

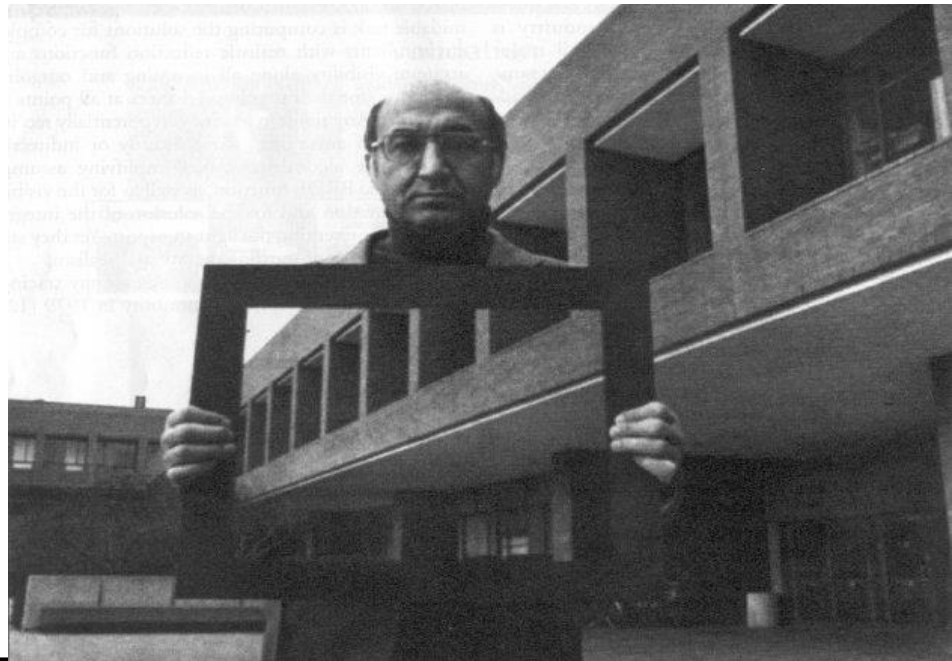
Iluminação e Sombreamento

Soraia Musse

https://www.youtube.com/watch?v=Qx_AmlZxzVk

Introdução

- Objetivo/Motivação
 - Realismo nas imagens
 - *Fotorealismo*



Sumário

- Introdução
- Modelos de Iluminação
 - Luz Ambiente
 - Reflexão Difusa
 - Atenuação Atmosférica
 - Reflexão Especular
 - Modelo de Iluminação de Phong
- Modelos de Sombreamento para Polígonos
 - Flat Shading
 - Interpolated Shading
 - Polygon-Mesh Shading
 - Gouraud Shading
 - Phong Shading
 - Problemas com o Sombreamento por Interpolação
- Iluminação Global: Ray-tracing

Introdução

- Objetivo principal
 - Mostrar como sombrear superfícies baseando-se na posição, orientação e características das superfícies e fontes de luz que as iluminam
- Modelo de Iluminação
- Modelo de Sombreamento
 - Determina quando o modelo de iluminação é aplicado e quais argumentos ele recebe

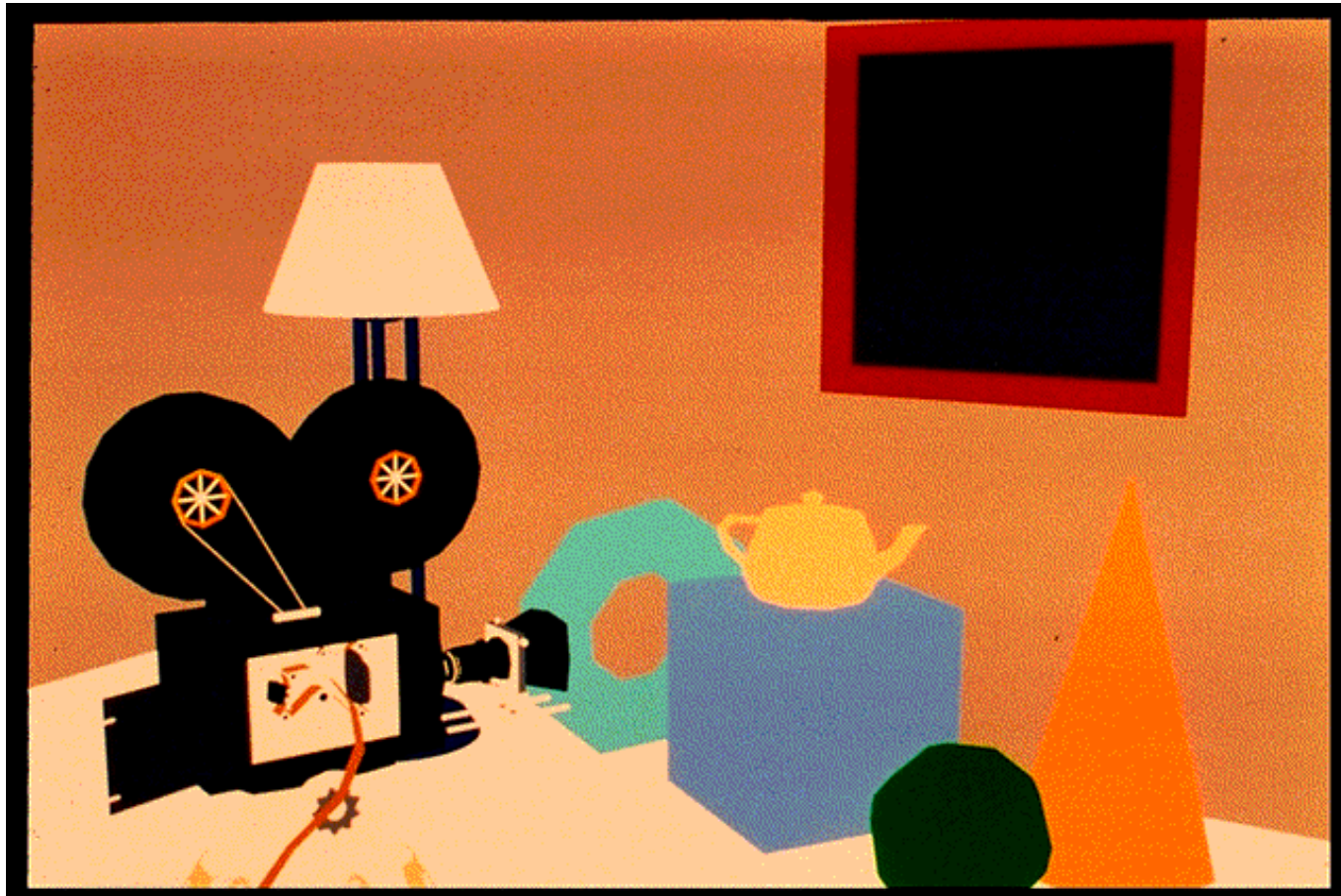
Intensidade dos objetos

- Modelo de iluminação mais simples
 - Utiliza apenas a intensidade do objeto, sem fontes de luz externas
 - Objeto com iluminação própria
- Equação de iluminação
 - $I = K_i$
 - Onde I é a intensidade final e K é constante do objeto i
- Processo de calcular a equação de iluminação em um ponto também chama-se *iluminar um objeto*

Luz Ambiente

- Agora, ao invés de luminosidade própria, consideremos a existência de uma fonte de luz sem direção específica, resultante das reflexões entre as muitas superfícies presentes no ambiente
- Esta luz é constante pois não tem origem
- Conhecida como luz ambiente
 - $I = I_a \cdot K_a$
 - I_a - intensidade da luz ambiente
 - K_a - coeficiente de reflexão ambiente
 - Propriedade do material

Luz Ambiente

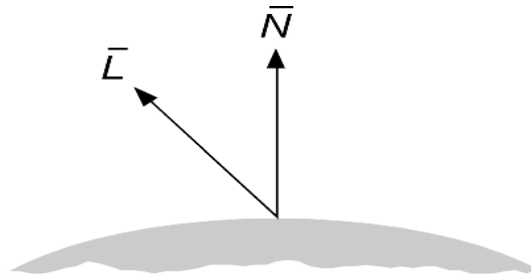


Reflexão Difusa

- Objetos iluminados pela luz ambiente são mais ou menos iluminados de acordo com a intensidade do ambiente (I_a)
- Mas são uniformemente iluminados ao longo de suas superfícies
- Agora, consideraremos uma fonte de luz pontual, cujos raios emanam uniformemente de um único ponto
- A iluminação do objeto varia de acordo com a direção e a distância desta fonte de luz

