



Iluminação

Modelos de Iluminação em Tempo Real;



Iluminação

- Tópicos:
 - Fundamentos de iluminação
 - Modelos de Shading



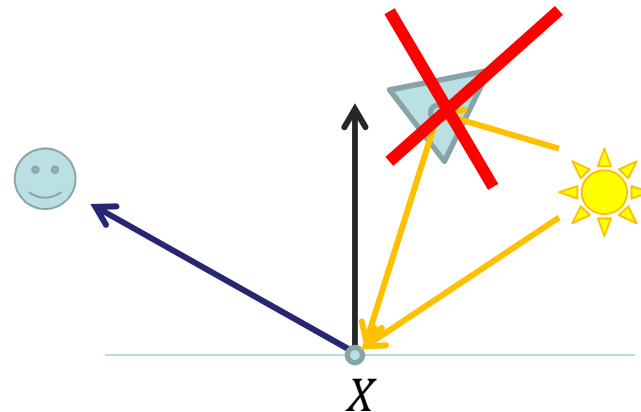
Iluminação - Fundamentos

- Em CG a iluminação simula o modo como os objectos reflectem a luz em tempo real ... ou não.
- A versão em tempo real é uma aproximação empírica da iluminação real, por vezes sem profundas bases teóricas que a sustente, no entanto com resultados práticos bastante aceitáveis para alguns fins.
- Esta aproximação deve-se a dois factores:
 - As equações da iluminação real não são totalmente conhecidas
 - Mesmo os modelos simplificados da realidade são extremamente complexos



Iluminação - Fundamentos

- Nos modelos mais simples, assume-se que o cálculo da intensidade reflectida por um objecto depende somente da relação entre a superfície a ser iluminada e a fonte de luz.
- Os restantes objectos não participam





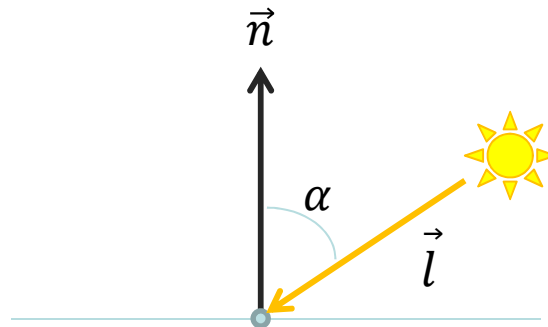
Iluminação - Fundamentos

- Consideremos uma fonte de luz que emite luz numa determinada.
- Podemos ter em conta três factores:
 - intensidade da luz
 - orientação do objecto em relação à fonte de luz
 - distância à fonte de luz
- Nota: no caso do Sol de um ponto de vista de quem está na Terra, considera-se que os raios de luz chegam à Terra paralelos por a luz estar “infinitamente longe”, e a distância é irrelevante.



Iluminação - Fundamentos

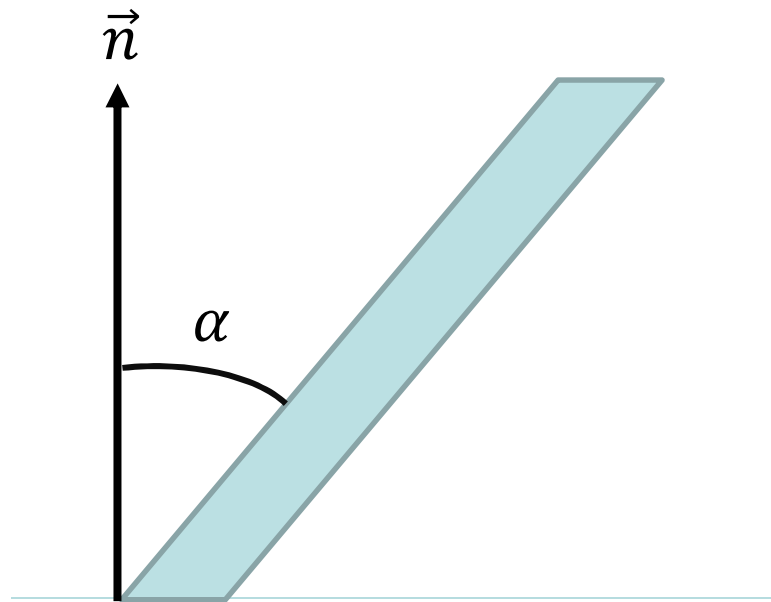
- Como calcular a intensidade de luz por área na superfície de um objecto?
- A intensidade depende do ângulo?





Iluminação - Fundamentos

- Consideremos um feixe de luz de “largura” d a incidir numa superfície com um ângulo de incidência α



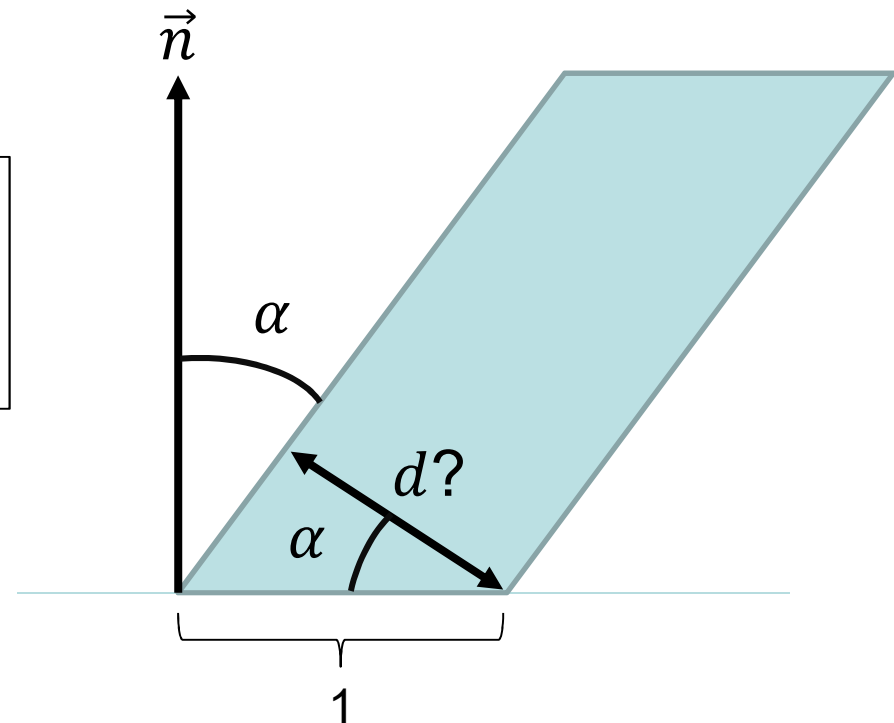


Iluminação - Fundamentos

- A superfície coberta pelo feixe tem “comprimento” 1
- A “largura” do raio é $d = \cos(\alpha)$

Resumindo: a intensidade que chega à superfície por área (I) depende da intensidade do emissor (L) e do ângulo de incidência (α)

$$I = L \times \cos(\alpha)$$





Iluminação - Fundamentos

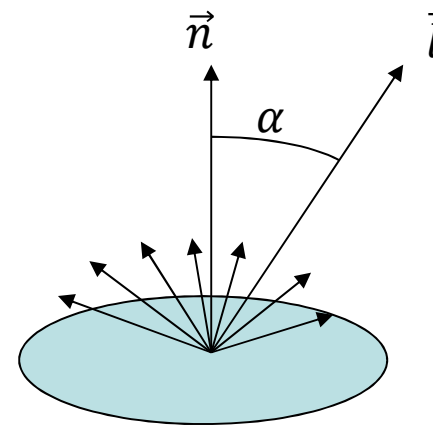
- Reflexão difusa (Lambert)
 - A intensidade recebida é reflectida uniformemente em todas as direcções.

