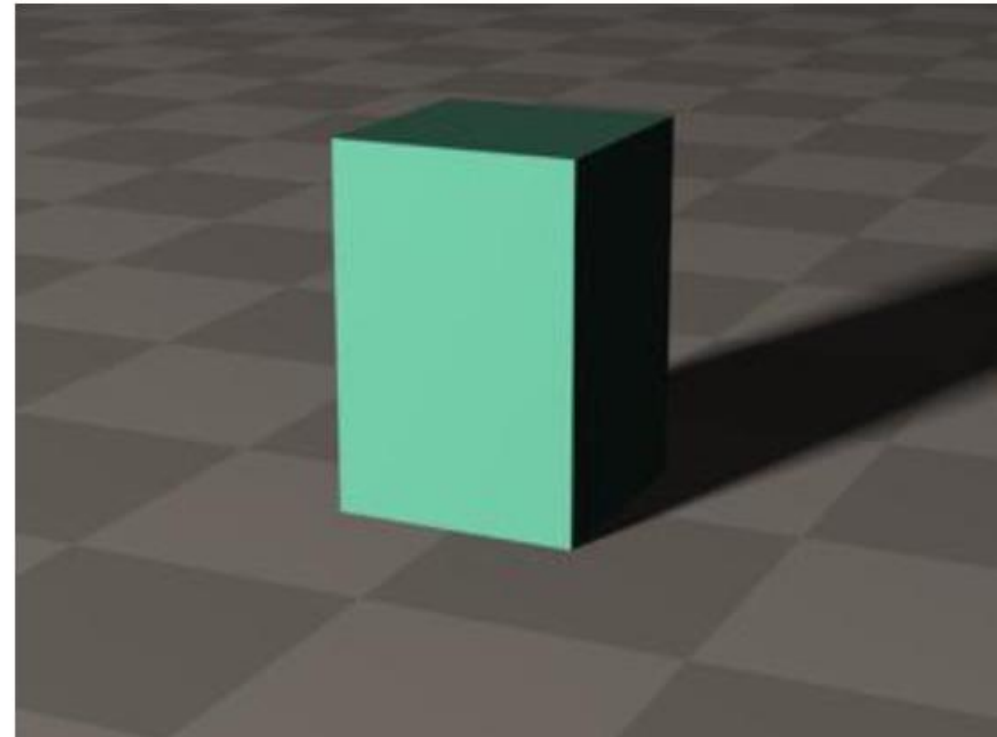
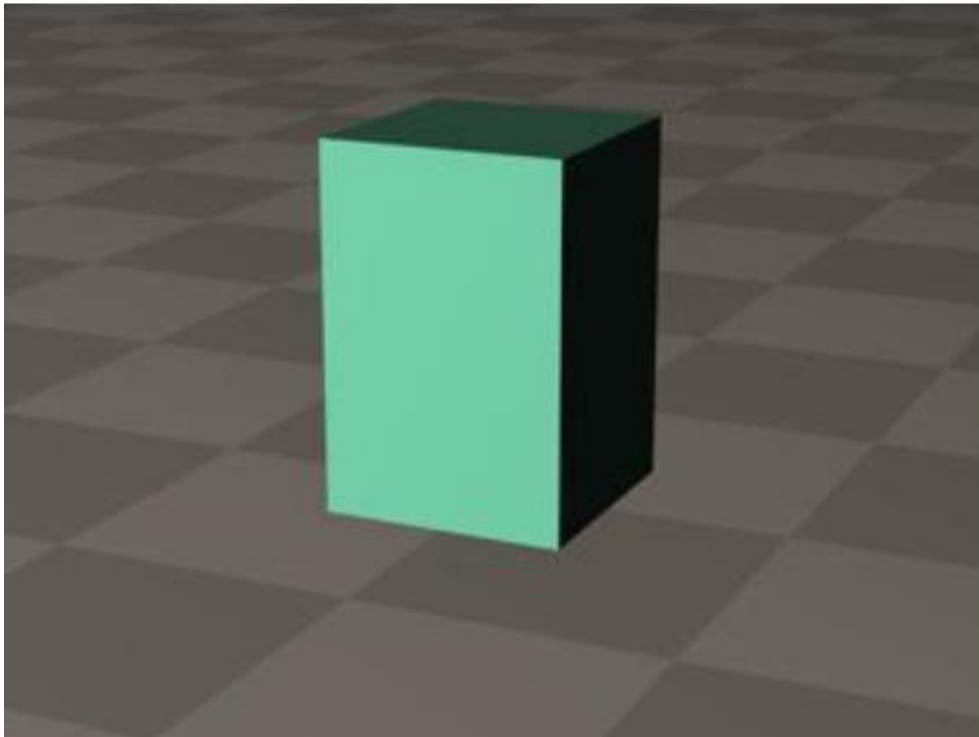