Reflexão Difusa

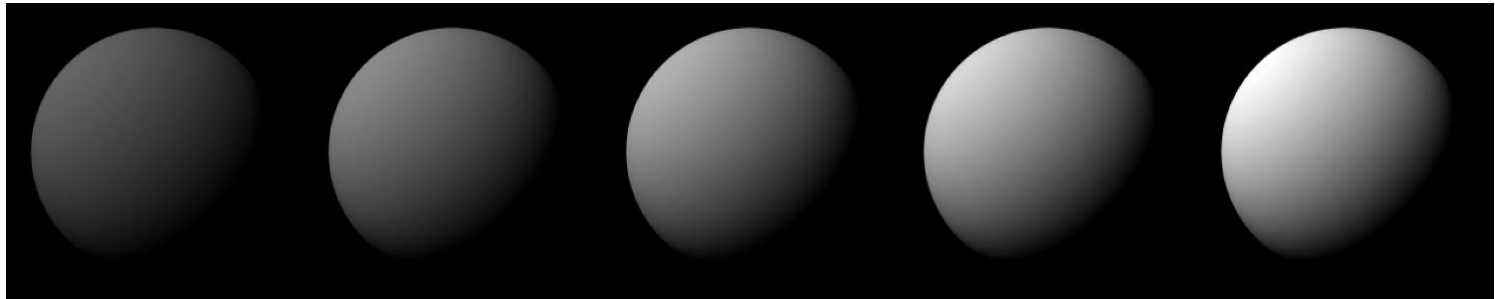
- Alguns materiais apresentam reflexão difusa
- Essas superfícies refletem a energia luminosa igualmente, sob qualquer ângulo de visão, porque elas refletem luz com igual intensidade em todas as direções
- O brilho dependerá somente do ângulo formado entre a direção da fonte da luz e a normal da superfície



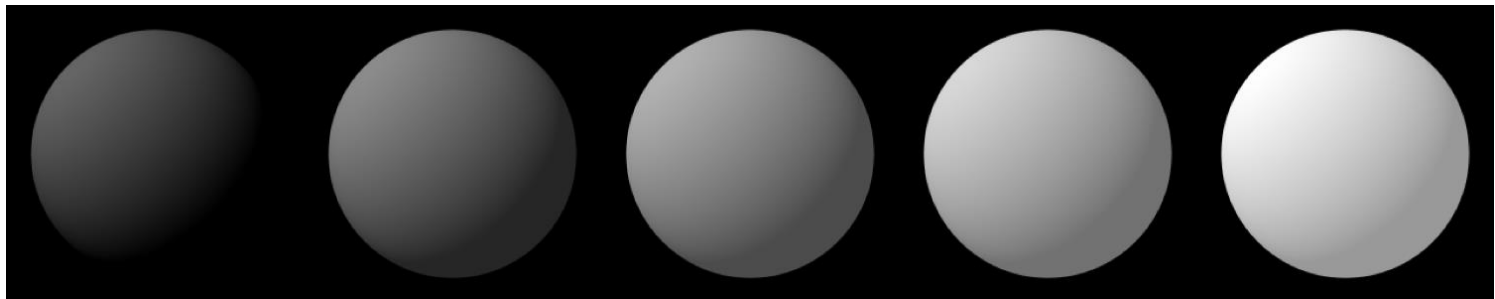
Reflexão Difusa

- A reflexão difusa independe da direção do observador sendo proporcional somente ao cosseno de θ .
 - $I = I_p K_d \cos \theta$
 - I_p = Intensidade da fonte de luz
 - K_d = coeficiente de reflexão difusa (constante $[0,1]$)
 - Normalizando vetores:
 - $I = I_p K_d (N.L)$
- Combinando com componente de ambiente
 - $I = I_a k_a + I_p K_d (N.L)$

Reflexão Difusa



$K_d = 0.4, 0.55, 0.7, 0.85, 1.0$



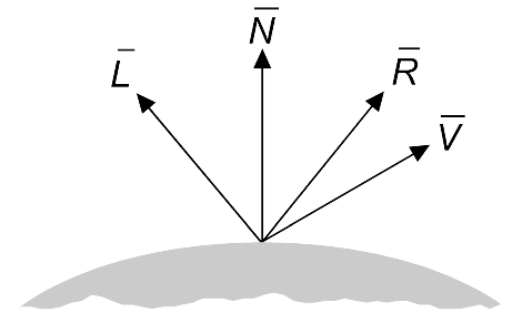
$I_a = I_p = 1.0, K_d = 0.4, K_a = 0.0, .015, 0.3, 0.45, 0.6$

Atenuação da Fonte de Luz

- Sem atenuação: Caso projetemos duas superfícies paralelas de material idêntico, iluminadas a partir do observador, a equação atual não distinguirá onde termina uma superfície e onde começa outra, não importando a distância
- Para simular esta diferença de distância, criou-se um fator de atenuação da fonte de luz (f_{att})
 - $I = I_a k_a + f_{att} I_p K_d (N.L)$
- f_{att} é definido como
 - **Inverso do quadrado da distância ao ponto de luz**

Reflexão Especular

- Círculos brilhantes (*highlight*) que aparecem em superfícies
- Para observar:
 - Ilumine uma maçã vermelha com uma luz branca
 - Aparecerá um *highlight*, causado pela reflexão especular
 - Neste ponto, a maçã não parece vermelha, e sim branca, a cor da luz incidente
- Movimentando a cabeça nota-se que o *highlight* também move-se
 - Superfícies refletem luz de forma diferente em diferentes direções

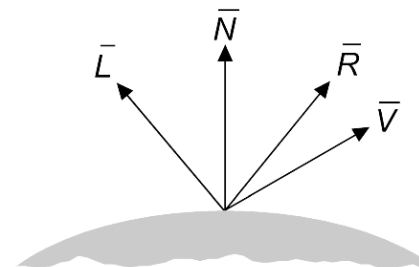


Reflexão Especular de Phong

- Phong desenvolveu em 1975, um modelo para a parcela de reflexão especular que assumia que:
 - Máxima reflexão especular ocorre quando α^* é zero e cai rapidamente quando α cresce
 - Essa mudança é representada por $\cos^n \alpha$, onde n é o expoente de reflexão especular
 - Valores de n variam de 1 até centenas, dependendo do material simulado

$$...K_s(R.V)^n$$

N não tem significado Físico...



R = reflexão e V=viewpoint

Reflexão Especular de Phong

Compondo em uma só equação:

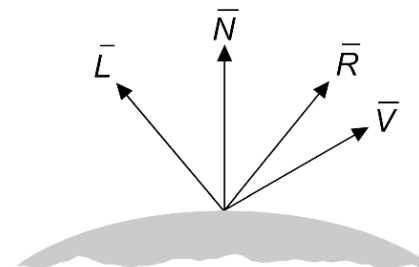
$$I_{\lambda} = Ambiente + f_{att} I_{p\lambda} [Difusa + K_s (R.V)^n]$$

incluindo a cor especular

$$I_{\lambda} = Ambiente + f_{att} I_{p\lambda} [Difusa + K_s O_s (R.V)^n]$$

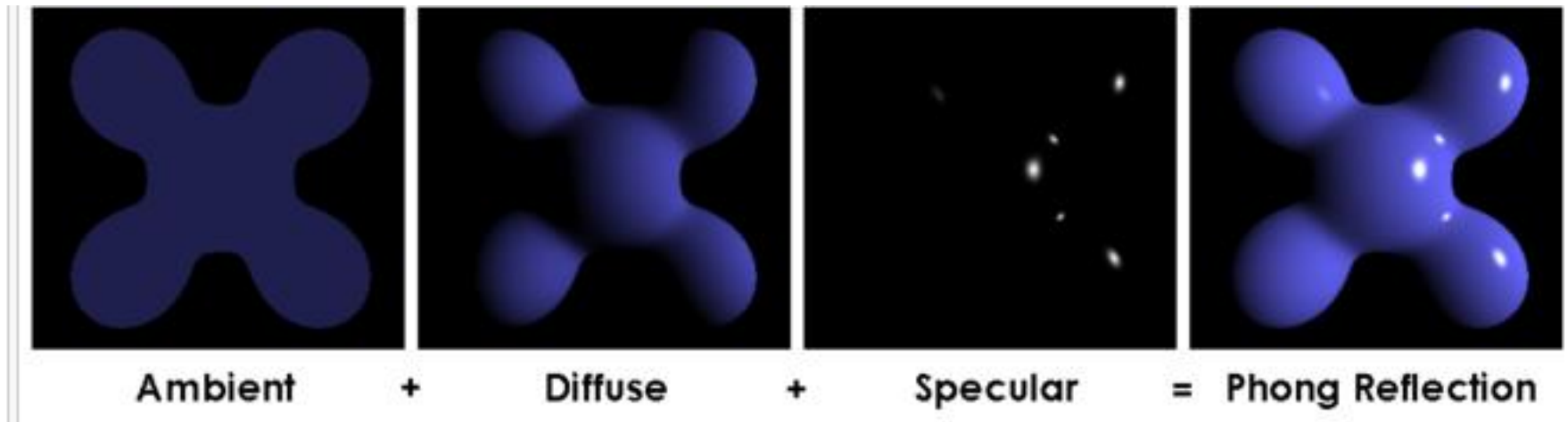
considerando vetores normalizados,

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} [K_d O_{d\lambda} (N.L) + K_s O_s (R.V)^n]$$

