta / (d+k)$$

$$I = I_a \cdot r_a + I_d r_d \cos \theta / (d+k)^2$$

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d r_d \cos \theta$$



Superfícies dos objetos da cena

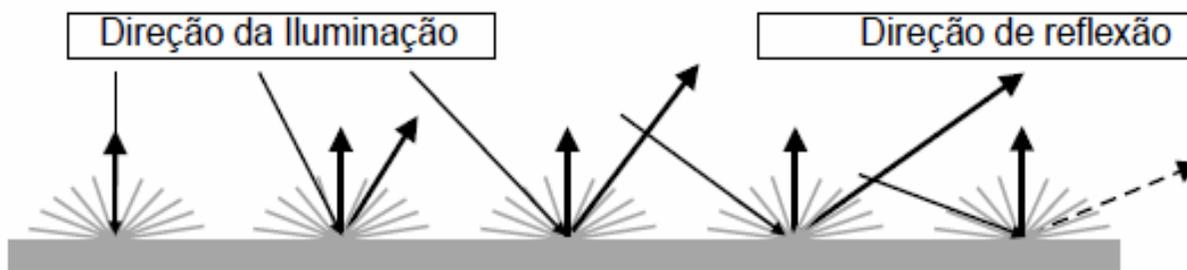
Forma como a luz é refletida pela superfícies:

- **Reflexão difusa** (superfícies foscas, sem lustro ou brilho) – aparece com mesma intensidade em todas as direções (dull, matte)
- **Reflexão especular** – tem um efeito de ter algum brilho , como se fosse de metal, envernizada, polida, plastificada ou encerada.

As superfícies dos objetos da cena

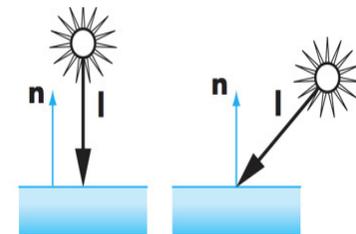
Modelo **Lambertiano** ou de objeto foscos

A intensidade da luz é independente do posição do visualizador da cena. **Iluminação isotrópica**. A intensidade luminosa obedece a **lei dos cossenos de Lambert**



$$I_d = k_d(\mathbf{l} \cdot \mathbf{n})L_d.$$

$$\cos \theta = \mathbf{l} \cdot \mathbf{n}.$$



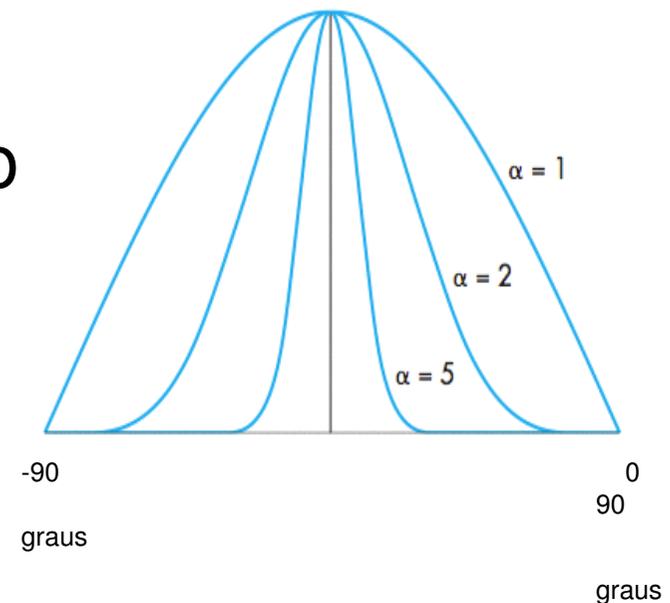
o cosseno no modelo é uma forma de atenuar a intensidade de reflexão

Lembrando que cosseno (é o cateto adjacente sobre a hipotenusa de um ângulo em um círculo de raio 1)

E varia de 0 é 1 quando o ângulo vai de 0 a 90 graus.

Sendo cosseno de 0 igual a 1 e de 90 graus igual a 0

$$\cos \theta = r \cdot v$$



Johann Heinrich Lambert (1728-1777)

Físico, matemático, astrônomo e filósofo suíço. Foi um dos criadores da fotometria e autor de trabalhos inovadores sobre as geometrias não euclidianas. Provou que o π é irracional.

Em 1760, ele publicou o livro : Photometria. Considerando que a luz viaja em linha reta, mostrou que a iluminação é proporcional à intensidade da fonte, inversamente proporcional ao quadrado da distância da superfície iluminada e ao ângulo de inclinação da direção da luz com a superfície. Estes resultados foram apoiados por observações e experiências.