Luz reflectida

intensidade da luz

$$I_d = K_d \times L_d \times \cos(\alpha)$$

coeficiente de reflexão difusa





Iluminação - Fundamentos

- Atenuação baseada na distância

$$I_d = f_{att} \times I_d$$

- A escolha *correcta* seria:

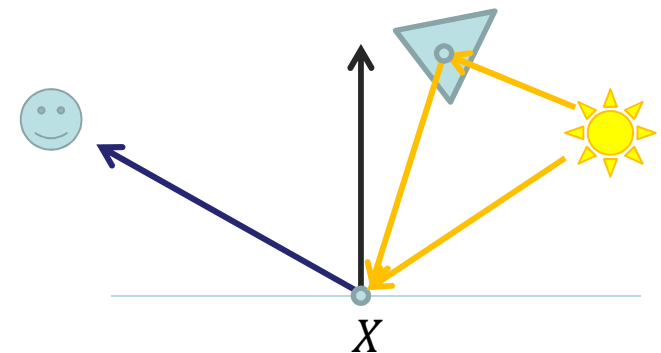
$$f_{att} = \frac{1}{d^2} \longleftarrow \text{distância à fonte de luz}$$

- Ou seja, a intensidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o objecto e a fonte de luz



Iluminação - Fundamentos

- A escolha *correcta* no entanto não produz os efeitos desejados.
 - Luz próxima => grandes variações
 - Luz distante => intensidade demasiado pequena
- A realidade não se resume a uma fonte de luz sem interacção entre os objectos.
- Numa situação real a luz recebida por um objecto pode provir
 - Directamente da fonte de luz
 - Ser reflectida por outros objectos





Iluminação - Fundamentos

- Uma solução de compromisso é:

$$f_{att} = \min\left(\frac{1}{c_1 + c_2d + c_3d^2}, 1.0\right)$$

c_1, c_2, c_3 : constantes associadas à fonte de luz.

c_1 : constante que evita que o denominador fique muito pequeno quando a luz está muito perto.

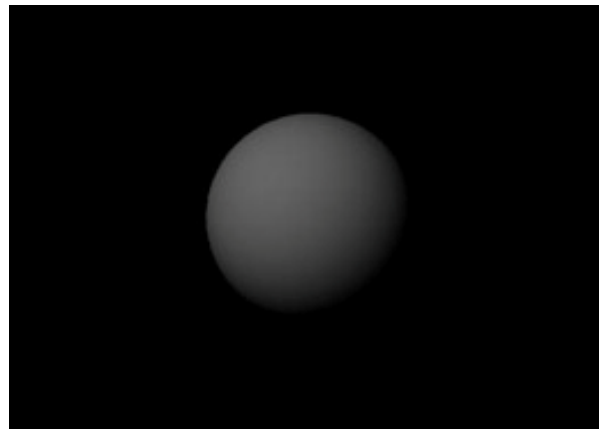
O cálculo do mínimo obriga a diminuir ou manter a intensidade, i.e.

$$f_{att} \leq 1.0$$



Iluminação - Fundamentos

- Só os pontos que estão virados para a luz são iluminados.



- Os pontos que não recebem luz directa ficam completamente escuros.
- Adequado para um modelo do sistema solar mas ...



Iluminação - Fundamentos

- A forma mais simples para colmatar esta lacuna consiste em utilizar iluminação ambiente
- Todos os objectos recebem, para além da componente difusa, uma componente que se denomina por “ambiente”.
- A componente ambiente afecta todos os pontos de um objecto de igual forma.
- Para cada objecto é definida uma constante, que indica a quantidade de luz reflectida fruto desta componente ambiente.



Iluminação - Fundamentos

- Iluminação Ambiente
- Esta forma de iluminação simula de uma forma básica as interações entre os objectos e a luz, iluminando todos os objectos por igual

$$I_a = K_a \times L_a$$

Propriedade do material

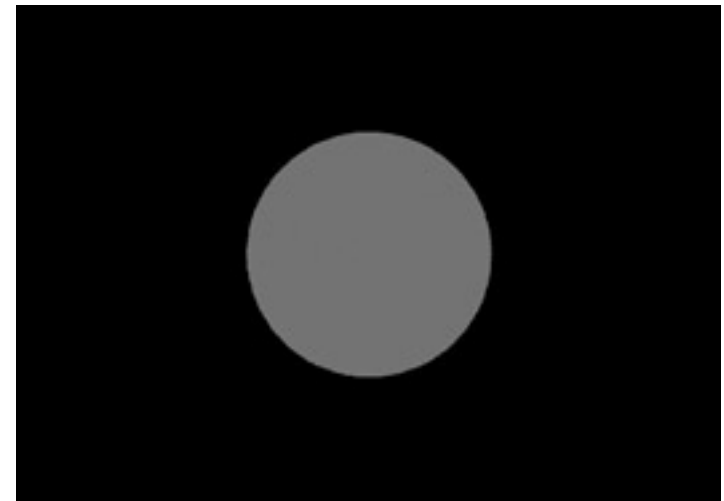
Propriedade da luz

Nota: A componente ambiente da luz permite ajustar de uma forma global esta componente, mas não tem equivalência no mundo real



Iluminação - Fundamentos

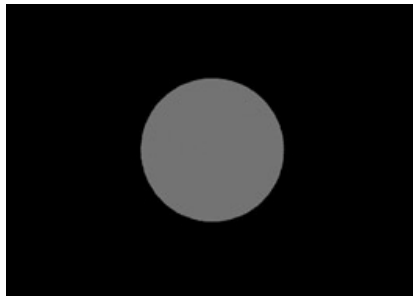
- A iluminação ambiente não tem em consideração a relação espacial entre os objectos e a fonte de luz.
- Todos os objectos são iluminados de forma uniforme independentemente da sua posição ou orientação.
- A própria componente ambiente da luz não tem posição nem orientação definidas.





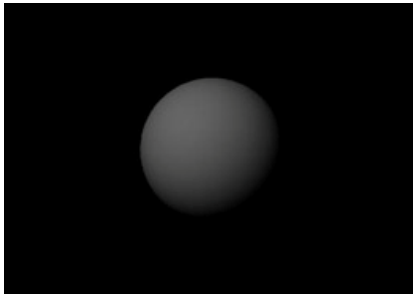
Iluminação - Fundamentos

iluminação ambiente



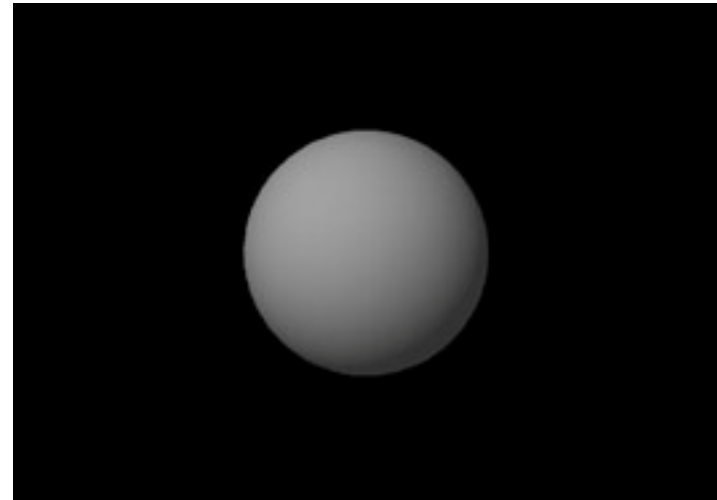
+

iluminação difusa



=

Difusa + Ambiente





Iluminação - Fundamentos

- Ficamos portanto com:

