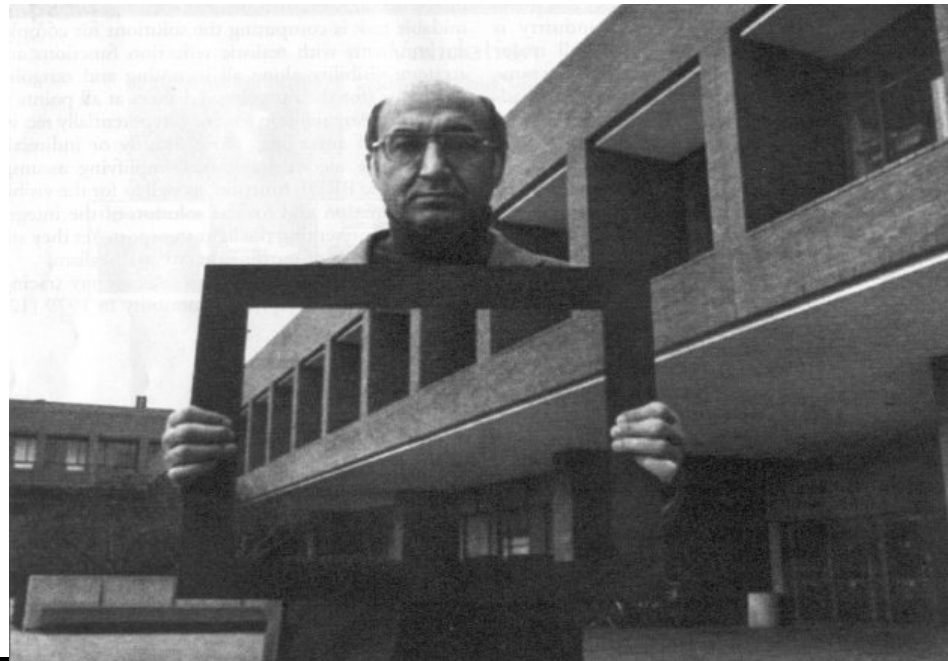


# Iluminação e Sombreamento

Soraia Musse

# 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

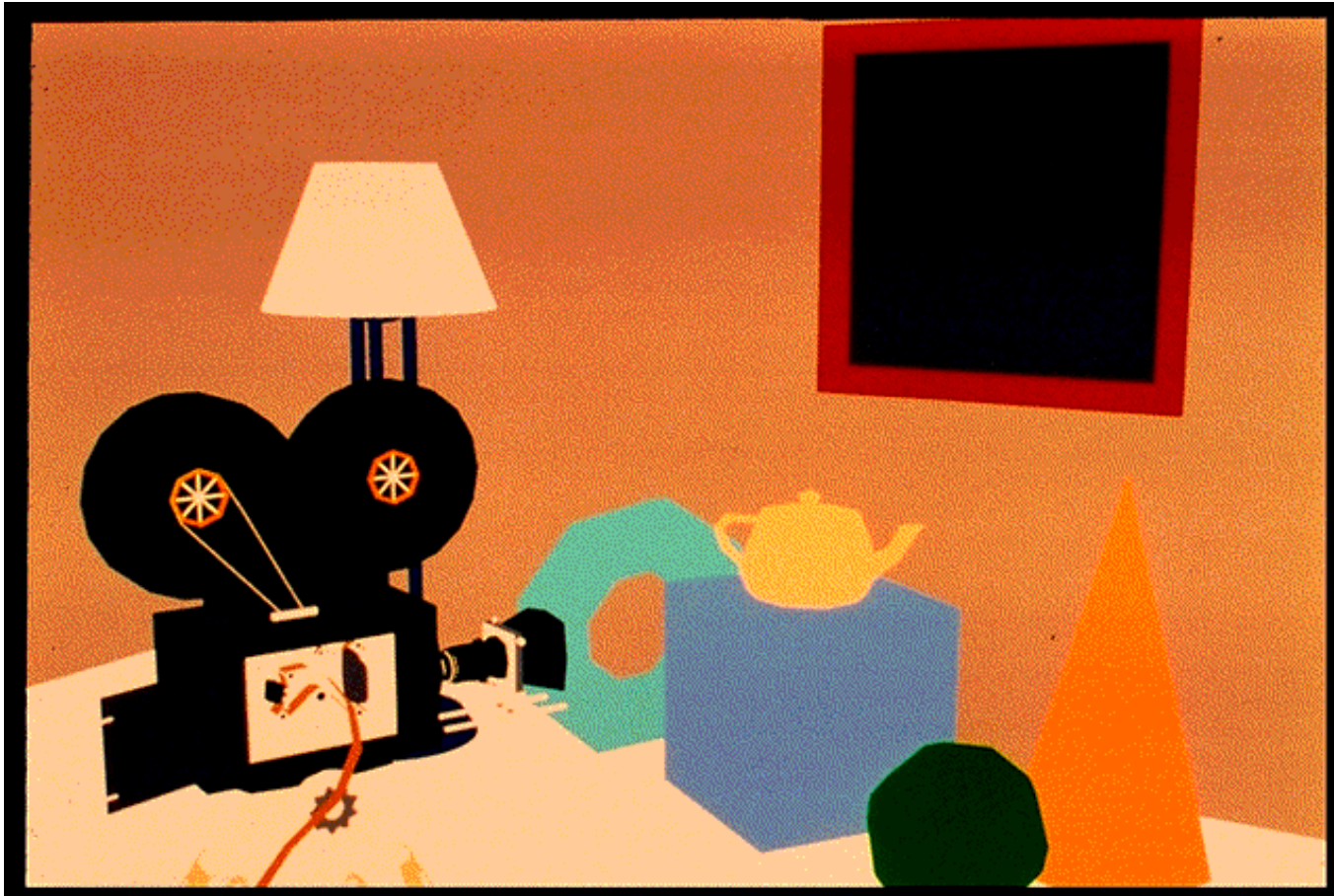
## Intensidade dos objetos

- 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



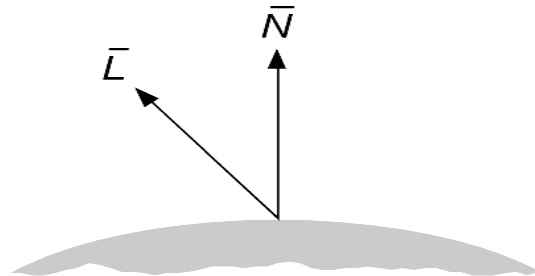
## Reflexão Difusa

- 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

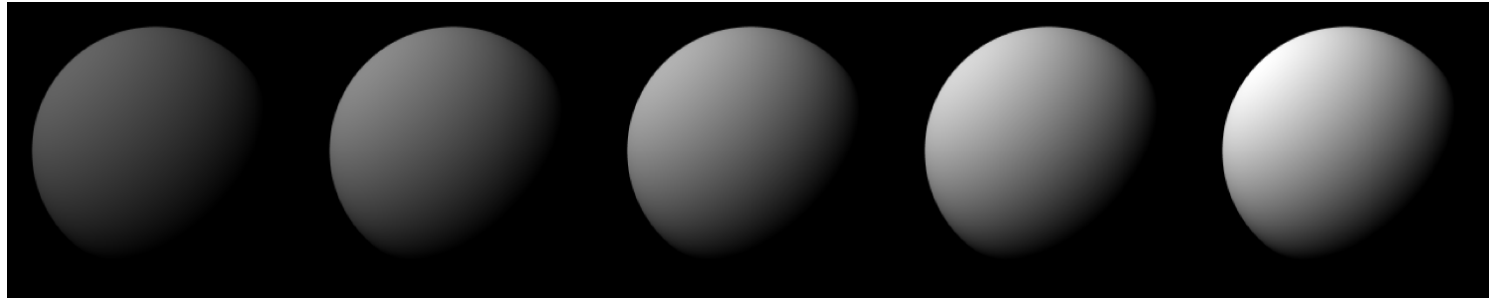
- Alguns materiais apresentam reflexão difusa
- Essas superfícies refletem a energia luminosa igualmente, sob qualquer ângulo de visão, porque elas refletem luz com igual intensidade em todas as direções
- O brilho dependerá somente do ângulo formado entre a direção da fonte da luz e a normal da superfície