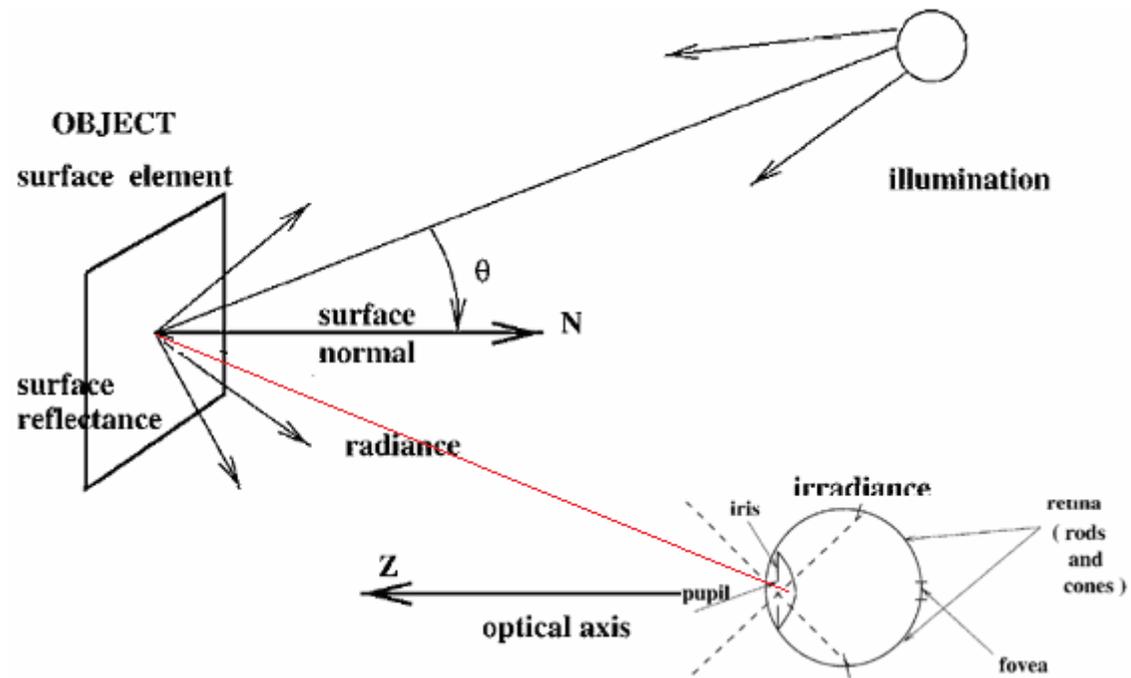
Em Photometria Lambert também formulou a lei da absorção da luz e introduziu o termo albedo. A unidade fotométrica Lambert é em reconhecimento ao seu trabalho.

Lambert também foi pioneiro no desenvolvimento de modelos de cores tridimensionais combinando pigmentos vermelhos, amarelos e azuis, e com branco.

3 cores primarias: vermelho, amarelo e o azul.

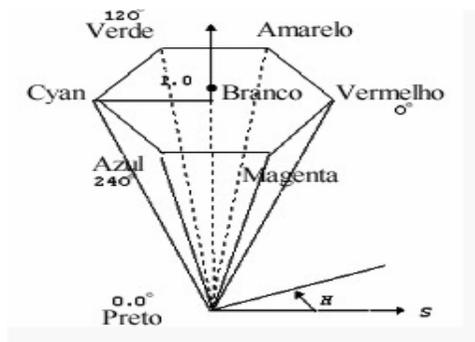
Principais “atores” do processo de iluminação colorida

Superfícies interagindo com os comprimentos de ondas da luz branca: a reflexão e a absorção influenciam a cor que a superfície aparenta ter.

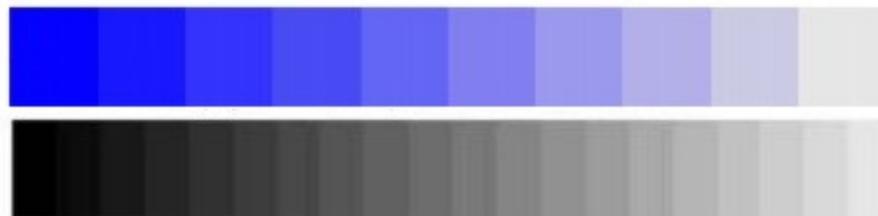


Função das cores dos objetos

Dependendo da forma de representação se usam as expressões anteriores separadamente para cada canal **RGB**, ou **HSV**, ou seja considerado I=cada canal da imagem:



$$I_l = I_{al} \cdot r_{al} + f_{at} I_{dl} (r_{dl} \cos \theta) + f_{at} I_d r_s \cos^n \alpha$$



$$C = r R + g G + b B$$

onde **R**, **G** e **B** são as cores primárias e *r*, *g* e *b* os coeficientes da mistura

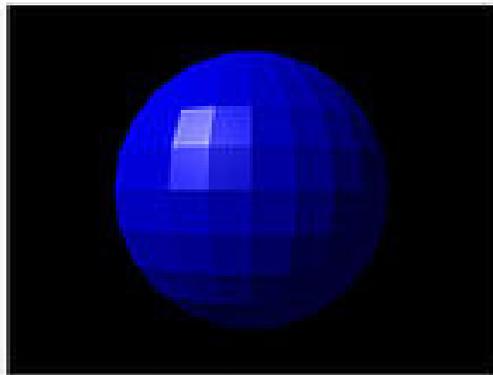
Flat shading

Produz bons resultados apenas se o objeto for mesmo de faces planas.

Cada polígono que compõem o objeto tem seu tom baseado no ângulo de sua normal com a direção da luz, sua cor e a cor da fonte de luz.

De modo que toda a face tem um tom constante.