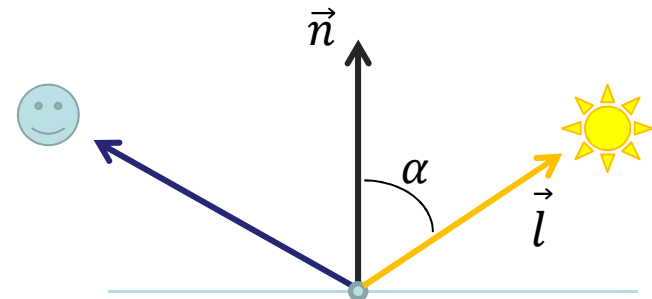
$$I = I_a + I_d = L_a \times K_a + K_d \times L_d \times \cos(\alpha)$$

- Caso ambos os vectores estejam normalizados pode-se substituir o coseno pelo produto interno,

$$I = L_a * K_a + L_d \times K_d \times (\vec{n} \cdot \vec{l})$$

Produto Interno $\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$

Nota: só se consideram valores positivos do produto interno ou coseno





Iluminação - Fundamentos

- Reflexão Especular - Phong



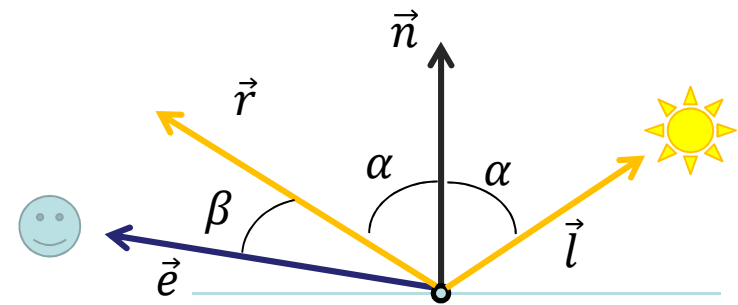
- Ao iluminar materiais brilhantes verifica-se uma mancha mais clara cuja posição depende da posição do observador.



Iluminação - Fundamentos

- Iluminação Especular - Phong

- A intensidade especular é proporcional ao ângulo entre o vector reflectido pela superfície (\vec{r}) e o vector da câmara (\vec{e}), ou seja β



- Cálculo do vector de reflexão:

$$\vec{r} = 2(\vec{n} \cdot \vec{l})\vec{n} - \vec{l}$$

$$I_s = L_s \times K_s \times \cos(\beta)^s$$

s representa *shininess*



Iluminação - Fundamentos

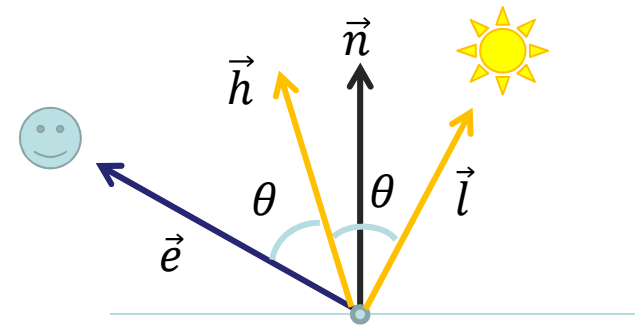
- Iluminação Especular – Blinn-Phong

- Blinn propôs usar o “meio-vector” \vec{h} em vez do vector de reflexão para o cálculo da componente especular
- O ângulo é medido entre o “meio_vector” e a normal.

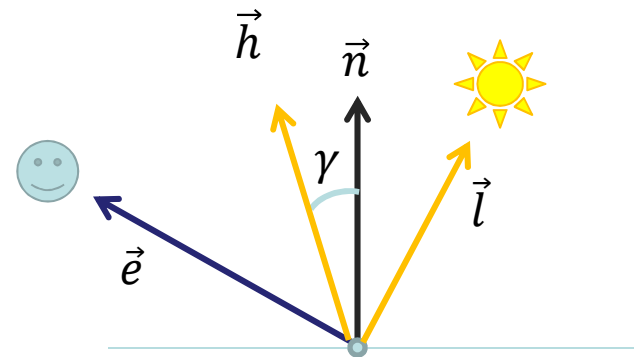
- $\vec{h} = \frac{\vec{l} + \vec{e}}{|\vec{l} + \vec{e}|}$

$$I_s = L_s \times K_s \times \cos(\gamma)^s$$

Cálculo do meio-vector



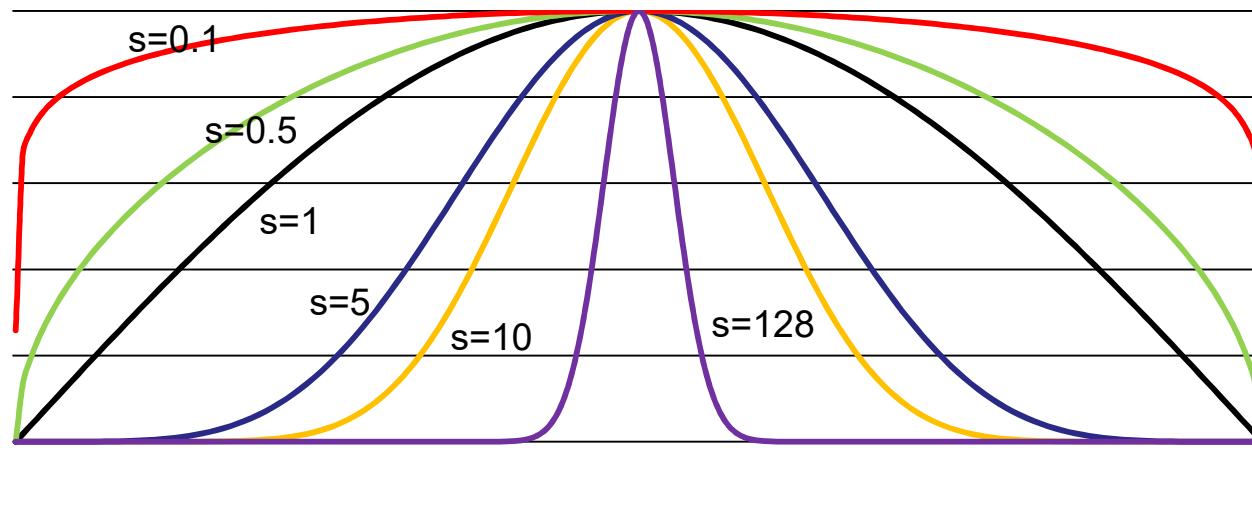
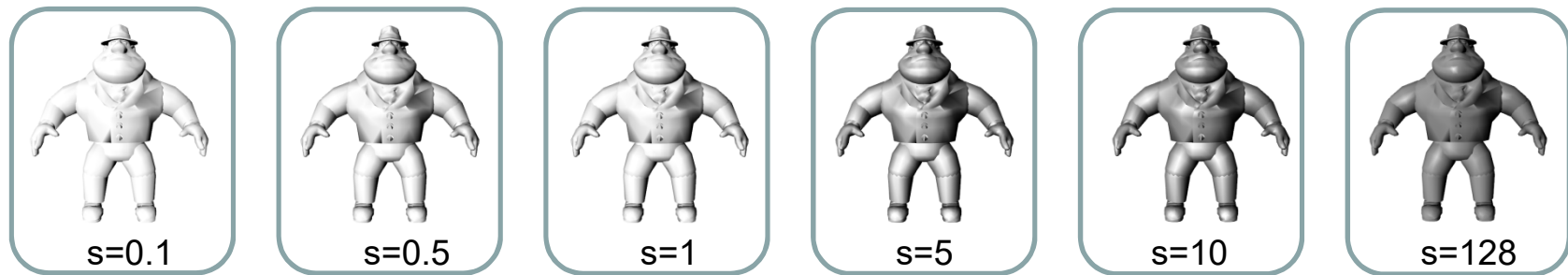
Uso do meio-vector