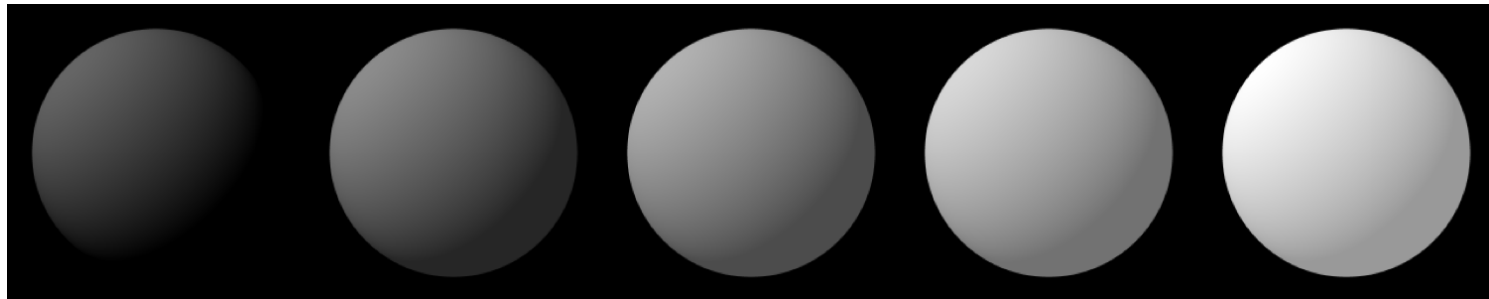
## Reflexão Difusa

- A reflexão difusa independe da direção do observador sendo proporcional somente ao cosseno de  $\theta$ .
  - $I = I_p K_d \cos \theta$
  - $I_p$  = 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



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



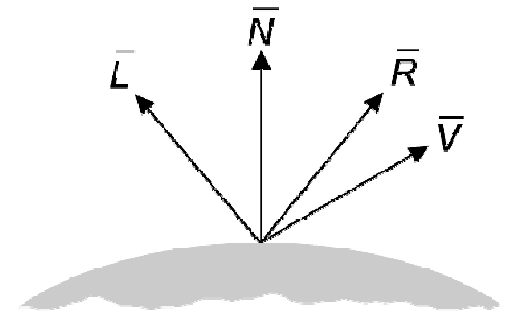
$I_a = I_p = 1.0, K_d = 0.4, K_a = 0.0, .015, 0.3, 0.45, 0.6$

## 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  $\alpha^*$  é zero e cai rapidamente quando  $\alpha$  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
- A equação de iluminação fica (O=cor)