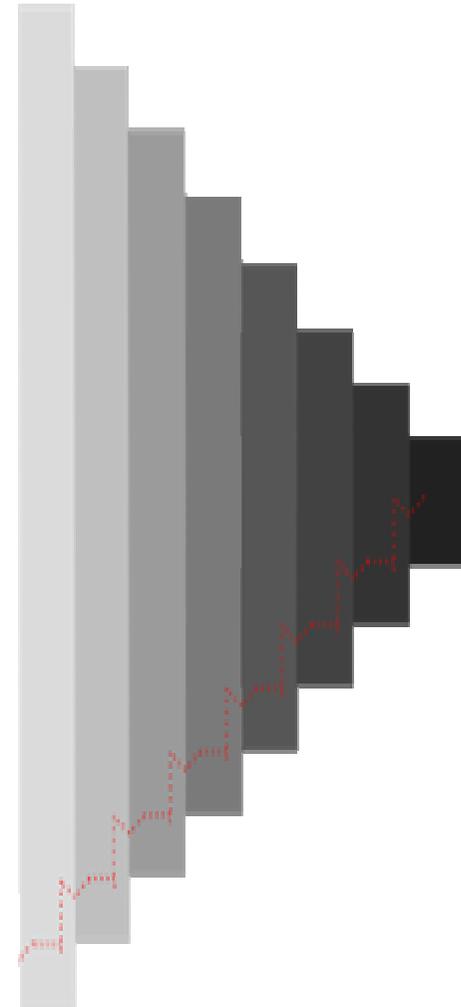
Efeito de bandas de Mach



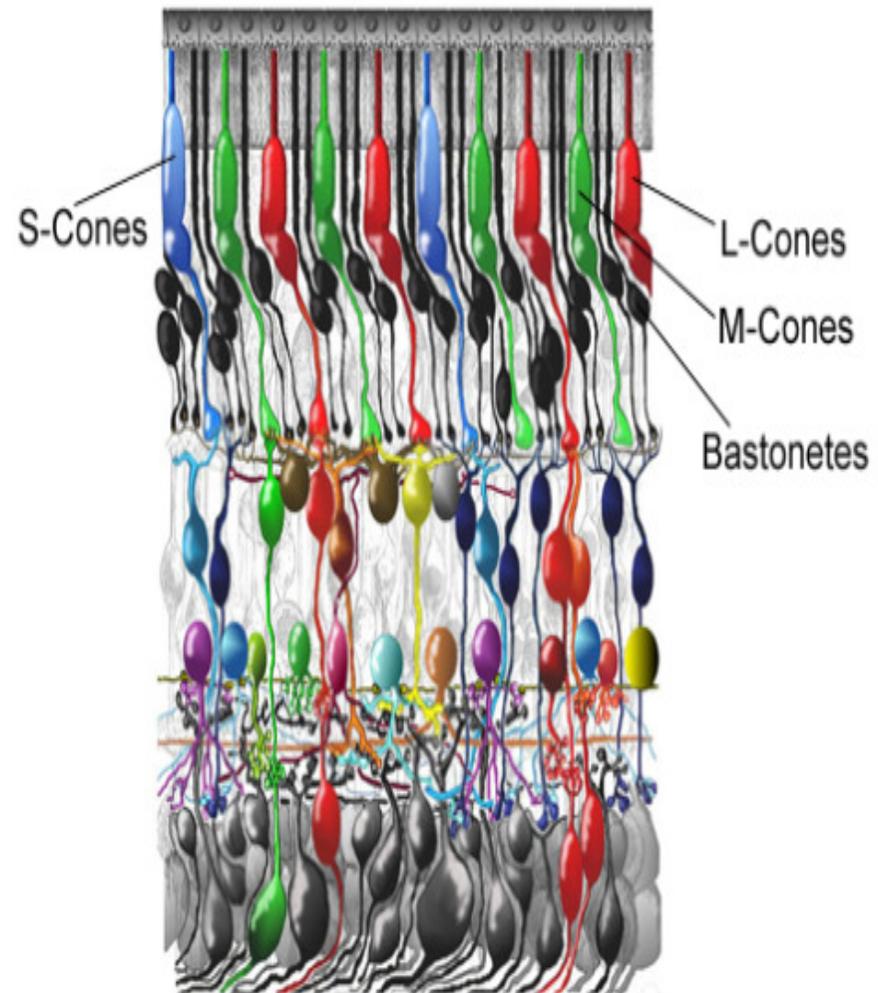
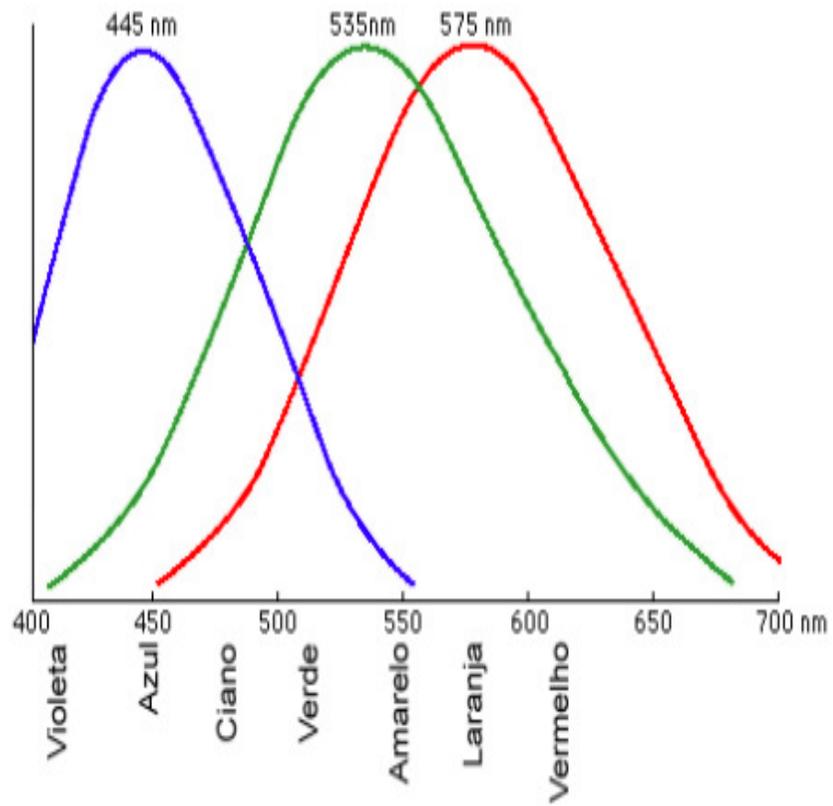
FLAT SHADING

As bandas de Mach

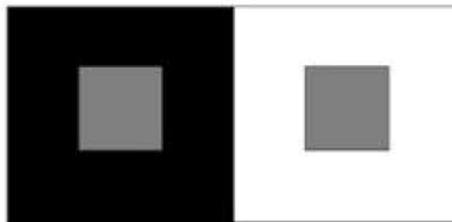
são efeitos de intensificação de contraste observados pelo olho humano: diferente gradiente de luminosidade tem sua fronteira com contraste amplificado. O nome desta ilusão é uma referência a Ernst Mach.