MÉTODOS DE SOMBREAMENTO

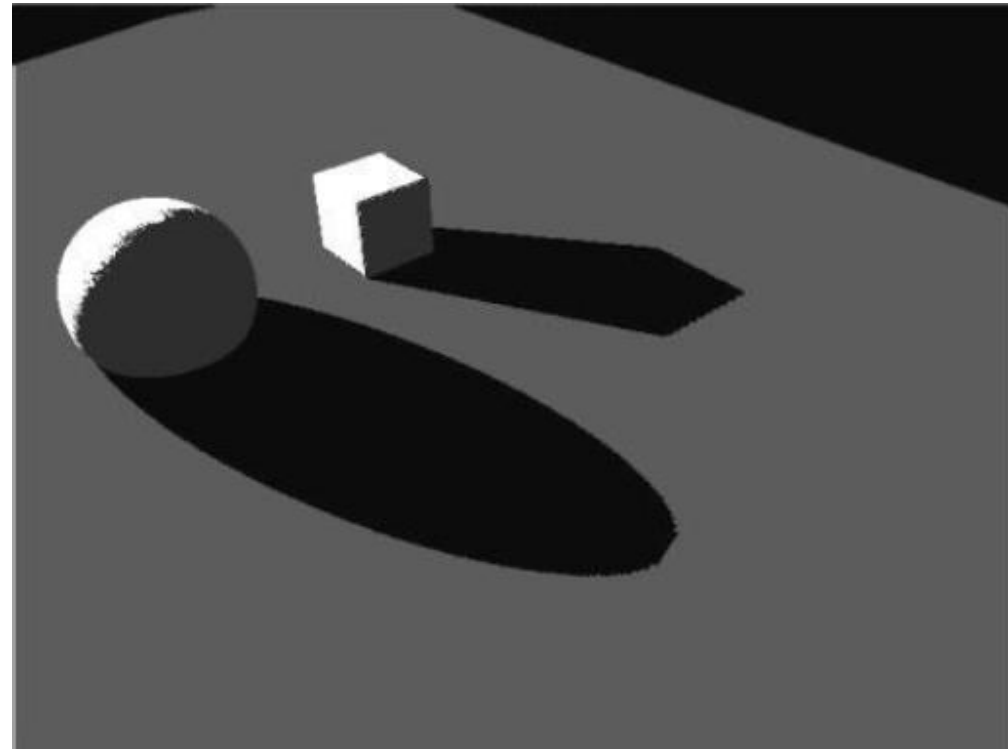
IMPORTÂNCIA DAS SOMBRAS



O QUE SÃO SOMBRAS?

Sombras podem ser consideradas áreas escondidas da fonte de luz

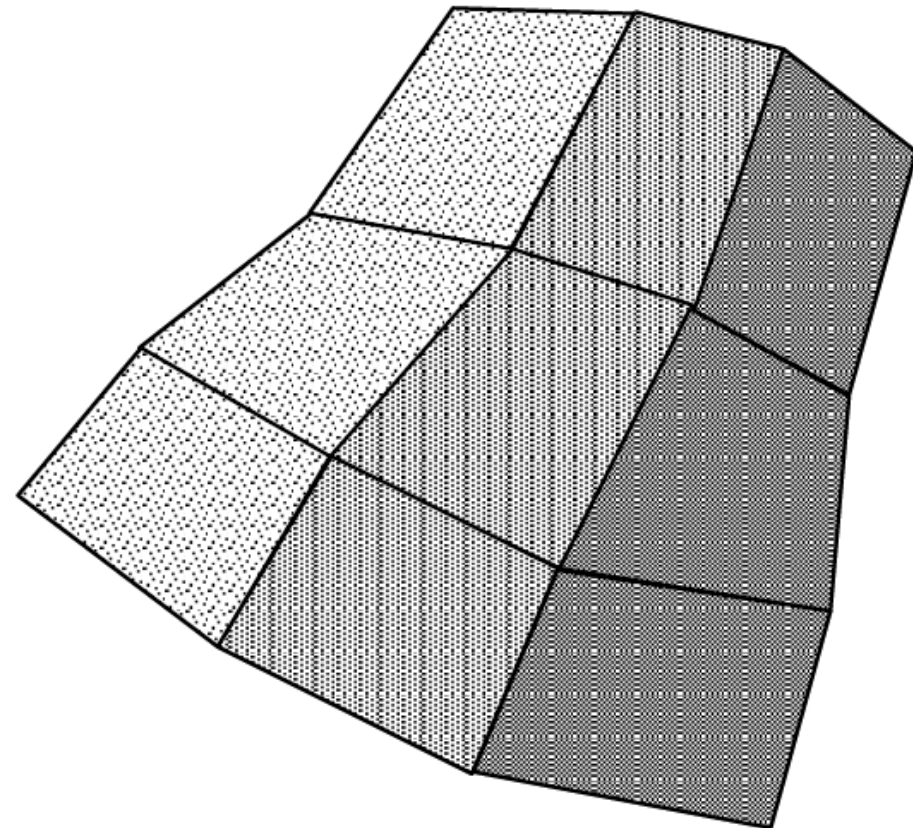
Podemos encontrar sombras na superfície A devido ao objeto B através da projeção de B em A, com a fonte de luz como centro de projeção