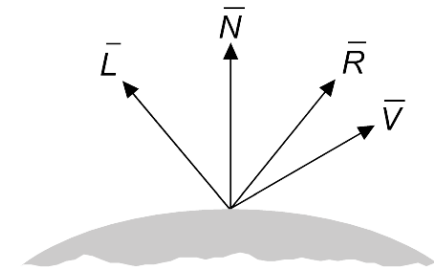
considerando vetores normalizados,

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

incluindo a cor especular

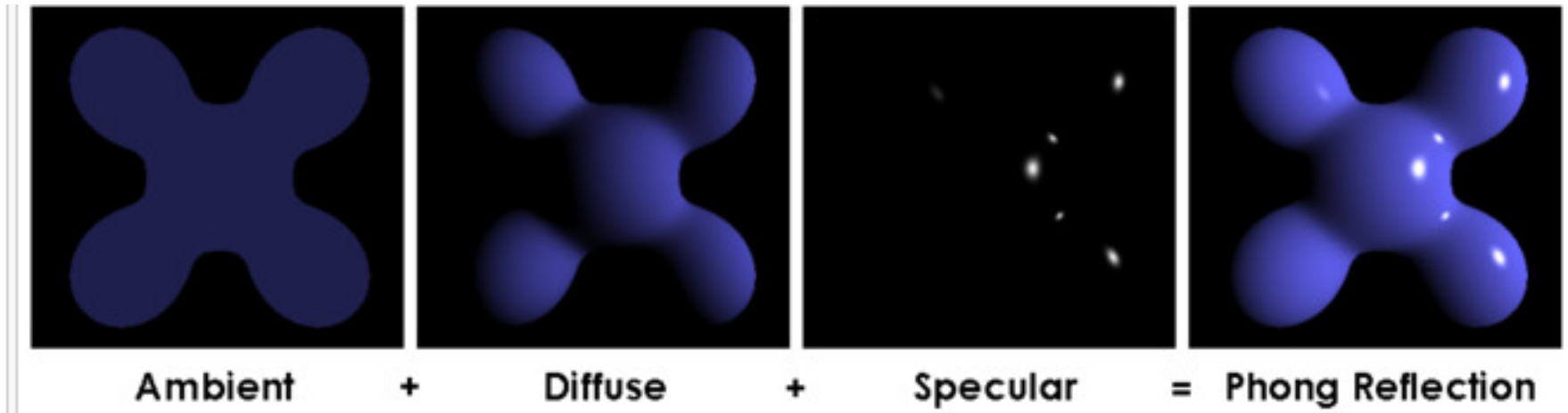
$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} [K_d O_{d\lambda} (N.L) + K_s O_s (R.V)^n]$$