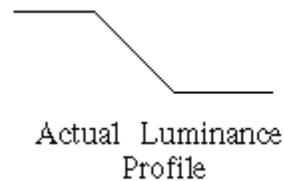
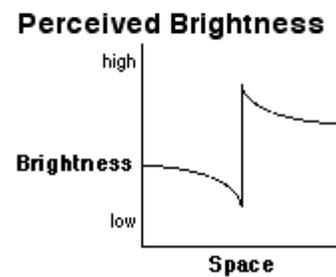
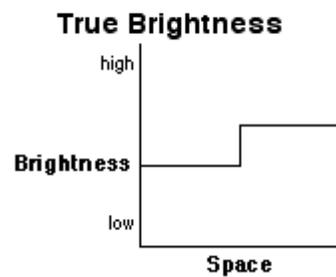
Curvas de respostas dos 3 tipos de cones



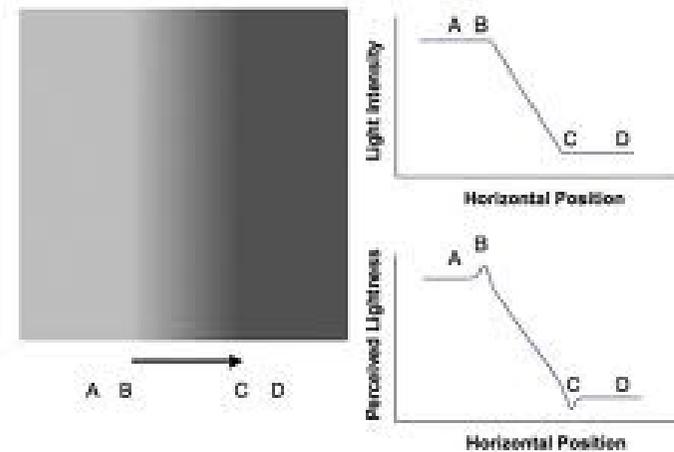
Bandas de Mach, intensidades constantes ou variações de intensidade constantes



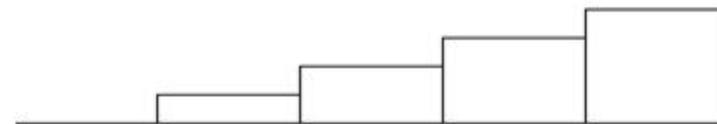
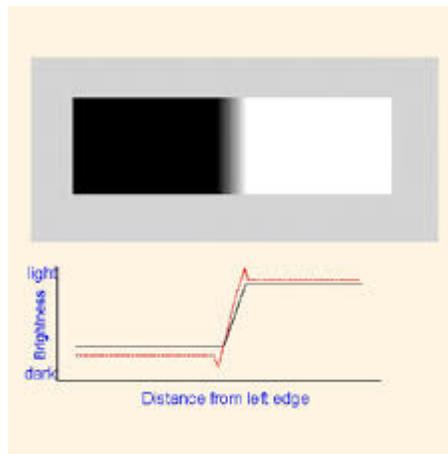
How the eye works



Mach bands



Mach Bands:
Perceived changes in luminance near the edges of a luminance gradient.