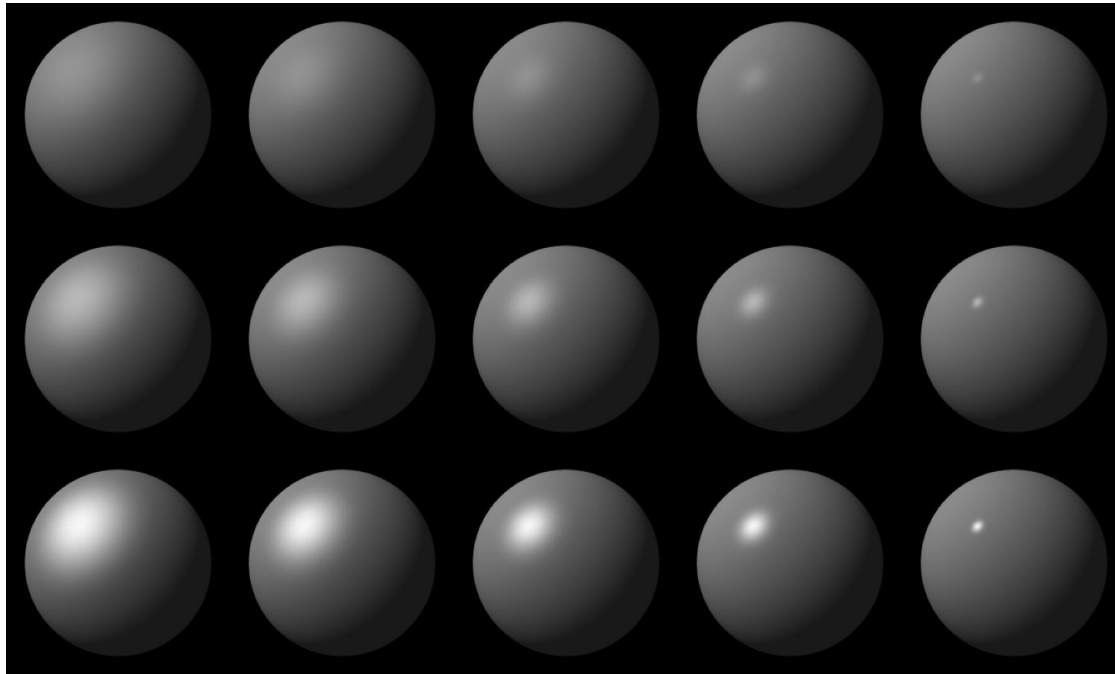


R = reflexão e V=viewpoint

* α é ângulo entre R e V



Reflexão Especular



$I_a = I_p = 1.0$, $K_a = 0.1$, $K_d = 0.45$

$n = 3.0, 5.0, 10.0, 27.0, 200.0$ (Componente da reflexão especular)

$K_s = 0.1, 0.25, 0.5$

Múltiplas Fontes de Luz

- Existindo m fontes de luz, basta somarmos os termos de cada fonte de luz

Modelos de Sombreamento para Polígonos

- Idéia Central: Poderíamos “sombrear” qualquer superfície calculando a normal em cada ponto visível e aplicando o modelo de iluminação naquele ponto
- Porém esta operação teria um custo computacional extremamente elevado
- Modelos de Sombreamento (*Shading Models*) surgiram para executar esta tarefa de maneira eficiente

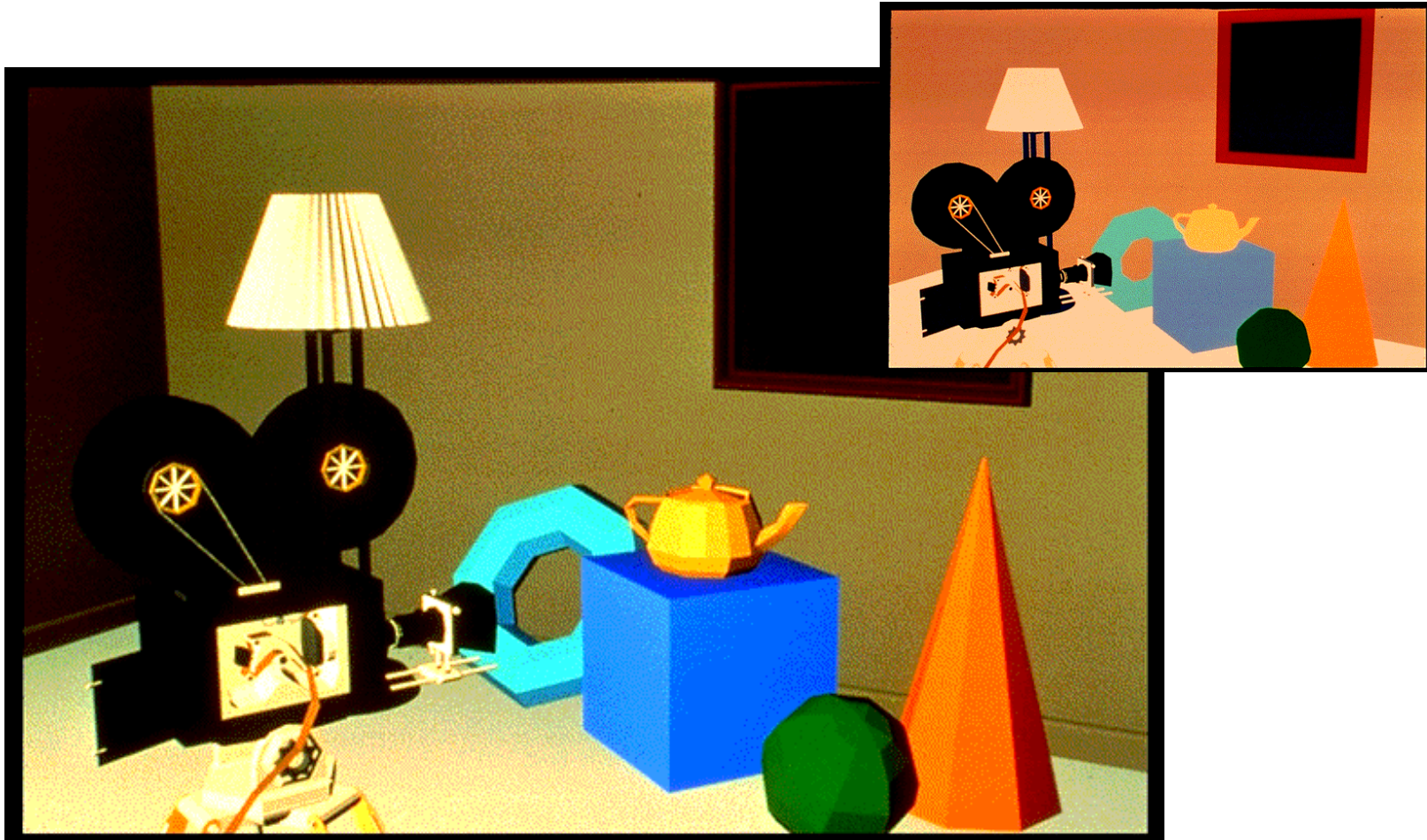
Flat Shading

- Aplica o modelo de iluminação uma única vez para cada polígono, gerando uma intensidade que é usada para sombrear o polígono
- Não representa variações ao longo do polígono

Sombreamento de Malhas Poligonais

- Aplica-se a cada polígono individualmente
- Problemas de superfícies curvas
 - Aparência facetada
- *Flat Shading* e *Interpolated Shading* geram resultados com essas características
- Efeito de *Mach Band*
 - Diferença da intensidade em uma aresta é acentuada se existe uma descontinuidade de uma intensidade
 - Causado por um fenômeno ótico

Sombreamento de Malhas Poligonais



Sombreamento de Malhas Poligonais

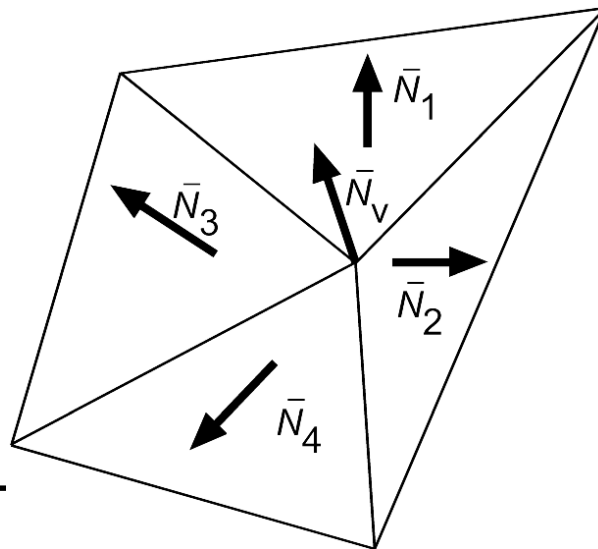
- Existem dois modelos para malhas poligonais que aproveitam as informações fornecidas pelos polígono adjacentes para simular uma superfície suave
- *Gouraud Shading*
- *Phong Shading*