R = reflexão e V=viewpoint

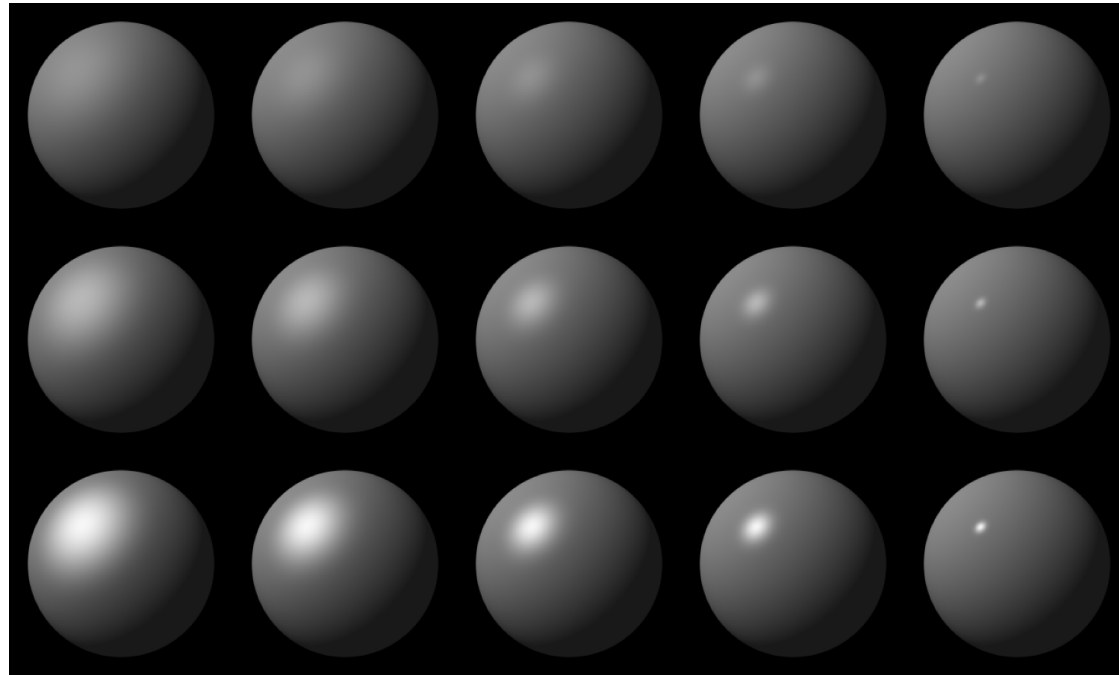


---

\* $\alpha$  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

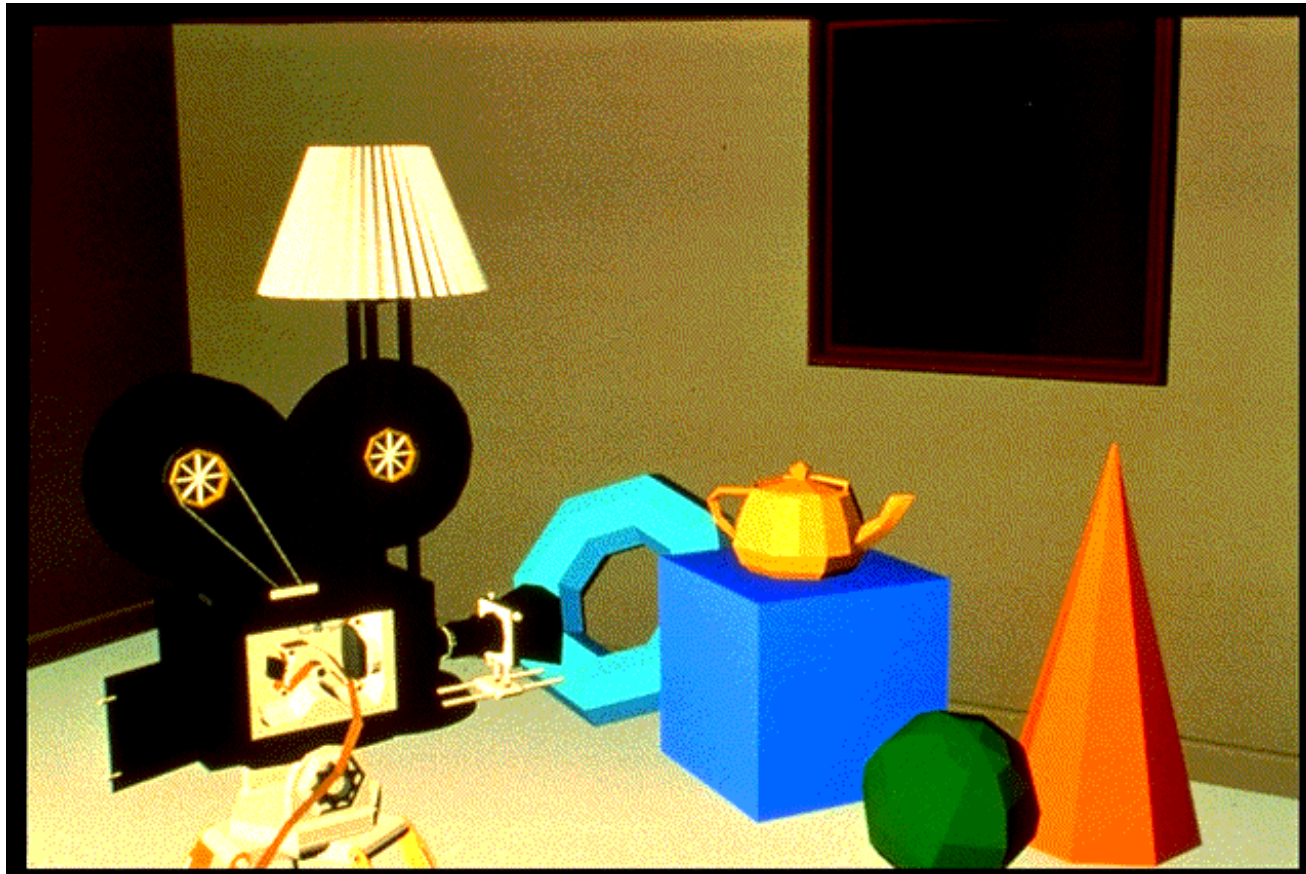
## *Flat Shading*

- 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

- 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
- Métodos apresentados até aqui apresentam esse efeito
  - Aplicam-se a cada polígono individualmente

# Sombreamento de Malhas Poligonais



# Sombreamento de Malhas Poligonais

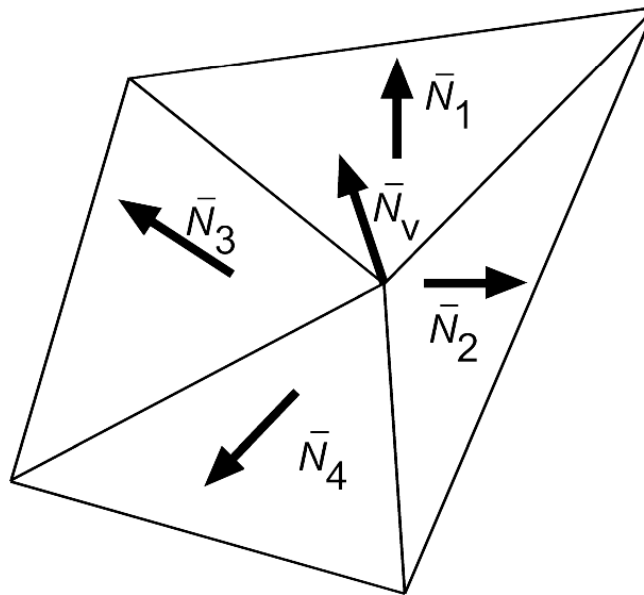
- Existem dois modelos para malhas poligonais que aproveitam as informações fornecidas pelos polígono adjacentes para simular uma superfície suave
- *Gouraud Shading*
- *Phong Shading*

## *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*

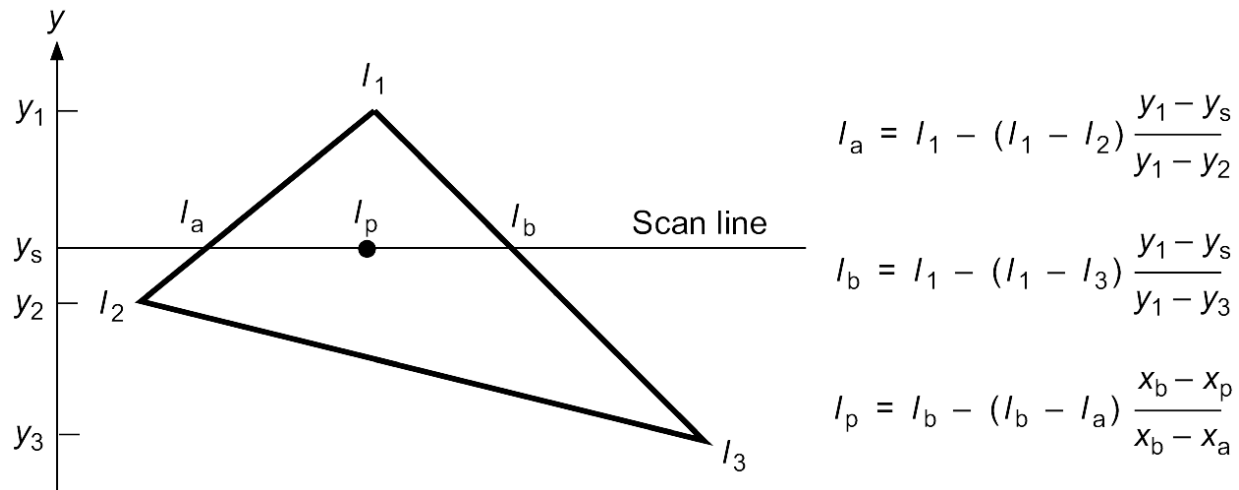
- Necessita da normal de cada vértice
- Pode-se obter esta normal fazendo a média entre as normais das superfícies às quais o vértice pertence