Iluminação - Fundamentos

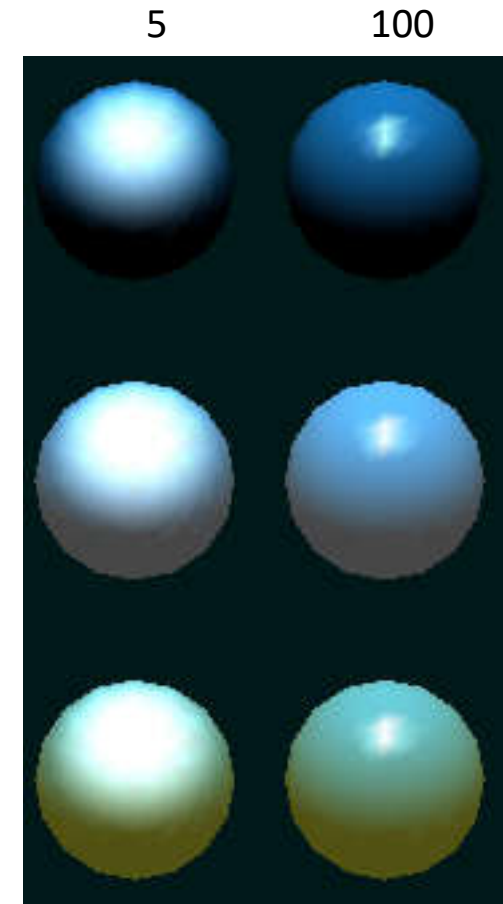
- Componente Especular – *shininess* (s)





Iluminação - Fundamentos

- O coeficiente de especularidade $[0,128]$ determina a dimensão da mancha brilhante.
- Quanto maior o valor, mais pequena é a mancha.
- Materiais metálicos tendem a ter valores altos, enquanto que materiais baços simulam-se com valores baixos.

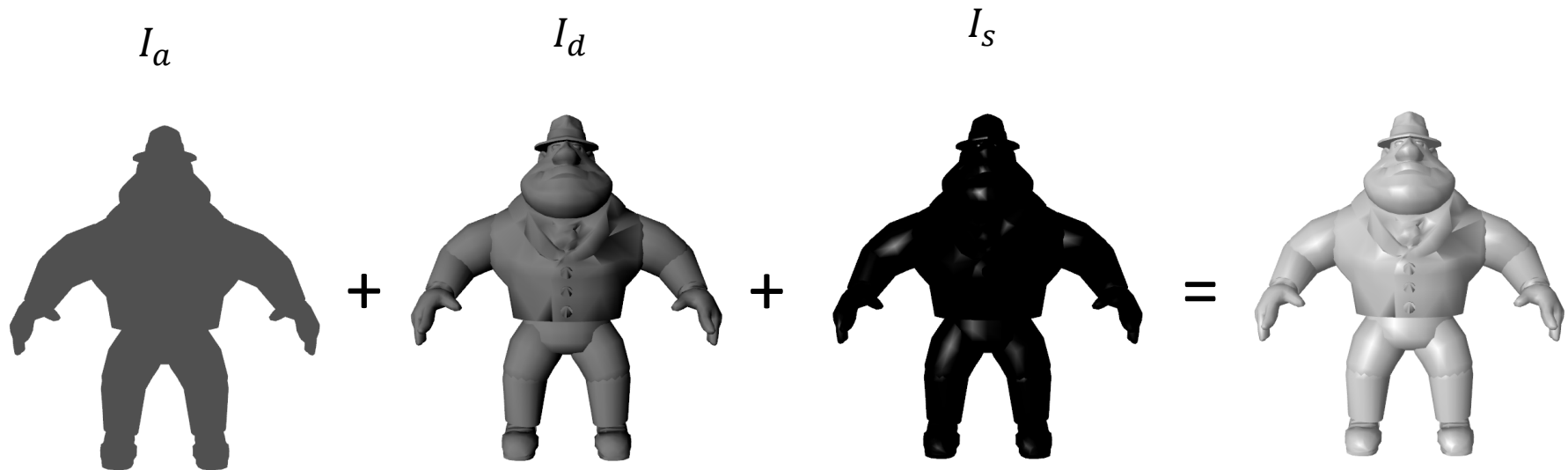




Iluminação - Fundamentos

- Resultado Final

$$I = I_a + f_{att} (I_d + I_s)$$





Iluminação - Fundamentos

- O OpenGL adiciona dois componentes à equação anterior:
 - K_e : cor emissiva do ponto
 - L_{ga} : luz ambiente global

$$I = K_e + K_a L_{ga} + I_a + f_{att}(I_d + I_s)$$



Iluminação

- Tópicos:
 - Fundamentos de iluminação
 - Modelos de Shading



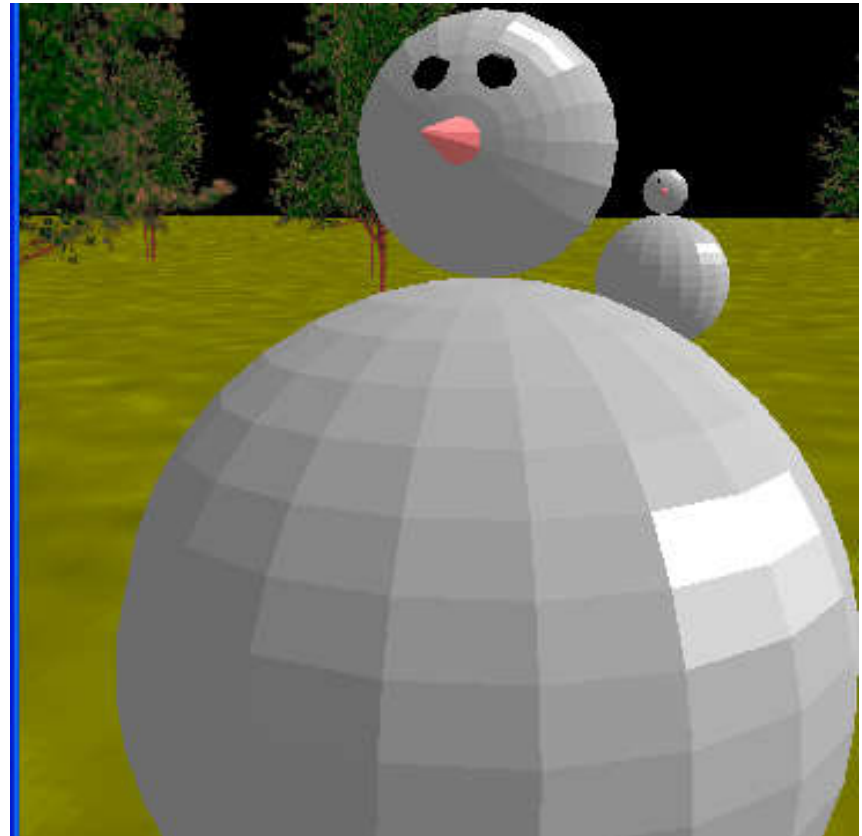
Modelos de *Shading*

- Processo para colorir um polígono (ou superfície) utilizando um determinado modelo de iluminação.
- Alguns modelos de iluminação:
 - Flat (constante)
 - Interpolação
 - Gouraud
 - Phong (não disponível em OpenGL sem shaders)