Gouraud Shading

- Também conhecido como sombreamento por interpolação de intensidade ou sombreamento por interpolação de cor
- Elimina descontinuidades de intensidade
- Não elimina completamente mudanças de intensidade
- Estende conceito de sombreamento interpolado, considerando a superfície e não cada polígono individualmente

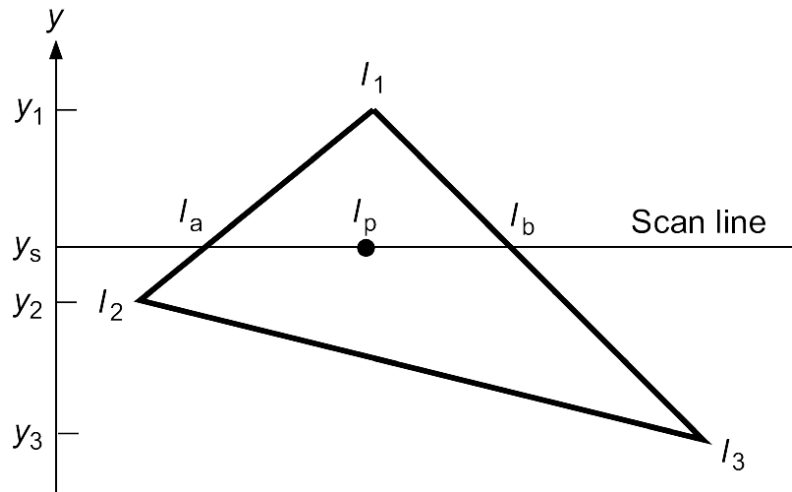
Gouraud Shading

- Necessita da normal de cada vértice
- Pode-se calcular através do produto vetorial entre vetores que representam as arestas ou
- Pode-se obter esta normal fazendo a média entre as normais das superfícies às quais o vértice pertence



Gouraud Shading

- Próximo Passo:
 - Calcular a intensidade no vértice, aplicando o modelo de iluminação.
 - Após isso, calcular a interpolação destas intensidades

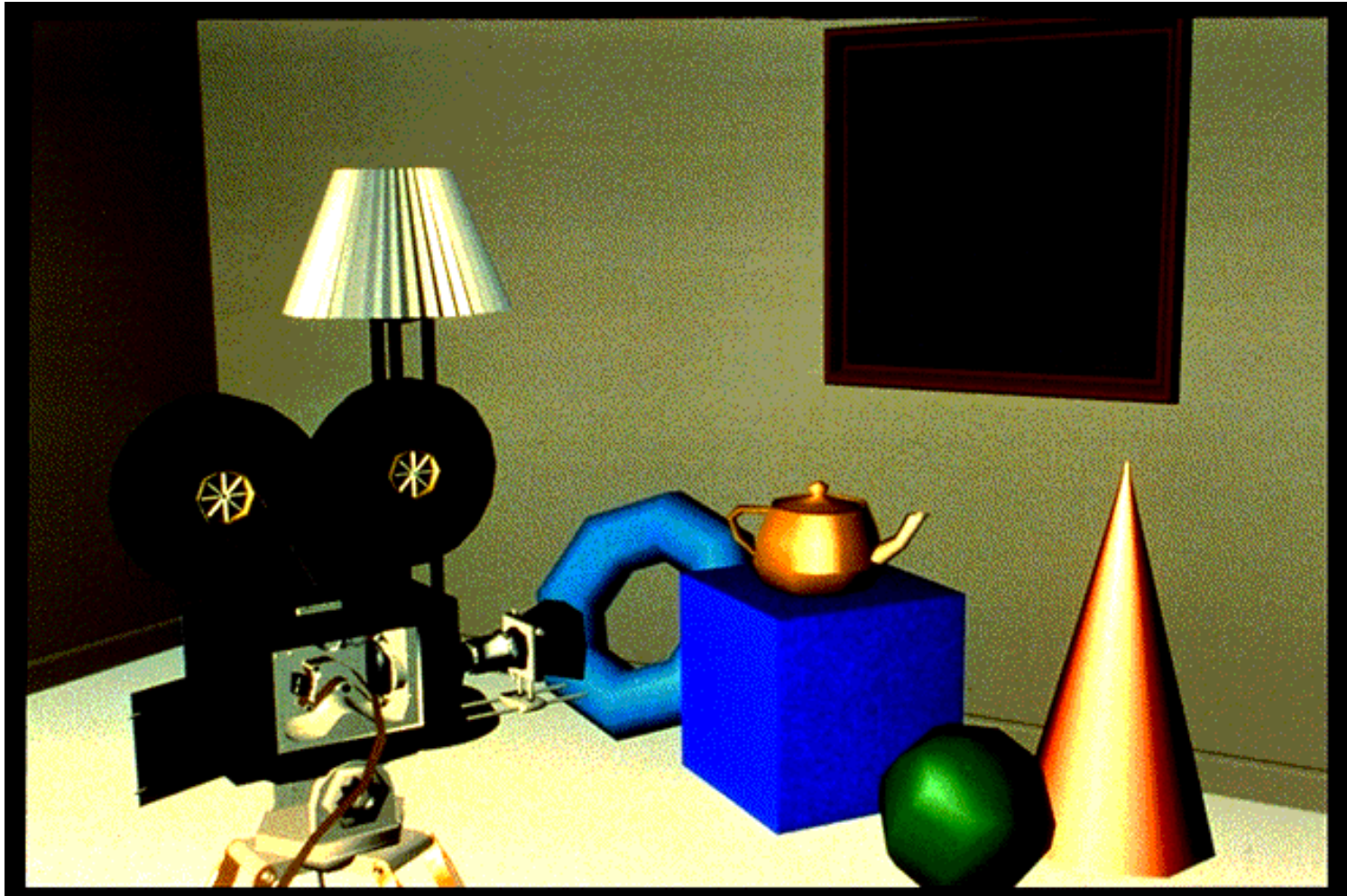


$$I_a = I_1 - (I_1 - I_2) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_2}$$

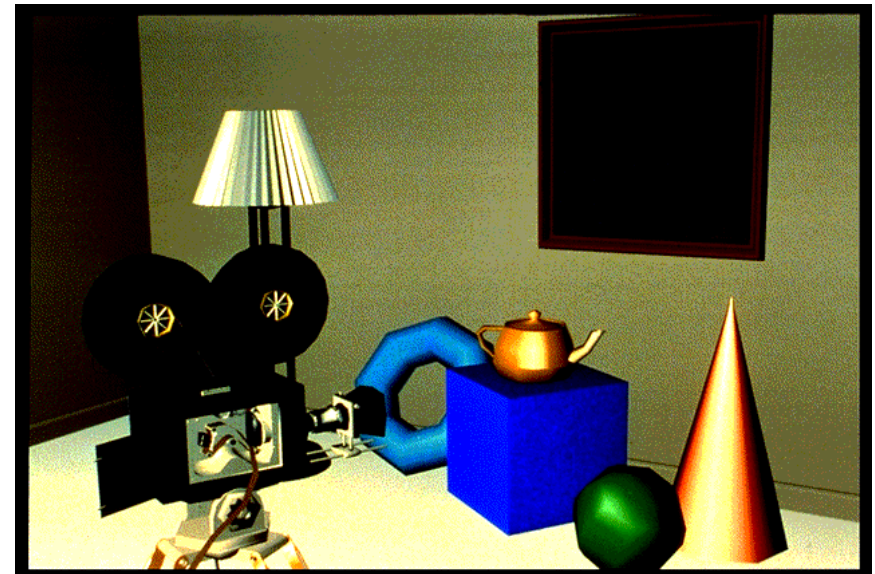
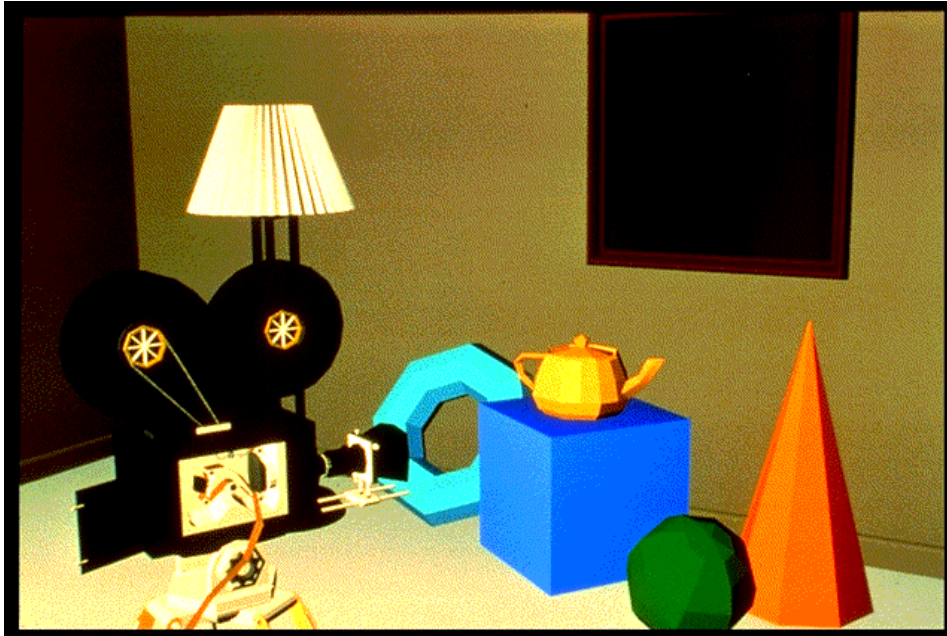
$$I_b = I_1 - (I_1 - I_3) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_3}$$