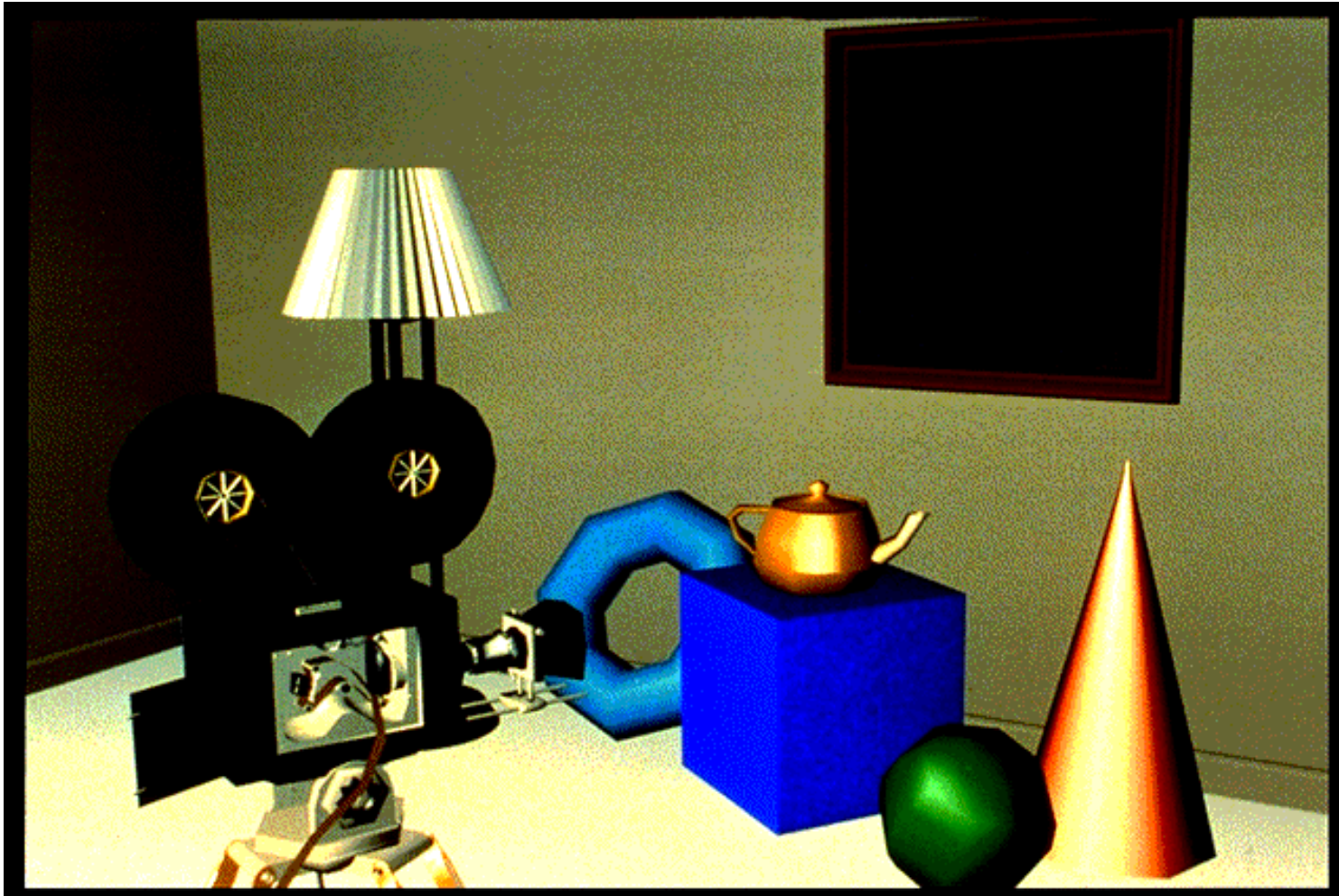


## *Gouraud Shading*

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

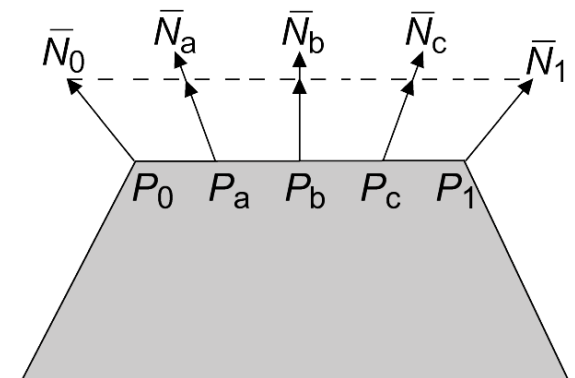


## *Gouraud Shading*

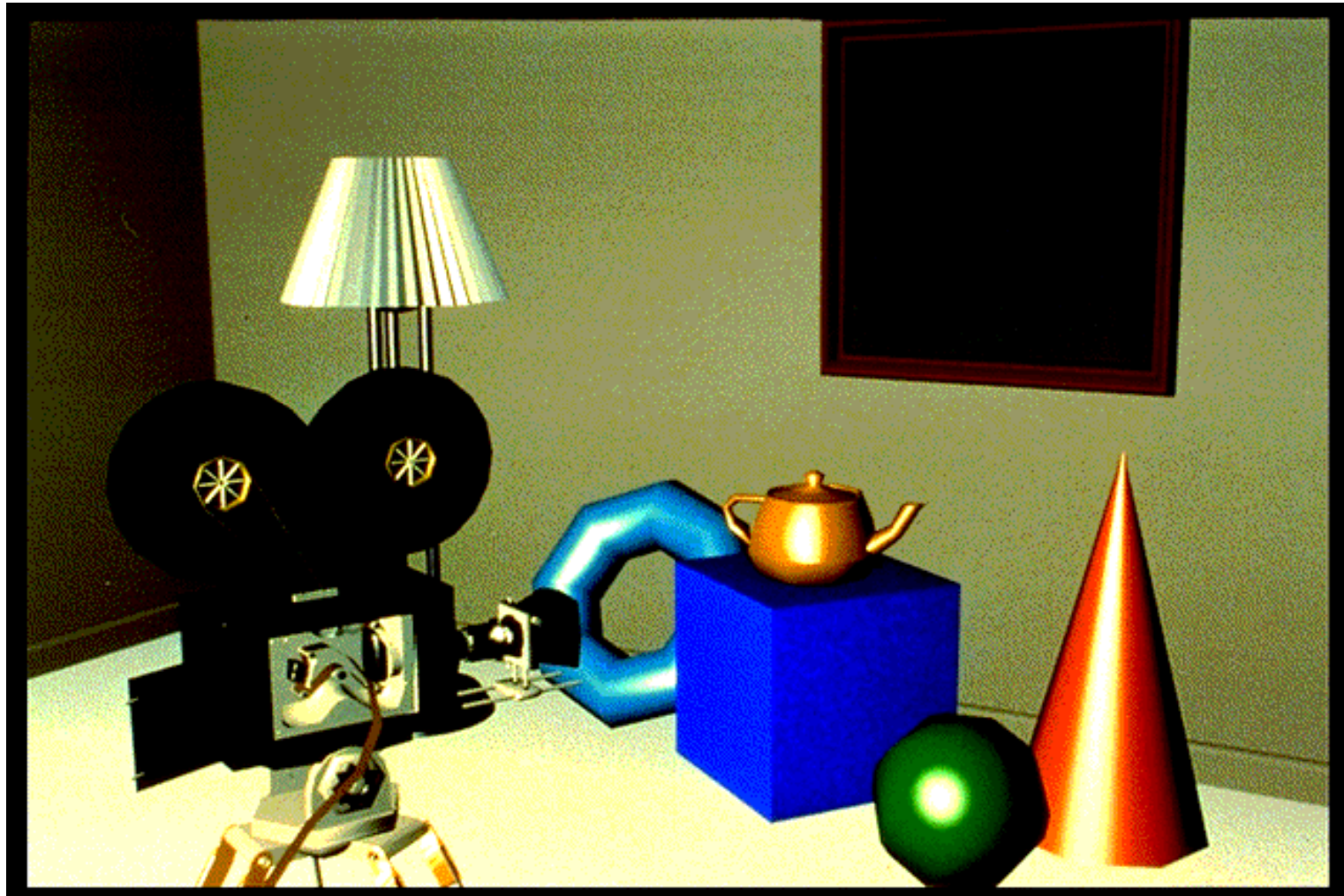


## *Phong Shading*

- 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*



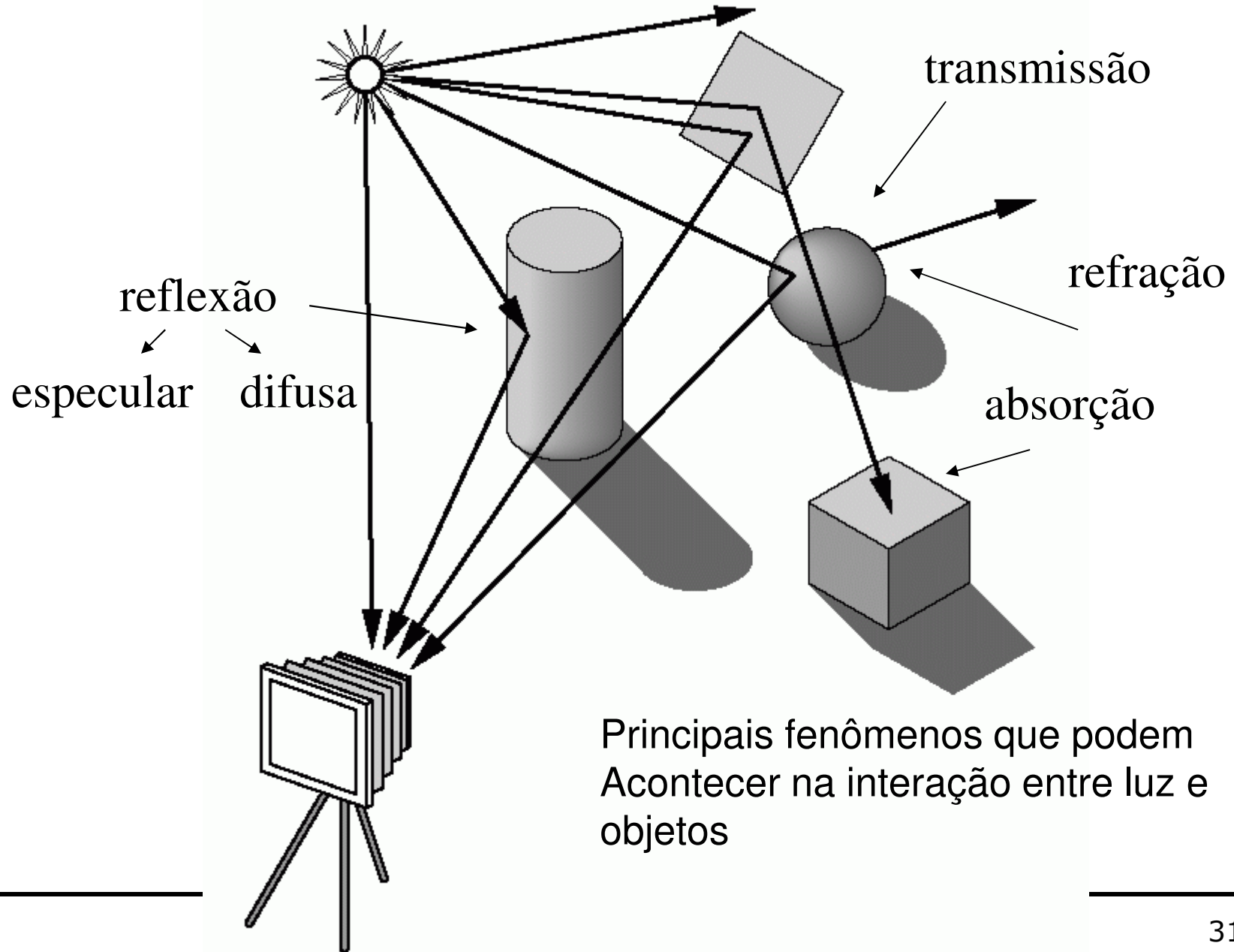