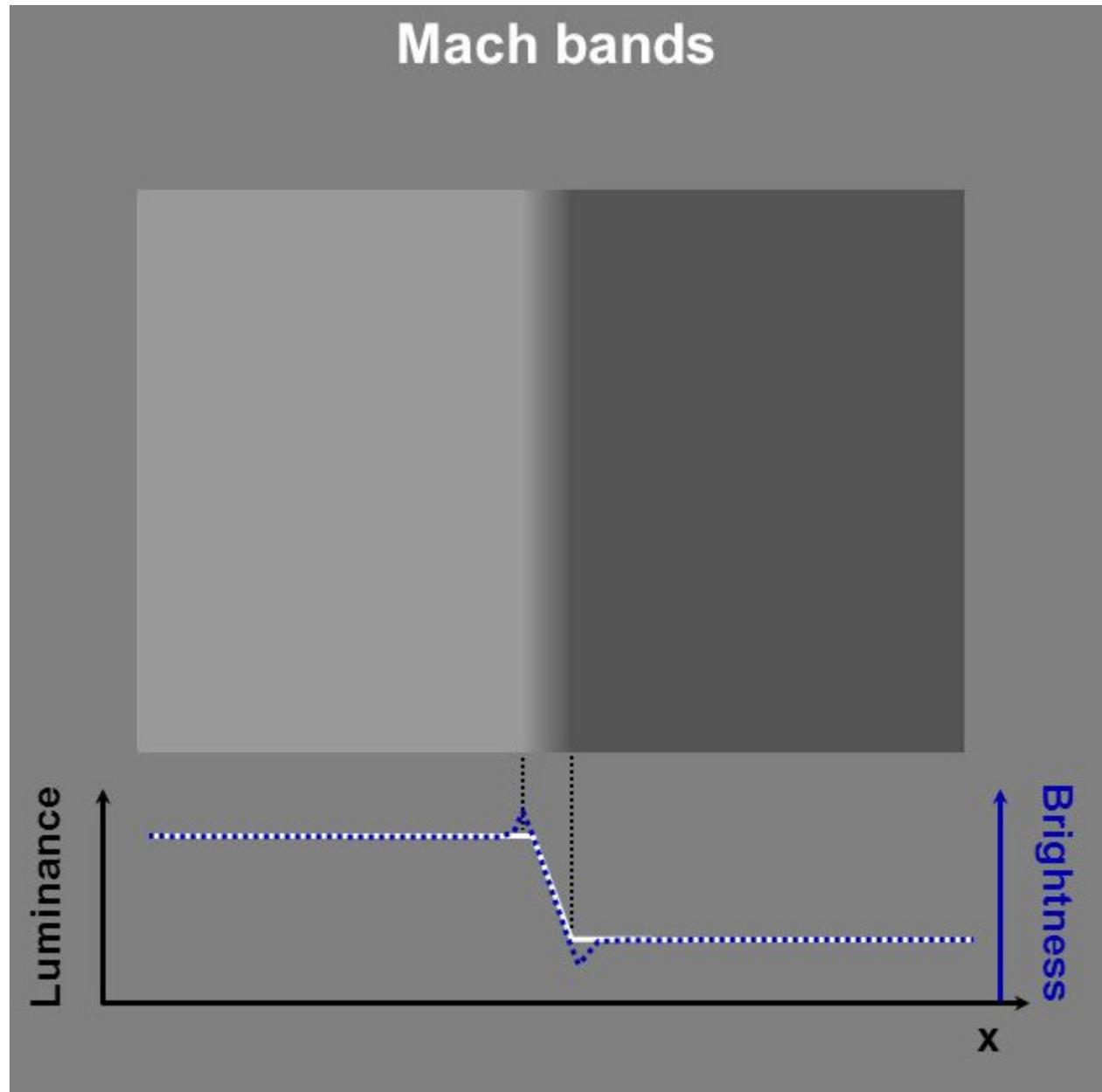
signal original



signal avec Mach bands

Bandas de Mach, intensidades constantes ou variações de intensidade constantes

Bandas de Mach,
intensidades constantes
ou variações de
intensidade constantes



Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach

(Brno, 1838 — Vaterstetten, 1916) foi um físico e filósofo austríaco. austríaco.2

Foi professor de matemática em Graz.

Depois de física em Praga, quando opôs-se à introdução da língua tcheca como idioma oficial na mesma universidade, alinhando-se entre os partidários da dominação alemã na região.

Superfícies curvas



Smooth shading ou sombreamento variável

O sombreamento varia de pixel para pixel:

Há 2 técnicas mais conhecidas:

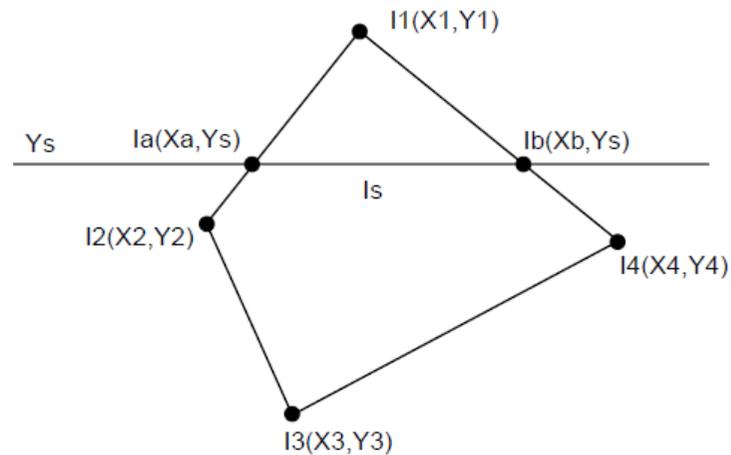
1- Gouraud shading

2 - Phong shading

Gouraud shading mooth shading

Ou interpolação de intensidade:

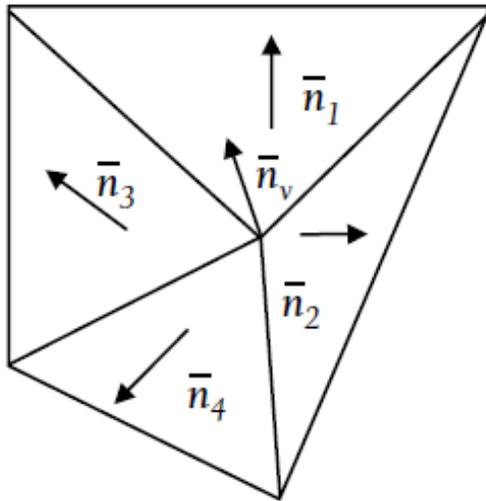
Calcula a iluminação dos vértices e faz interpolação linear no interior.



Gouraud shading smooth shading

Para fazer isso:

Supõem a normal nos vértices como média das normais das faces que chegam ao vértice.

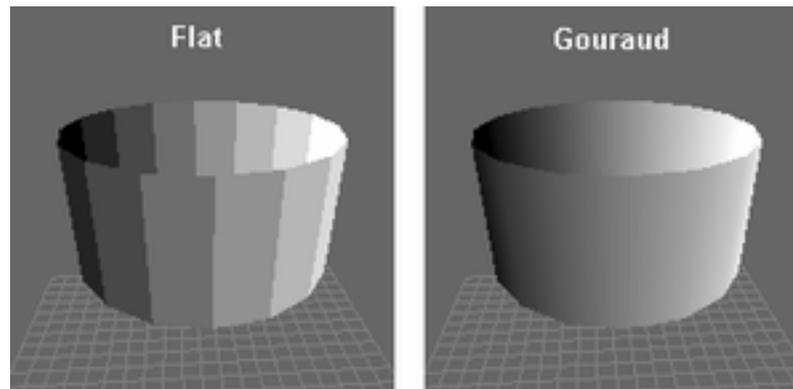


$$\bar{n}_i = \frac{n_i}{|n_x| + |n_y| + |n_z|}$$

$$n_v = \sum_{i=1}^k \frac{\bar{n}_i}{k}$$

Henri Gouraud (1944- ...)