$$I_p = I_b - (I_b - I_a) \frac{x_b - x_p}{x_b - x_a}$$

Gouraud Shading

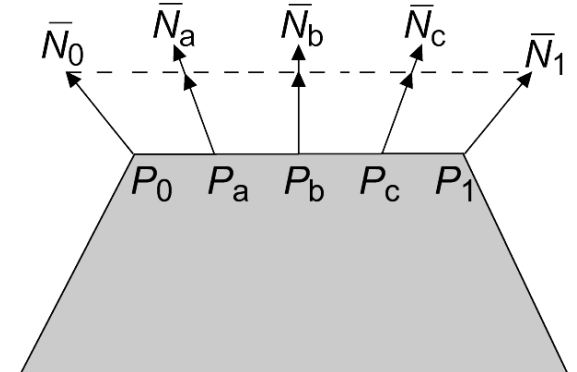


Comparando Flat e Gouraud

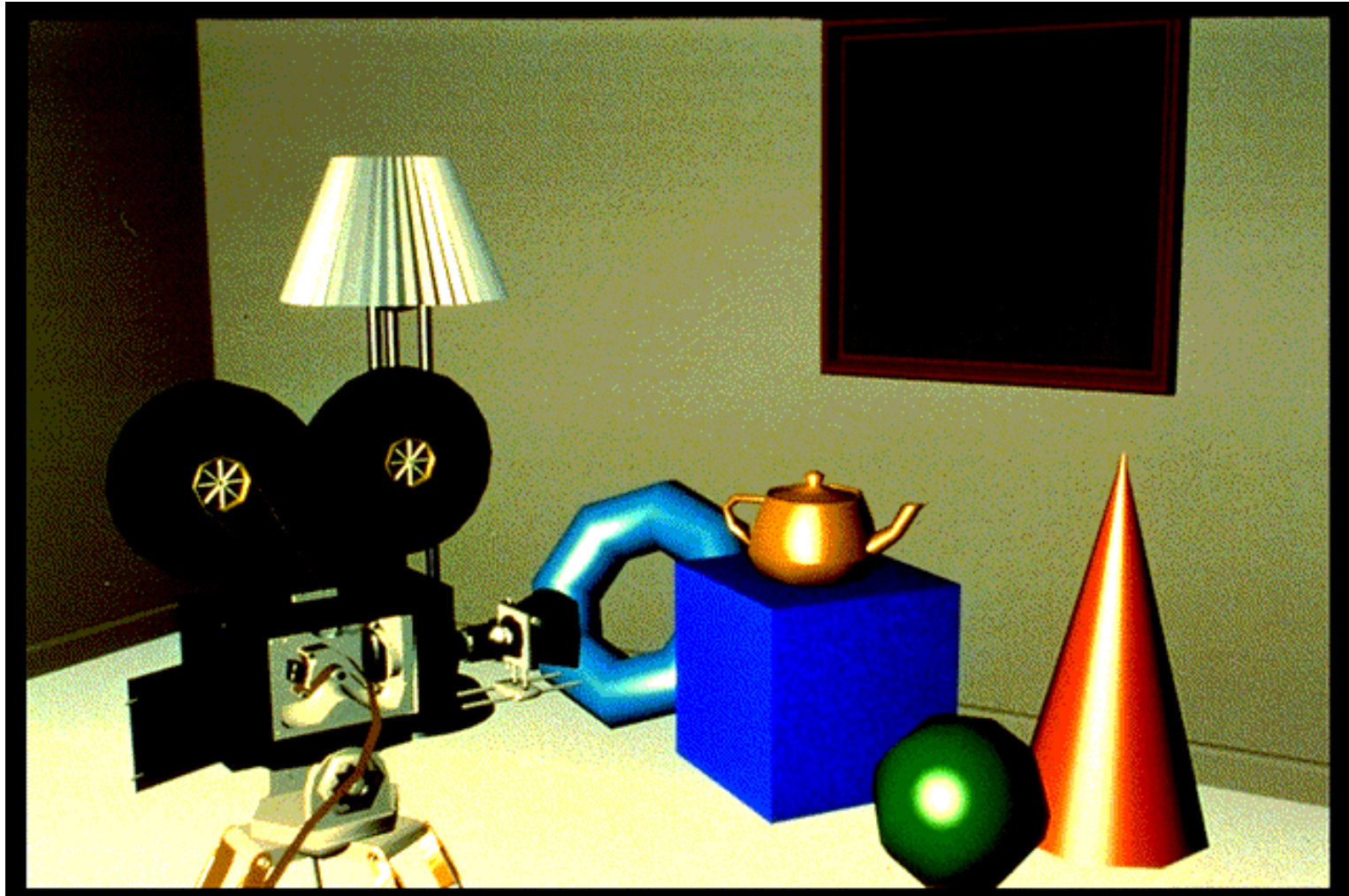


Phong Shading

- Também conhecido como interpolação do vetor normal
- Interpola a normal da superfície, ao invés da intensidade
- Normais obtidas a partir das normais dos vértices
- Processo:
 - Encontra a normal para o ponto dado
 - Calcula-se a intensidade com aquela normal