## Gouraud / Phong

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



## 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

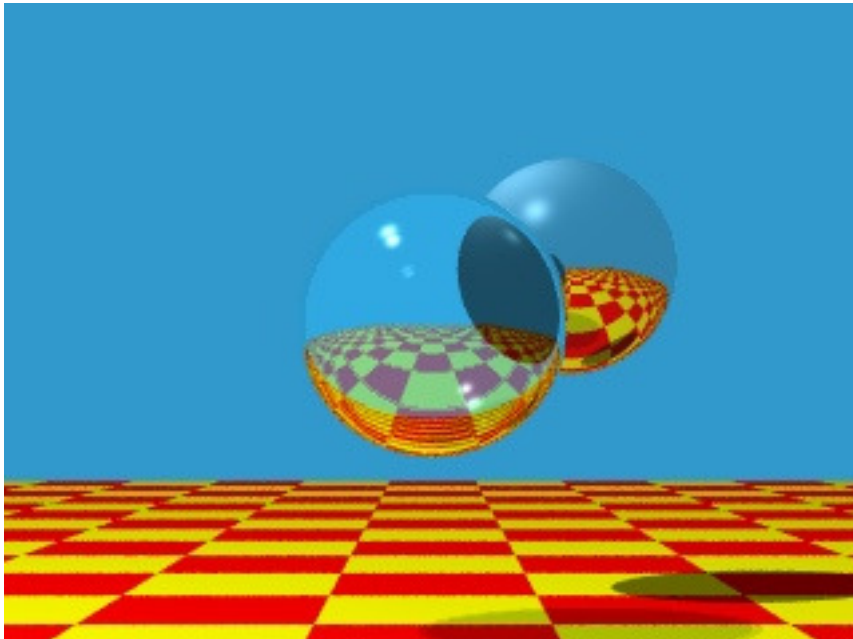


## Iluminação Global

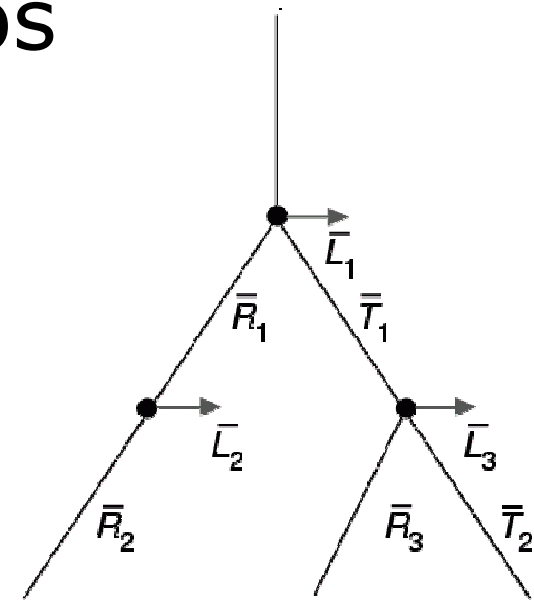
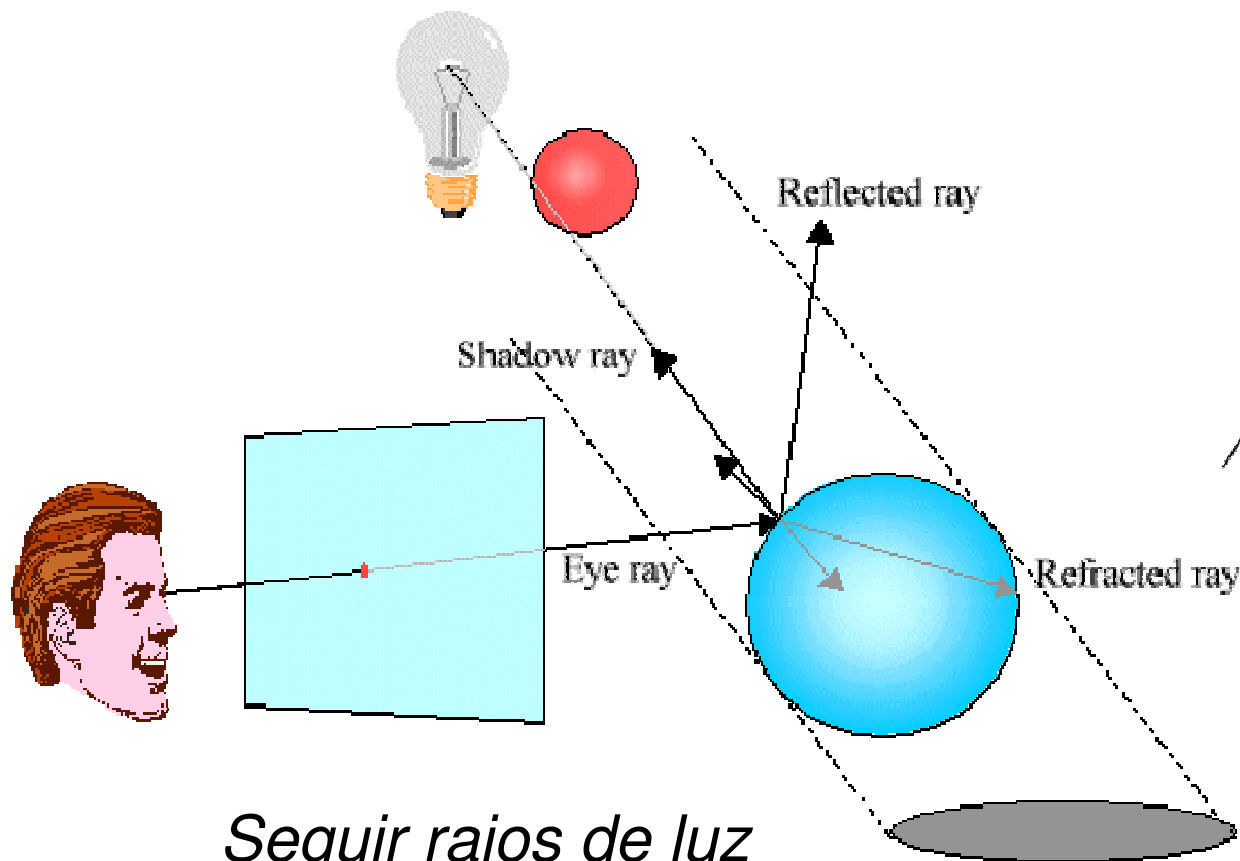
- Leva em consideração a iluminação indireta