Shading - Flat

- Neste modelo o polígono tem iluminação constante em toda a sua superfície.
- Uma normal para cada polígono
- Produz um resultado facetado

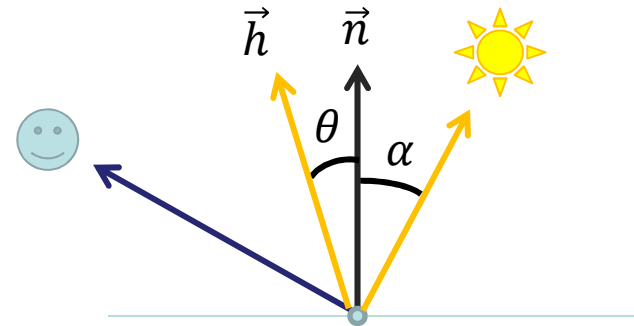




Shading - Flat

- Este modelo só faz sentido se:
 - A distância entre a fonte de luz e o polígono for infinita, de forma a que $\cos(\alpha)$ é constante ao longo do polígono.
 - O utilizador encontra-se também a uma distância infinita, para que não haja variação da componente especular ao longo do polígono, ou seja $\cos(\theta)$ também é constante.
 - A modelação é uma representação fiel da superfície a modelar, i.e. não é uma aproximação.

$$I_s = L_s \times K_s \times \cos(\theta)^s$$
$$I_d = K_d \times L_d \times \cos(\alpha)$$





Shading - Flat

- Problema: Aspecto facetado!
- Solução: Definir uma malha poligonal mais fina?
- Esta solução tem desvantagens óbvias:
 - Implica um número mais elevado de polígonos o que pode diminuir o desempenho.
 - O aspecto facetado é de facto intensificado devido ao efeito das bandas de Mach.



Shading Flat

- Mach Band –

Fenómeno provocado pela disparidade entre a diferença real de intensidade e a intensidade percebida.





Shading - Interpolação

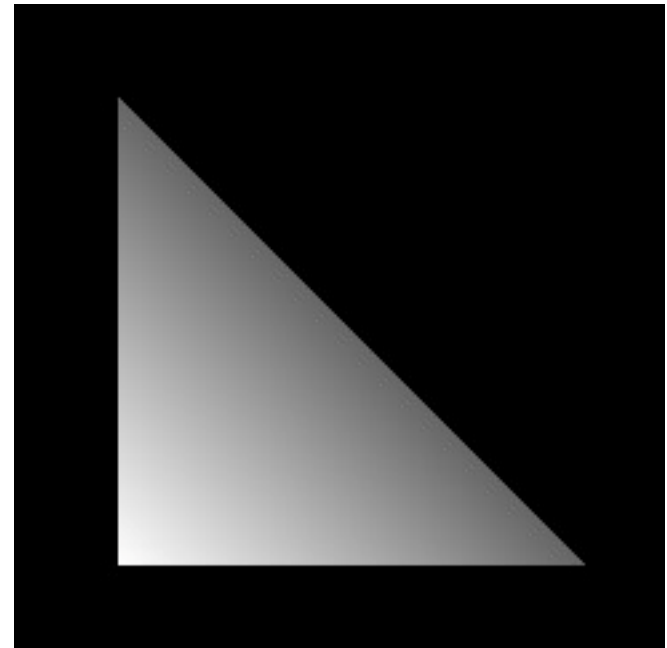
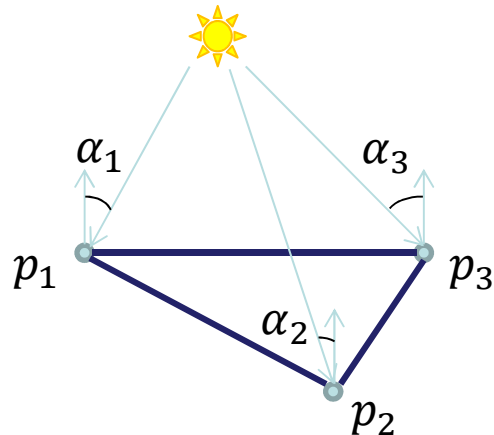
- No modelo com interpolação, proposto por Gouraud, determina-se a intensidade da luz para cada vértice utilizando a normal respectiva, sendo a normal do vértice = normal do triângulo.
- A intensidade dos restantes pontos do polígono é calculada por interpolação
- Desta forma elimina-se a primeira restrição do modelo FLAT: a distância do polígono à luz não necessita de ser infinita.



Shading - Interpolação

A intensidade varia ao longo do polígono.

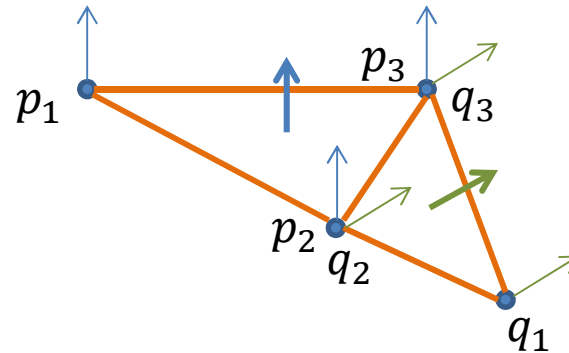
A intensidade do vértice é proporcional ao ângulo medido no vértice, entre a normal e a direcção da luz.





Shading - Interpolação

- Problema: Superfície contínua facetada.



- As normais nos pontos de descontinuidade são diferentes!
- Polígonos com orientações diferentes têm intensidades diferentes nas suas arestas.



Shading - Gouraud

- Muitos dos objectos a modelar são constituídos por superfícies curvas, e a modelação poligonal é apenas uma aproximação.
- Objectivo: Aproximar uma superfície curva por uma malha poligonal
- Mas, se cada polígono for iluminado individualmente ...
- ... mantem-se a aparência facetada, e por consequência torna-se fácil distinguir um polígono dos seus vizinhos, cuja orientação é diferente.



Shading - Gouraud

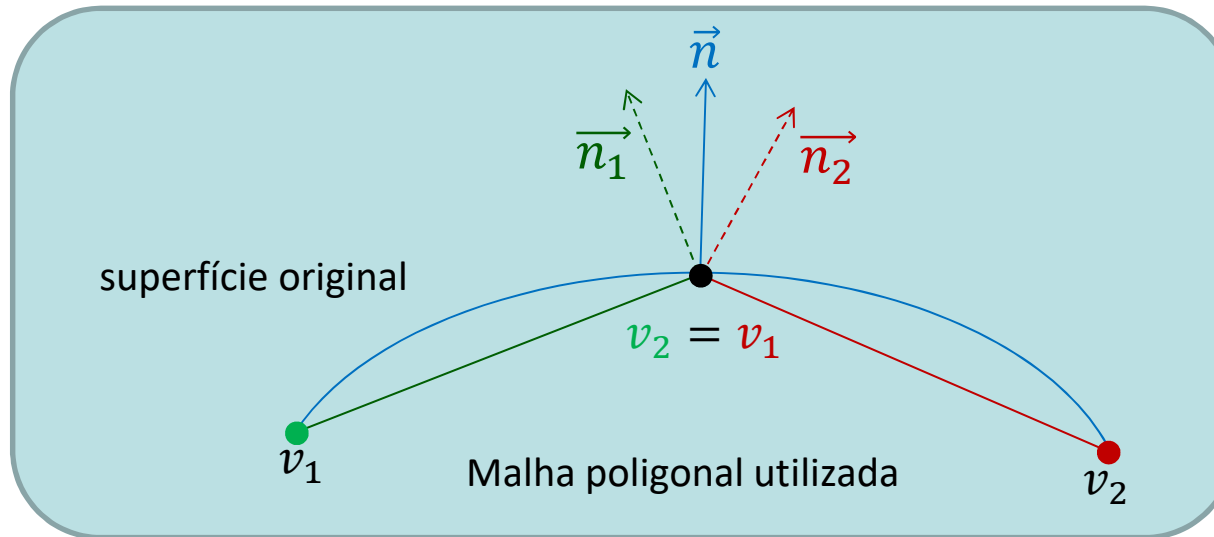
Para resolver este problema, Gouraud posteriormente sugeriu que ...