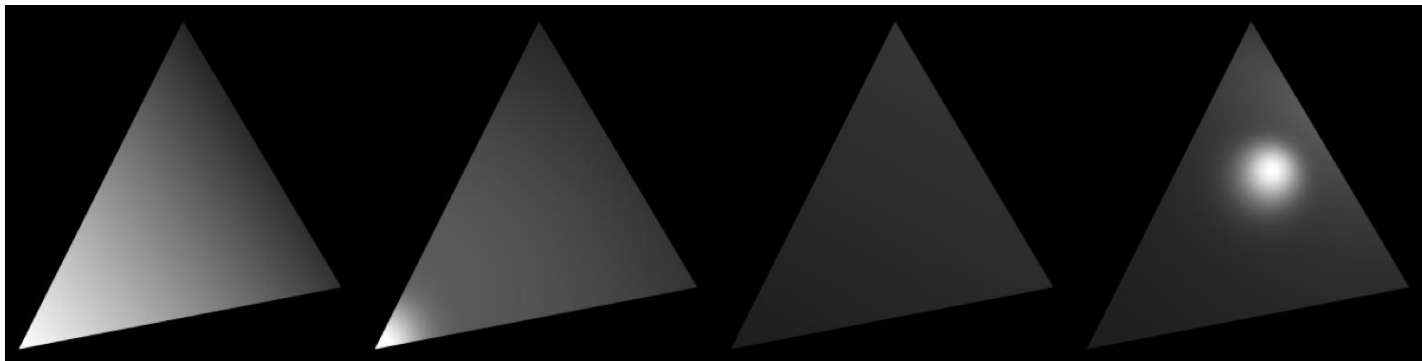


Phong Shading

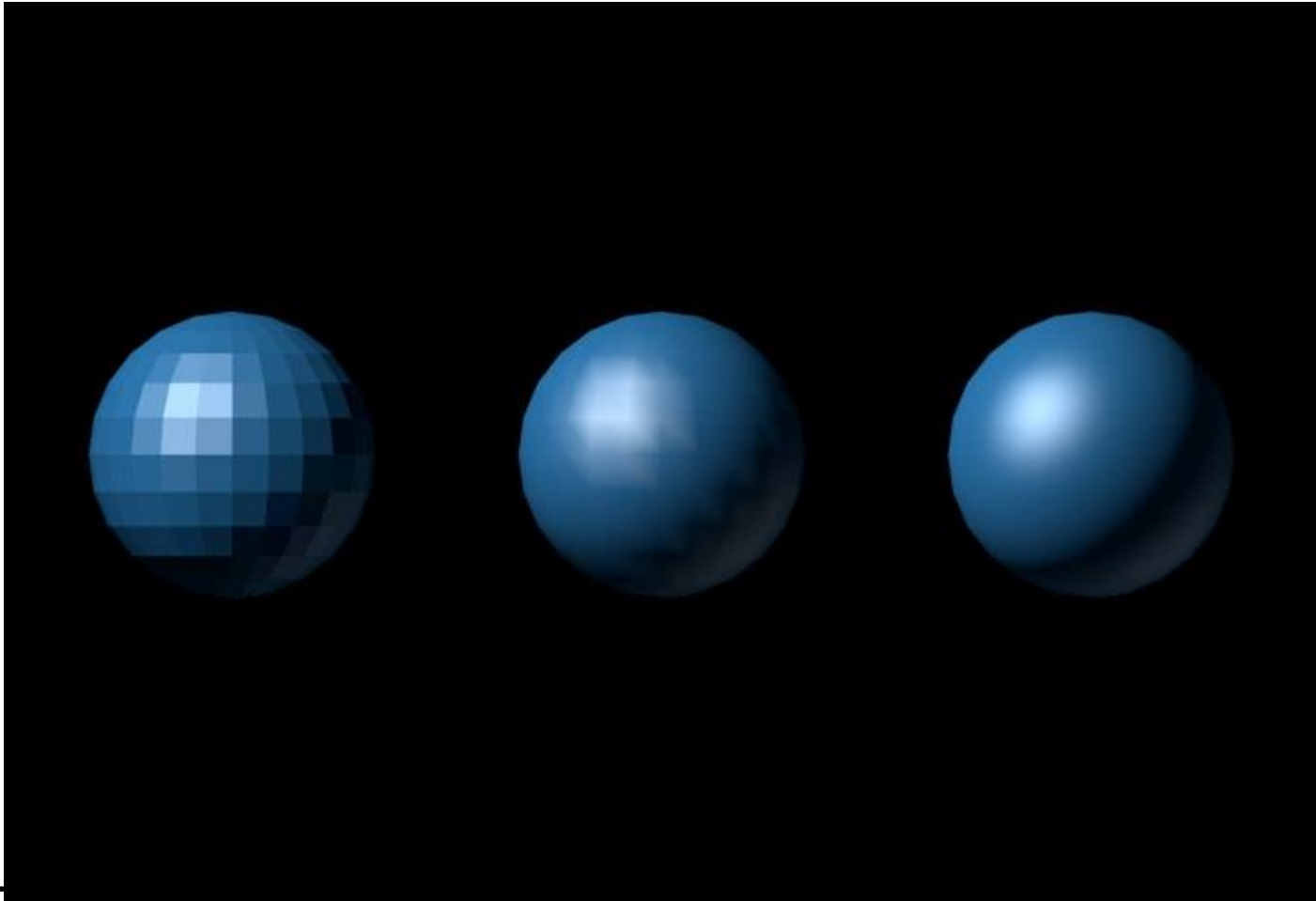


Gouraud / Phong

- Resultados obtidos com Phong shading são mais realistas que Gouraud
- Gouraud pode apresentar problemas, principalmente com componente especular. Porque?



Métodos de sombreamento

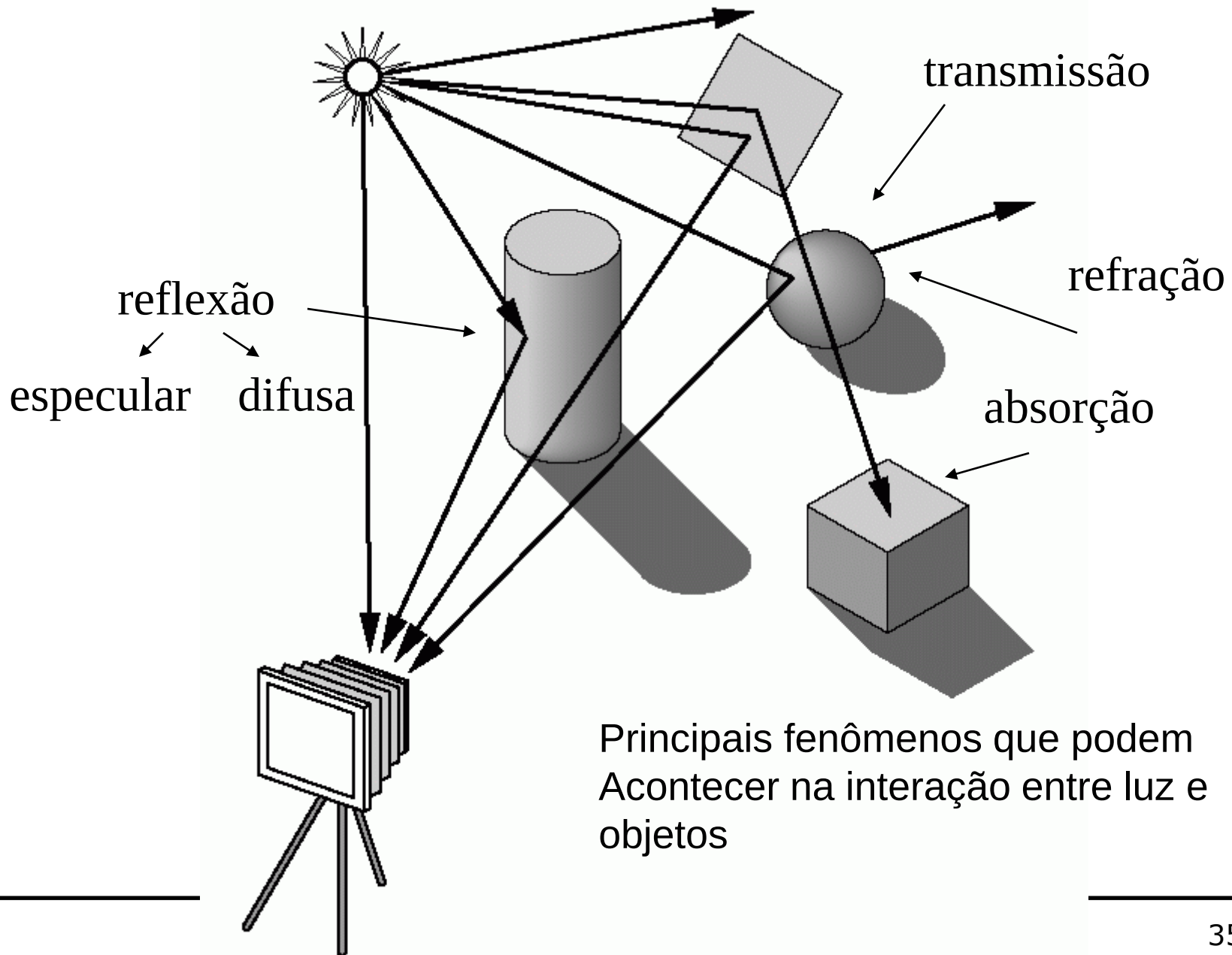


Iluminação Direta

- Luz direta aplicada aos objetos

Iluminação Global

- Complexidade do problema
 - Objetos
 - Fontes de Luz
 - Interação entre os 2
 - Percepção Humana
- Soluções empíricas x baseadas em física
- *Truques* que funcionam visualmente
 - Exemplo $\cos^n$ para o reflexo especular



Iluminação Local

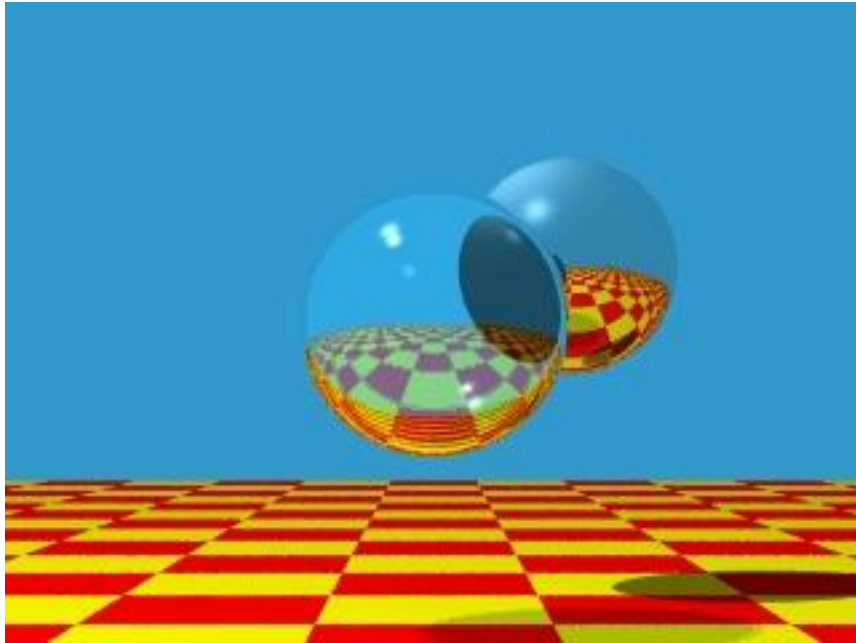
- O cálculo de iluminação num ponto da superfície independe da energia recebida *indiretamente*
- Toda informação necessária para este cálculo é LOCAL
- Exemplos: *Flat shading, Gouraud, Phong*
- Parcela Ambiente simula este efeito