- Decorrente das inter-reflexões entre luz e objetos na cena

## 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)

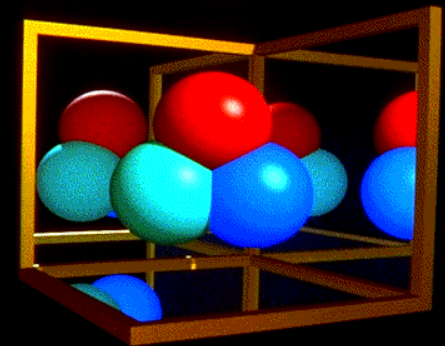
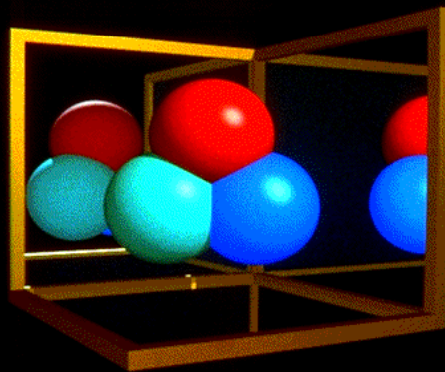
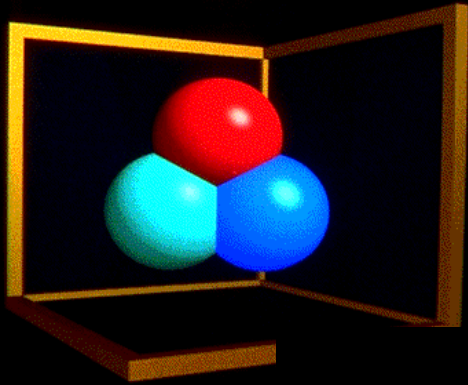


## Traçado de Raios



*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