Francês, estudo de 1964–1967 na Escola Central de Paris, em 1971 recebeu seu Ph.D. pela Universidade de Utah pelo trabalho de título: **Computer display of curved surfaces**



Em mais detalhes:

O método, depois que a intensidade é calculada, é o mesmo tanto para emissões de luz (objetos que combinam cores nos sistemas aditivos) quanto para reflexões (objetos que combinam cores por subtração), já que, como vimos na parte do sistema visual humano, para nossos olhos isso é indiferente.

Por exemplo, imagine que você tenha em uma posição a intensidade de um canal de cores normalizada 0 e em outra posição o valor do mesmo canal normalizado 1.

Imagine agora que essas duas posições estejam separadas por 10 pixels.

Assim elas vão variar em intensidade do valor 0 (no pixel 1) até o valor 1 no pixel 10.

Ou seja, tomarão os seguintes valores nos pixels intermediários:

0,1 ; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9.

É lógico que depois na hora de implementar você deverá transformar esses valores normalizados para quantos bits usa no seu canal de cores.

Se for 255 tons, como o usual, deverá multiplicar por 255 cada um destes valores .

Ou seja, eles serão (aproximadamente) : 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225.

E é claro também aqui só explicitamos , por alto como fazer a interpolação na intensidade de um canal, ele pode ser R, G, B, C, M, Y, K, H, S, V etc....

A cor obtida no pixel dependerá da composição dos demais canais usados na *renderização*.

Mas muitas vezes você terá que tratar isso pixel a pixel mesmo

Para não ser daquele que diz ser impossível, só porque a ferramenta que usa de “cara” não lhe dá isso pronto.

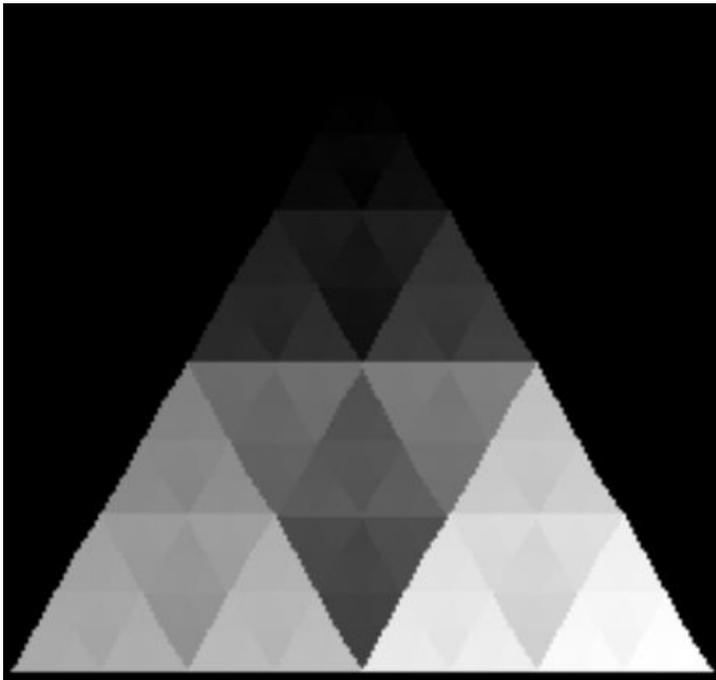
Por exemplo imagina que uma ferramenta deixe fácil dar tons de áreas, mas de pixel não é tão óbvio.

Se você usar uma abordagem que divide o triângulo em polígonos menores e atribui a cada um deles uma cor intermediária direto porque é o que a ferramenta possibilita sem muito trabalho, por exemplo, nesse caso se dividirá em muitos, pode ser até milhares de triângulos menores, e se atribuiria uma cor intermediária para cada um deles.

Essa abordagem de áreas constantes daria de alguma forma um efeito sem bandas de MACH (ou seja seria válida como *shading* suave) ?

A abordagem com áreas constantes tem possibilidade ?

Mesmo que milhares de pequenos triângulos seria algo como(mas é claro em escalas muito menores):

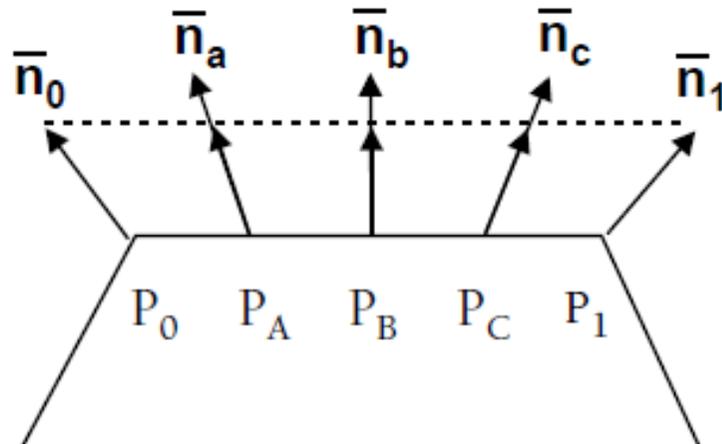


Sim , mas apenas no caso de cada triângulo menor ser do tamanho do seu pixel da tela.

Adaptar essa divisão ao número de pixels acaba dando mais trabalho do que procurar na ferramenta como dar cor a cada pixel e preencher desta forma uma região.

Smooth shading

Phong shading – faz a interpolação das normais (dos polígonos já rasterizados para daí calcular o tom do ponto da superfície)



Vantagens deste último

Como as normais influenciam outros detalhes do render, tem um maior possibilidade de representação ainda mais realista de materiais não lambertianos.