Iluminação Global

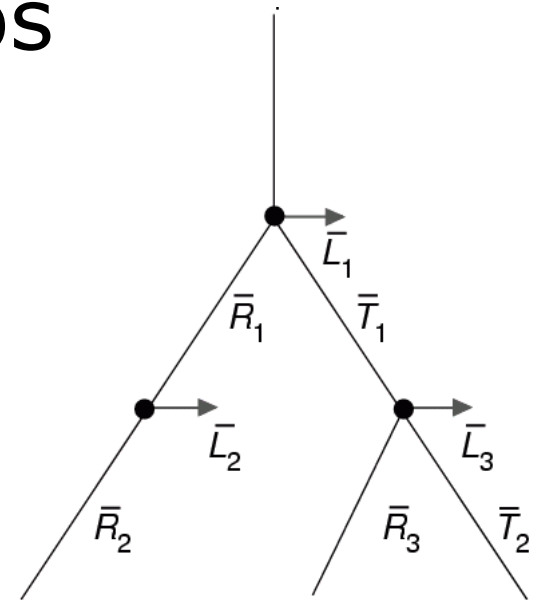
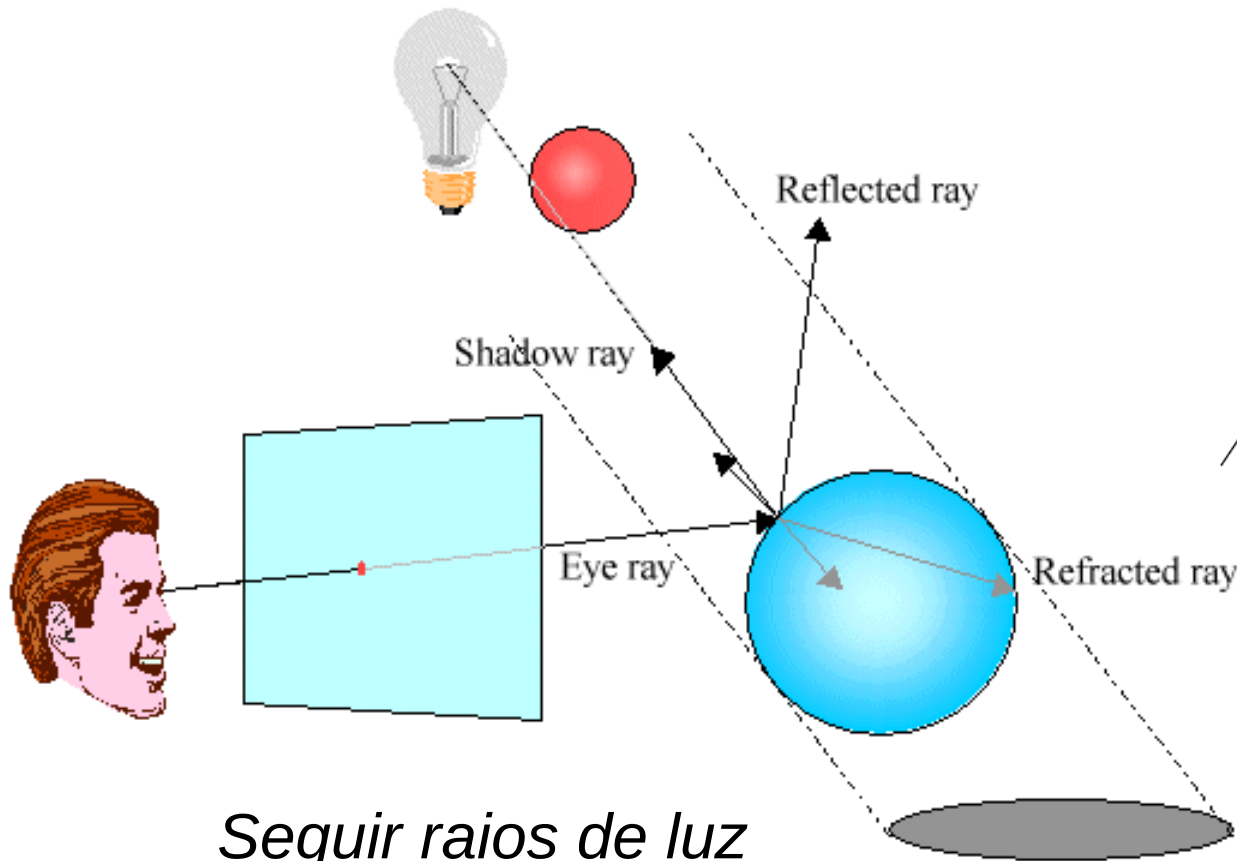
- Leva em consideração a iluminação indireta
- Decorrente das inter-reflexões entre luz e objetos na cena

Traçado de Raios

- Primeiras idéias em 1968
(*Ray Casting*)
- 1980 Turner Whitted
 - *Communications of the ACM*
N. 23, V. 6, June 1980, p.
343-349)

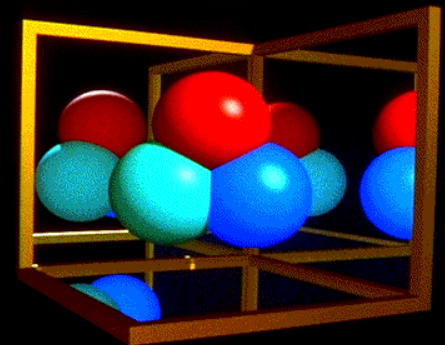
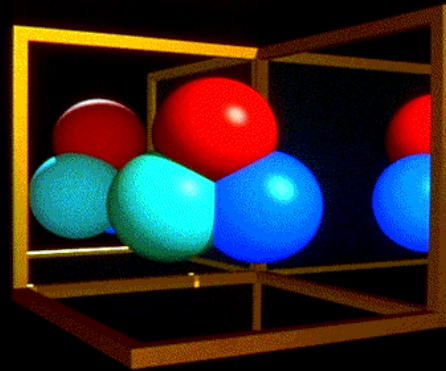
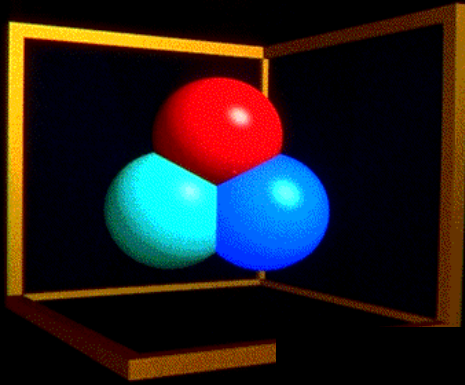