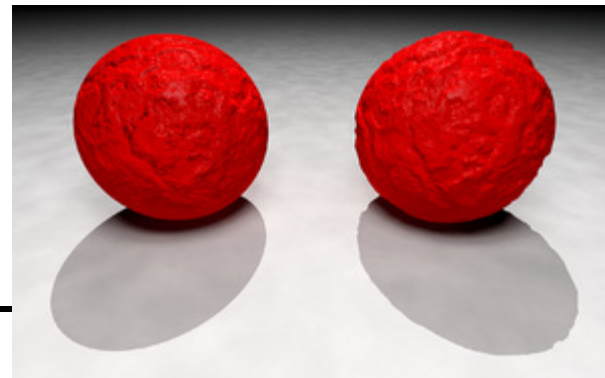
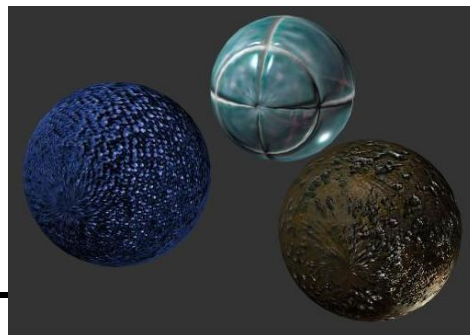
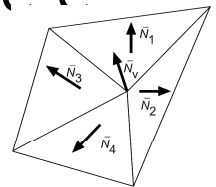


## Maiores Referências

- An Introduction to Ray Tracing - A. Glassner  
Academic Press, 1989
- Internet Ray Tracing Competition  
[www.irtc.org](http://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