Tratamento de Iluminação especular

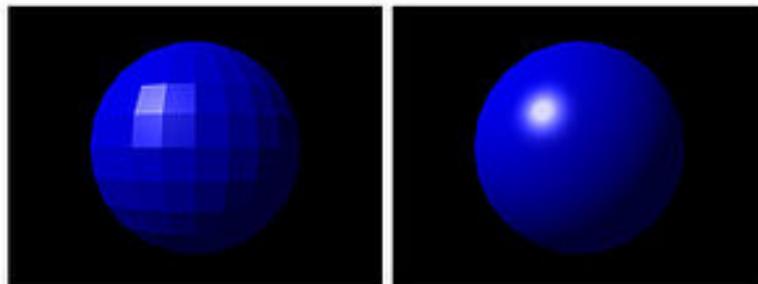
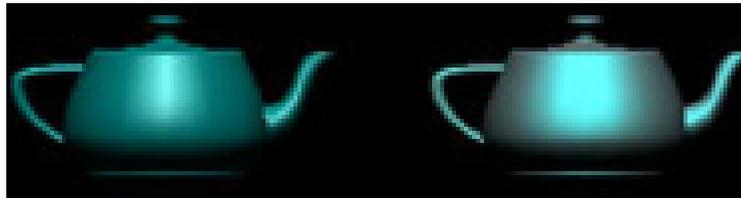
Shininess Coefficient

Ou coeficiente de brilho da luz especular:

Metais entre 100 e 200

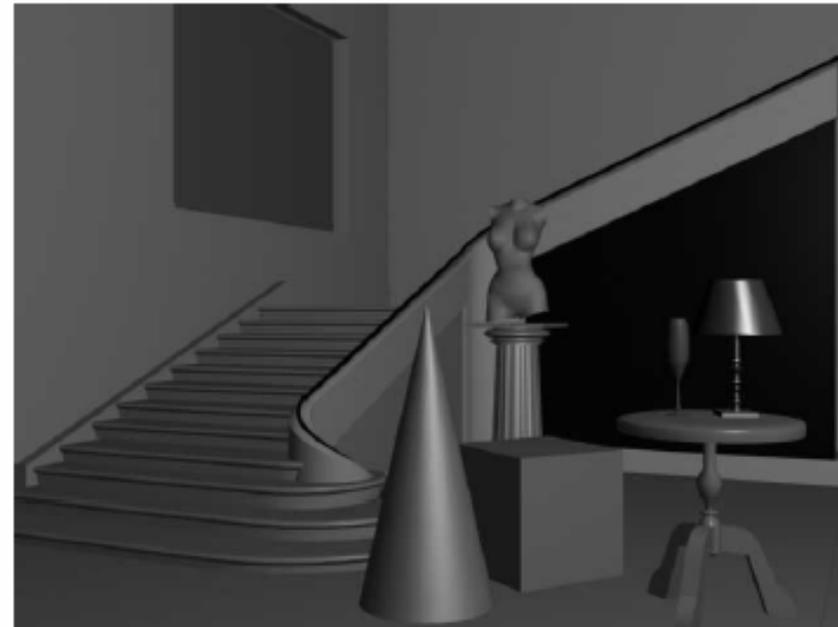
Plástico entre 5 e 10

Única diferença é o coeficiente de brilho da luz especular



FLAT SHADING

PHONG SHADING

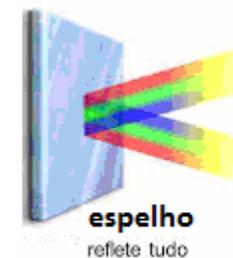
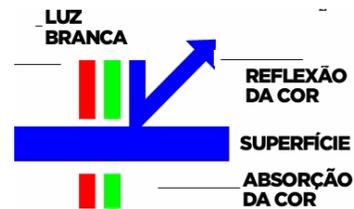


Reflexão especular

Em algumas superfícies funcionam como “quase como espelhos” onde os **fótons não interagem com os pigmentos**, refletindo toda a cor original que nelas chega.

Modelos:

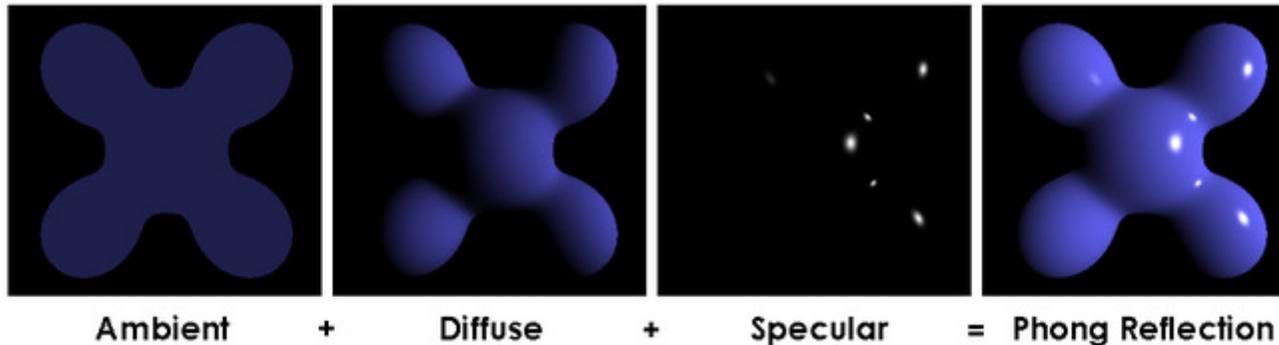
Phong de luz especular



Phong reflection model

Empírico e local.