- ... cada vértice tivesse uma normal que representasse, não a orientação do polígono, ...
- ... mas sim a normal da superfície que a malha poligonal pretende aproximar.



Shading - Gouraud

- Isto implica que as normais da superfície original a aproximar sejam conhecidas para cada vértice.



A normal dos vértices v_2 e v_1 passa a ser a normal da superfície, ou seja \vec{n} .

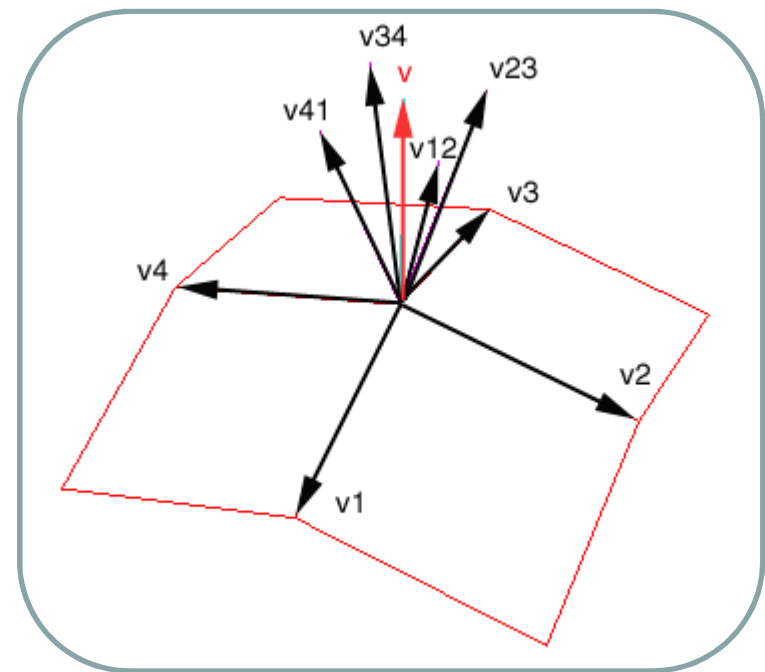
\vec{n} – Normal da superfície original

\vec{n}_1 , \vec{n}_2 – Normais individuais de cada polígono



Shading - Gouraud

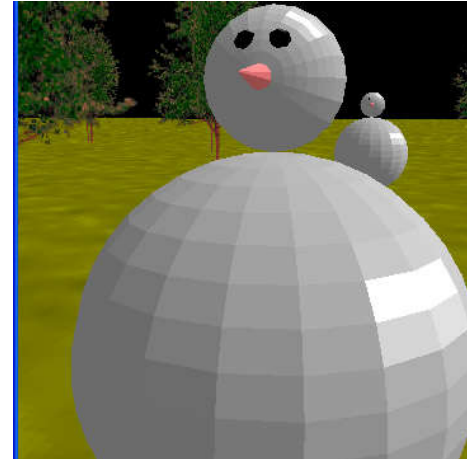
- No caso das normais da superfície não serem conhecidas, e não for possível o seu cálculo, ...
- ... é possível obter uma aproximação através da média (normalizada) das normais de cada polígono individual que partilhe o vértice.