Traçado de Raios



*Seguir raios de luz
no ambiente, a partir
do observador*

Múltiplos Níveis de Reflexão



Traçado de Raios

$$I = I_{local} + k_{rg} I_{reflexão} + k_{tg} I_{transmitida}$$

$$I_{local} = I_a k_a + I_p [k_d (N.L) + k_r (R.V)^n]$$

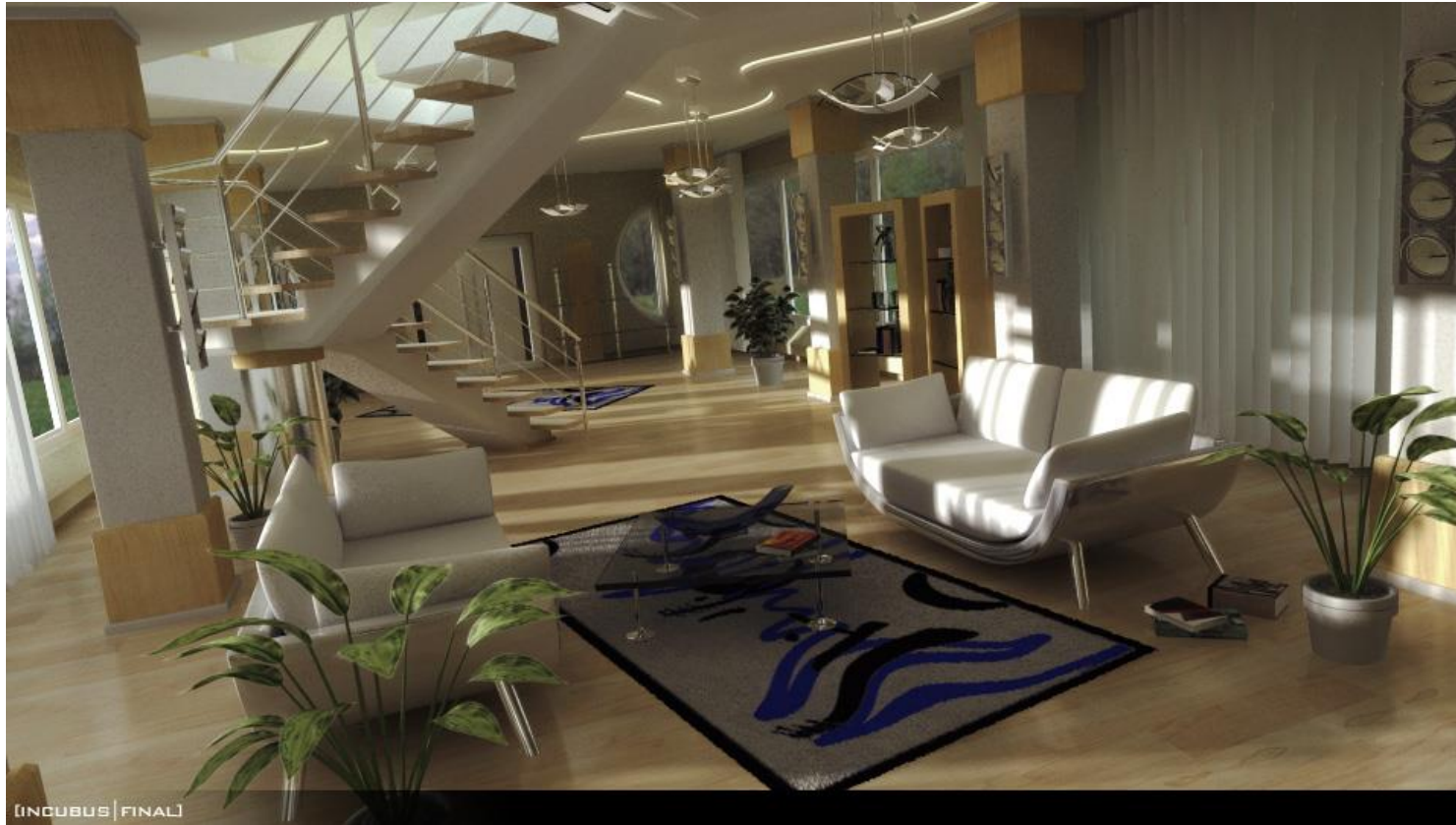


Modelo Iluminação Local

Traçado de Raios

- Gargalo é cálculo de intersecções (até 95% do tempo total)
- Métodos para aceleração principais
 - Menos Intersecções
 - Intersecções mais rápidas

Galeria



Kirschner, Andre

RENDERER USED: 3d studio max

RENDER TIME: approx 6 hours 30 minutes

HARDWARE USED: AMD1600+, ti4200

Galeria – Mental Ray

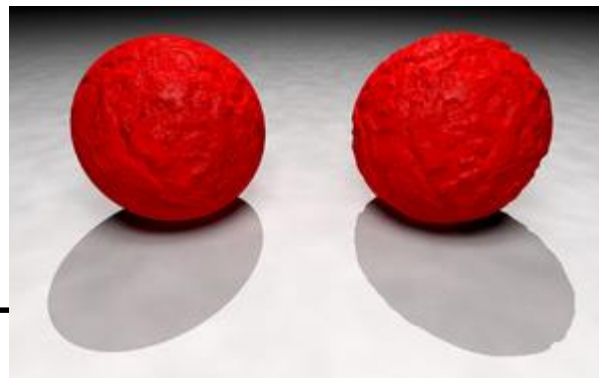
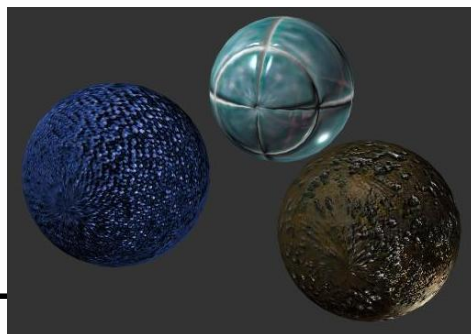
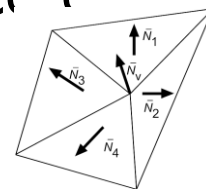


Maiores Referências

- An Introduction to Ray Tracing - A. Glassner
Academic Press, 1989
- Internet Ray Tracing Competition
www.irtc.org
- Softwares
 - <http://www.povray.org/>
 - Rayshade

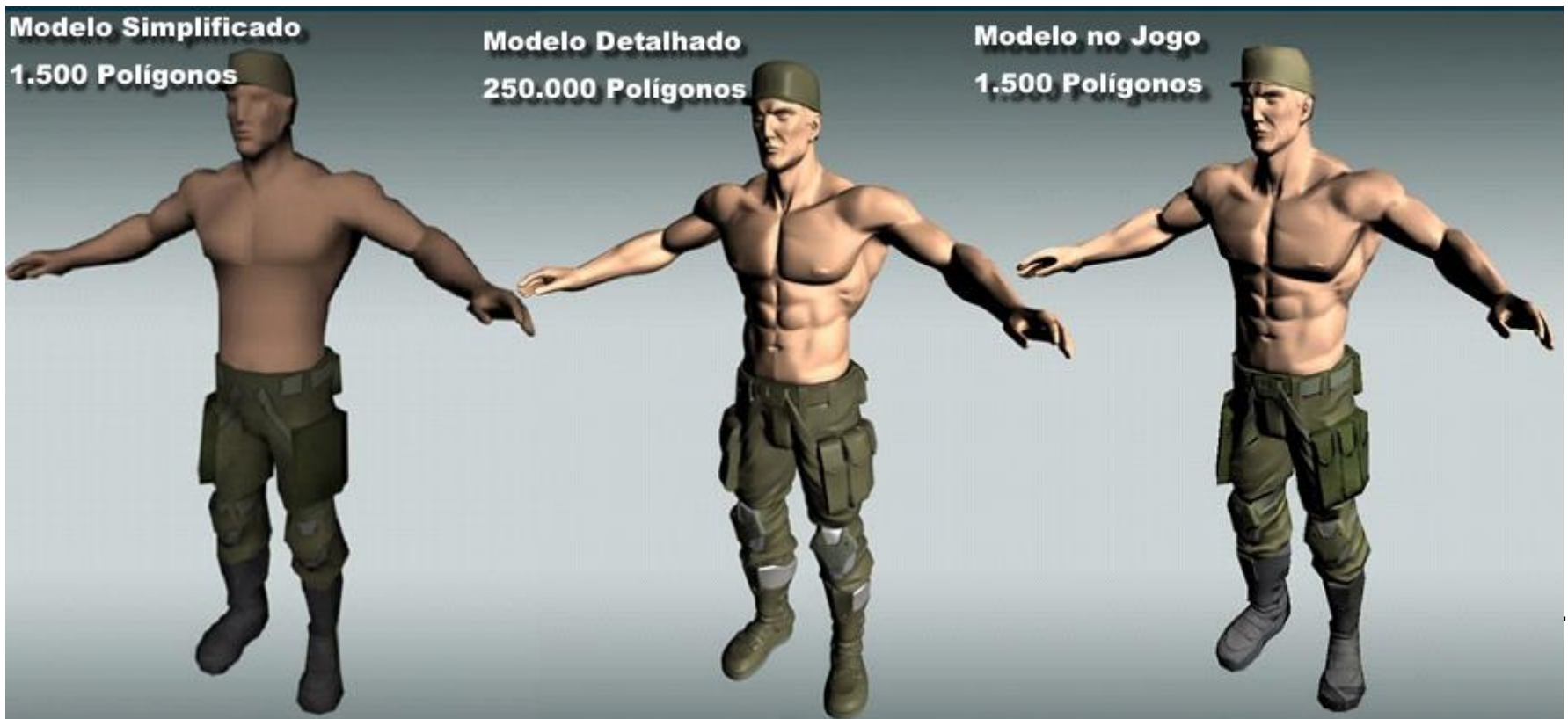
Bump Mapping

- Conforme visto, o vetor normal é importante no processo de renderização.
- No entanto, o cálculo do vetor normal a cada vértice é um processo custoso e piora conforme aumenta o número de vértices dos objetos
- James Blinn primeiramente propôs o Bump Mapping (alteração aleatória nas normais dos polígonos de maneira a prover rugosidade a um objeto plano)



Normal Maps

- Assim, os normal maps foram propostos com o mesmo fim, mas sendo providos de um modelo high poly e não aleatoriamente



Bump X Normal Maps

<https://youtu.be/yHzIx41eiD4>