Combina luz difusa (superfícies foscas) e especular (superfícies com brilho)



Luz branca e objeto azul

Bui Tuong Phong (1942- 1975)

Vietnamita, nascido em Hanoi, (Bui é o sobrenome e Phong seu nome, no Vietnam como o Brasil se considera muito o primeiro nome). Se formou como engenheiro em Toulouse, e entrou para o IRIA (*Institut de Recherche en Informatique et en Automatique*) em 1968. Ph.D. na University of Utah em 1973. Professor da Universidade de Stanford até morrer de leucemia.

No modelo de Phong a **intensidade luminosa** é proporcional ao ângulo entre o observador e a direção de reflexão

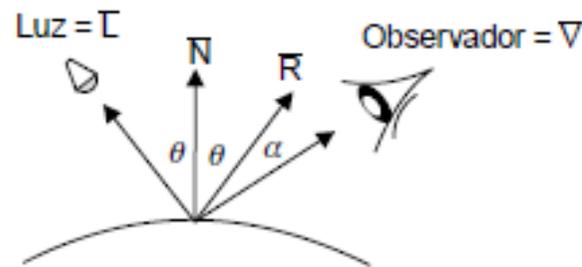
Vamos chamar esse ângulo de alfa:

$$I_s = k_s L_s \cos^\alpha \phi.$$

Phong reflection model

Aparece mais um ângulo na expressão!

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d (r_d \cos \theta + r_s \cos^n \alpha)$$



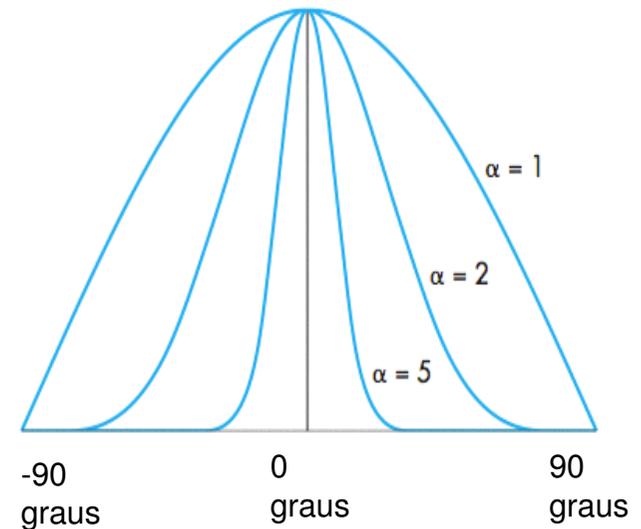
No modelo de Phong a **intensidade especular** é incluída na expressão de intensidade de reflexão

Usando parâmetros **R** entre zero e um:

$$I = I_a + I_d + I_s = L_a R_a + L_d R_d + L_s R_s$$

$$I_s = k_s L_s \cos^\alpha \phi.$$

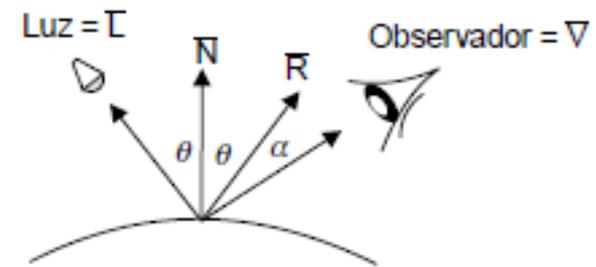
$$\cos \phi = r \cdot v$$



Phong reflection model

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d (r_d \cos \theta + r_s \cos^n \alpha)$$

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d (r_d (u_e \cdot u_n) + r_s (u_r \cdot u_v)^n)$$



Múltiplas fonte:

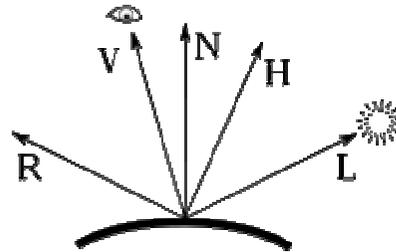
$$I = I_a \cdot r_a + \sum_{j=1}^l I_{dj} (r_d (u_{ej} \cdot u_n) + r_s (u_{rj} \cdot u_v)^n) / (d_j + k_j)$$

ou

$$I = I_a \cdot r_a + \sum_{j=1}^l f_{atj} I_{dj} (r_d (u_{ej} \cdot u_n) + r_s (u_{rj} \cdot u_v)^n)$$

Outros modelos e simplificações:

1- O ângulo entre o observador e a direção de reflexão é substituído pelo metade do ângulo que a luz refletida faz com a normal (metade da direção) .



Uma alternativa ao modelo de luz especular de Phong é o uso do vetor de *intensidade de luz especular máxima* ou *vetor de caminho médio*, H, esse vetor é definido usando a direção da fonte de luz, L, e de visualização, V, como:

$$\bar{H} = \frac{\bar{L} + \bar{V}}{|\bar{L} + \bar{V}|} \text{ ou } \bar{H} = (\bar{L} + \bar{V})/2 \text{ se } |\bar{L}| = |\bar{H}| = 1$$

Bibliografia:

E. Azevedo, A. Conci, [Computação Gráfica: teoria e prática](#), [Campus](#) ; - Rio de Janeiro, 2003

J.D.Foley,A.van Dam,S.K.Feiner,J.F.Hughes. Computer Graphics- Principles and Practice, Addison-Wesley, Reading, 1990.

H. Watt, F. Policarpo - [The Computer](#) , Addison-Wesley Pub Co (Net); 1998

http://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_mapping

https://noppa.oulu.fi/noppa/kurssi/521493s/luennot/521493S_3-d_graphics_vi.pdf

<http://graphics.stanford.edu/papers/rad/>