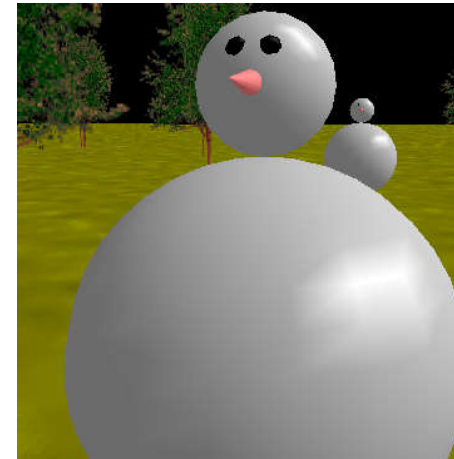


Shading - Gouraud

modelo com flat shading



Gouraud shading

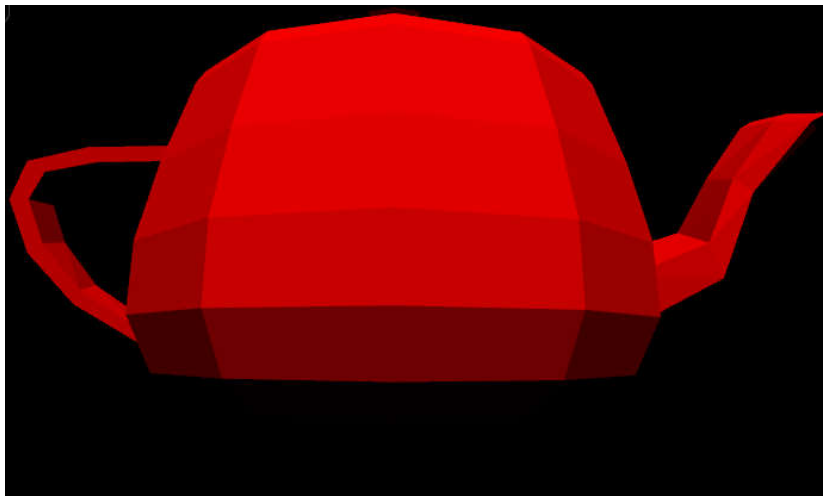




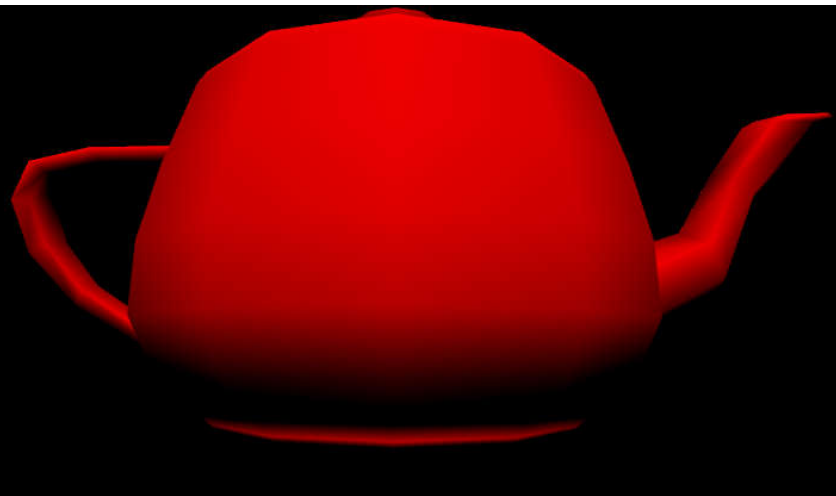
Flat vs. Gouraud

Iluminação Difusa

Flat



Gouraud



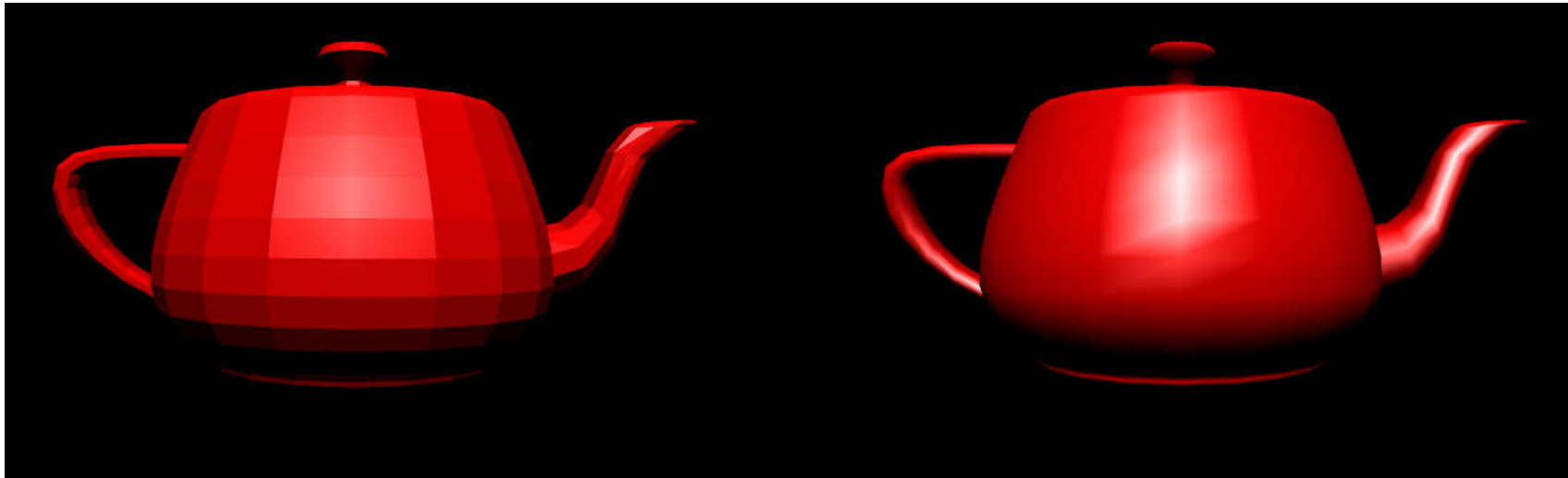


Flat vs. Gouraud

Iluminação Difusa + Especular

Flat

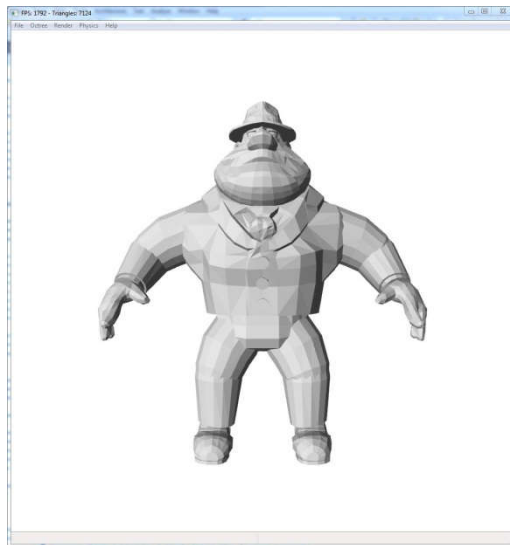
Gouraud



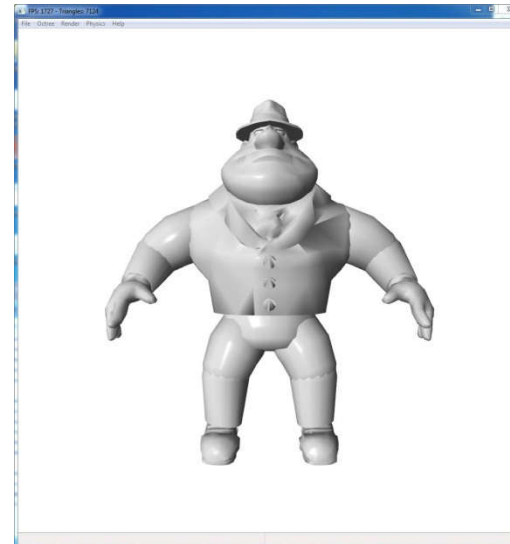


Flat vs. Gouraud

Flat



Gouraud

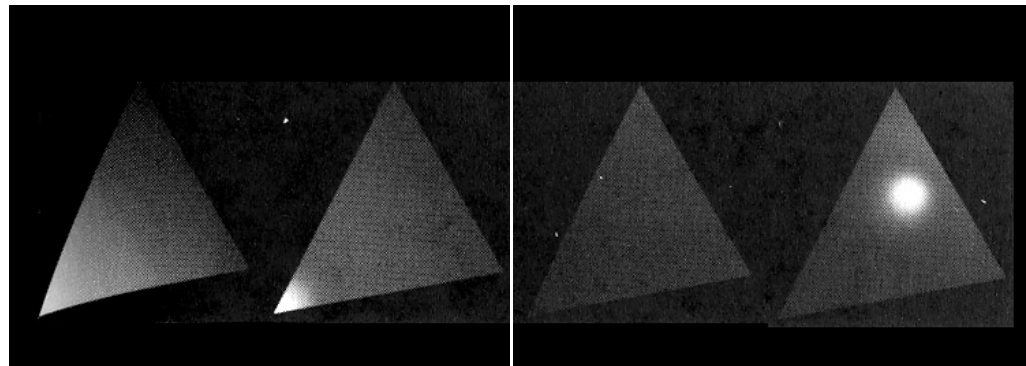




Shading - Gouraud

- O modelo de Gouraud não elimina completamente o problema das bandas de Mach, embora as reduza consideravelmente.
- As manchas especulares não são reproduzidas fielmente

Gouraud correcto Gouraud correcto





Shading - Gouraud

- Problema: Dependência da iluminação nos vértices do polígono.
- Um polígono parcialmente iluminado, em que nenhum dos vértices é iluminado é representado como se a totalidade do polígono não fosse iluminado.
- Solução: Malha mais fina?

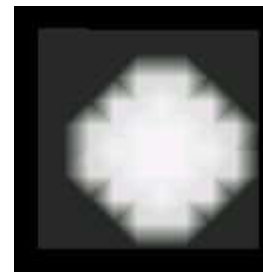
luz circular inclui
só um canto do
polígono



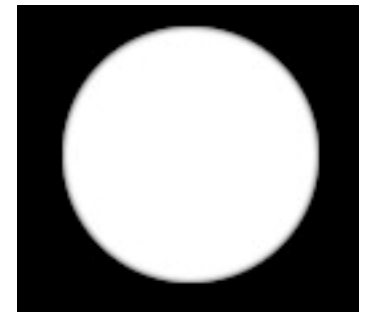
luz circular
inteiramente
dentro do polígono



malha mais
fina



situação desejada





Shading - Phong

- Phong propõe:

Interpolar Normais em vez de Intensidades

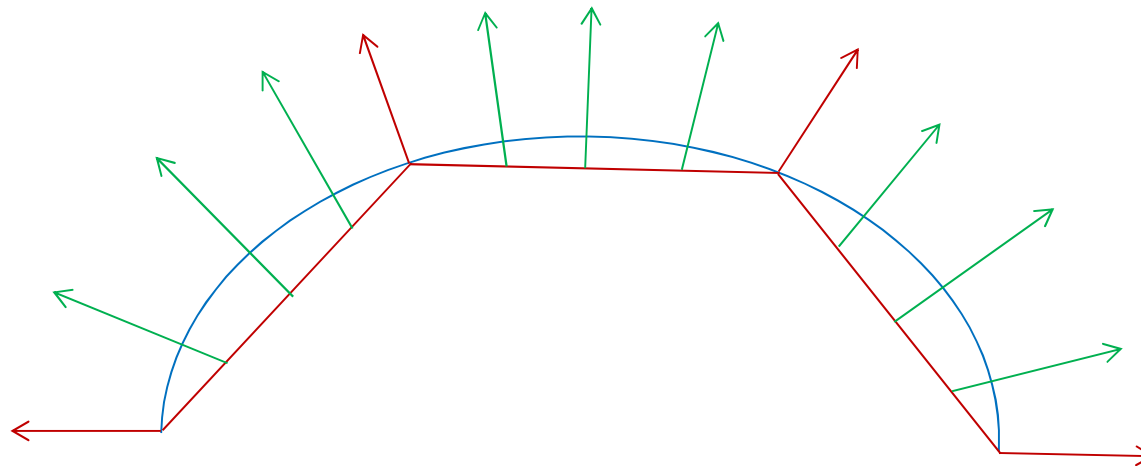
- Problema: Tempo Real? (já ultrapassado 😊)



Shading - Phong

- Phong propõe:

Interpolar Normais em vez de Intensidades

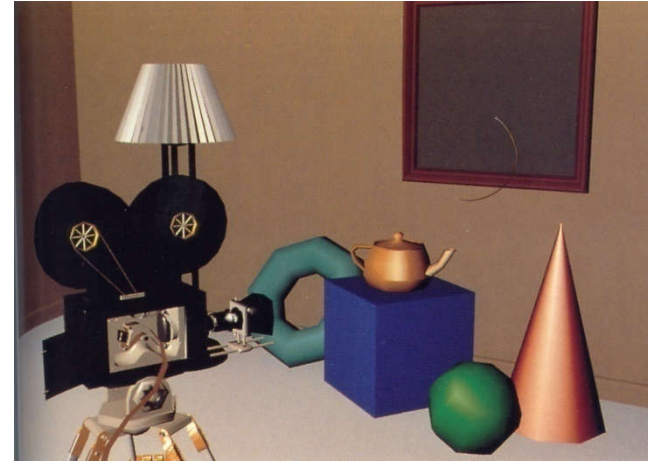


- ↗ Normais por vértice, iguais às da superfície
- ↗ Normais interpoladas para os pontos interiores dos polígonos



Shading

- Gouraud



- Phong





Shading

- Problema: Silhueta
- Independente da qualidade do modelo de shading!

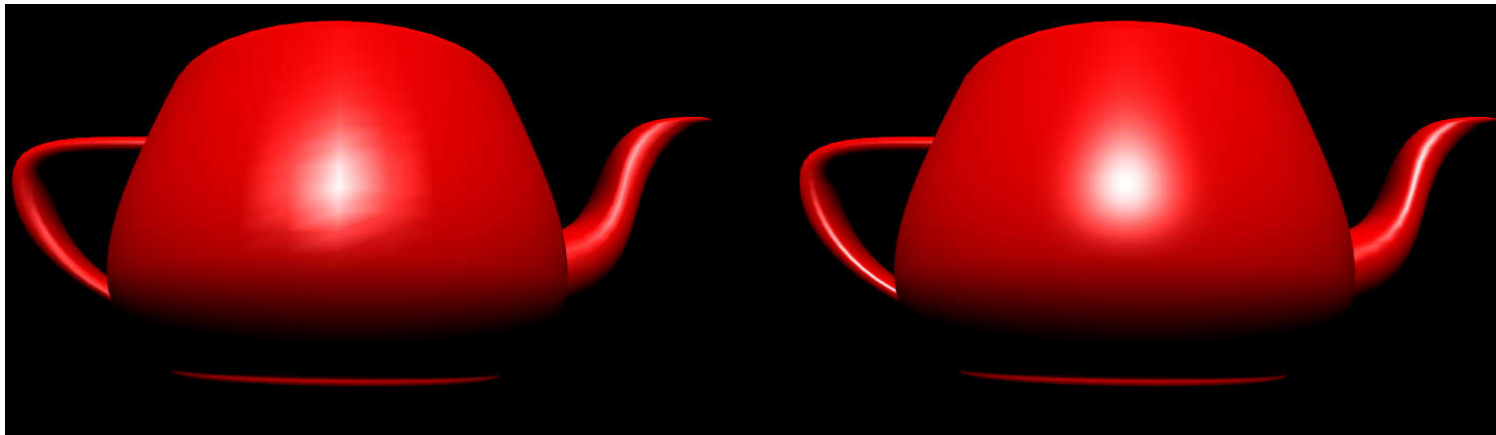




Gouraud vs Phong

Gouraud

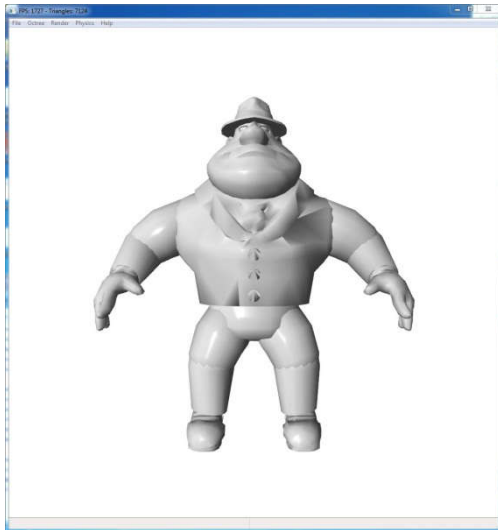
Phong



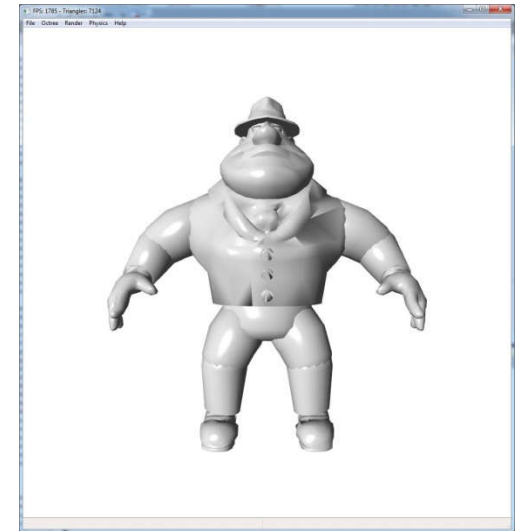


Gouraud vs Phong

Gouraud



Phong





Resumo Shading

- Flat vs. Interpolação
 - Flat:
 - Uma normal por triângulo
 - Cor calculada para um único vértice
 - Todo o triângulo é pintado com base na cor desse vértice
 - Interpolação:
 - Por vértice:
 - Uma normal por triângulo
 - Cálculo da cor
 - Para os outros pontos interiores do polígono:
 - Cálculo da cor com base na interpolação das cores dos vértices



Resumo Shading

- Gouraud vs. Phong
 - Gouraud:
 - Por vértice:
 - Cálculo da normal (baseada na normal da superfície)
 - Cálculo da cor com base na normal do vértice
 - Para os outros pontos interiores do polígono:
 - Cálculo da cor por interpolação das cores dos vértices
 - Phong:
 - Por vértice:
 - Cálculo da normal (baseada na normal da superfície)
 - Para os outros pontos interiores do polígono:
 - Cálculo da normal por interpolação dos valores das normais dos vértices
 - Cálculo da cor com base na normal interpolada