MÉTODOS DE SOMBREAMENTO

Depois de se ter descrito o modelo de iluminação de Phong, que permite calcular a intensidade da energia luminosa reflectida por um ponto da superfície de um objeto, é necessário descrever agora como aplicar esse cálculo ao desenho das superfícies, isto é, efetuar o sombreamento dessas superfícies.

Considere-se uma superfície modelada aproximadamente por uma malha de facetas, isto é de polígonos planares.

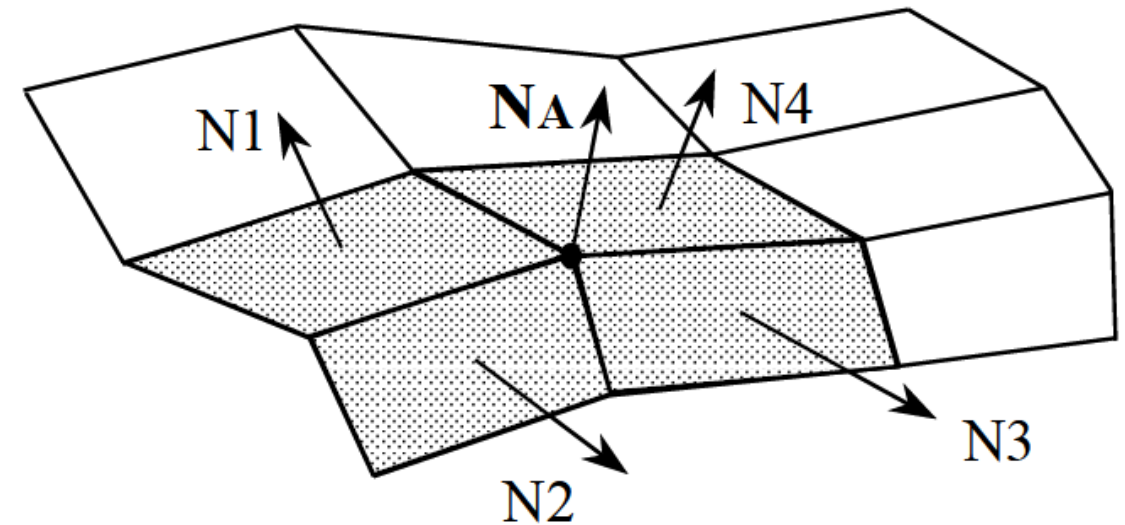


MÉTODOS DE SOMBREAMENTO

Para aplicar um modelo de iluminação é necessário calcular a normal a cada faceta.

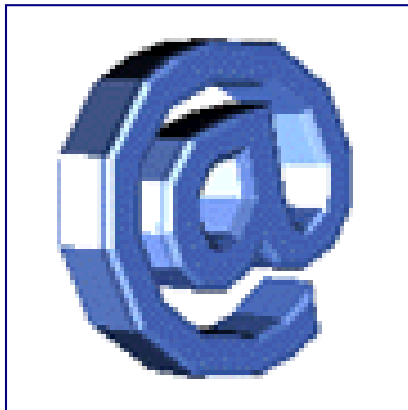
Como se vai utilizar o modelo de iluminação de Phong, a normal é a única entidade que representa a geometria da faceta pelo que terá sempre que ser calculada.

Os métodos de sombreamento mais usados diferem entre si no modo como é aplicado o modelo de iluminação de Phong e no modo como se faz o cálculo da cor de cada quadrícula da imagem de cada faceta.



MÉTODOS DE SOMBREAMENTO (DE POLÍGONOS)

Flat Shading



Smooth Shading



Gouraud Shading



Phong Shading

SOMBREAMENTO CONSTANTE

Para cada polígono

- Determina um único valor de intensidade
- Usa esse valor para sombrear todo o polígono

Premissas

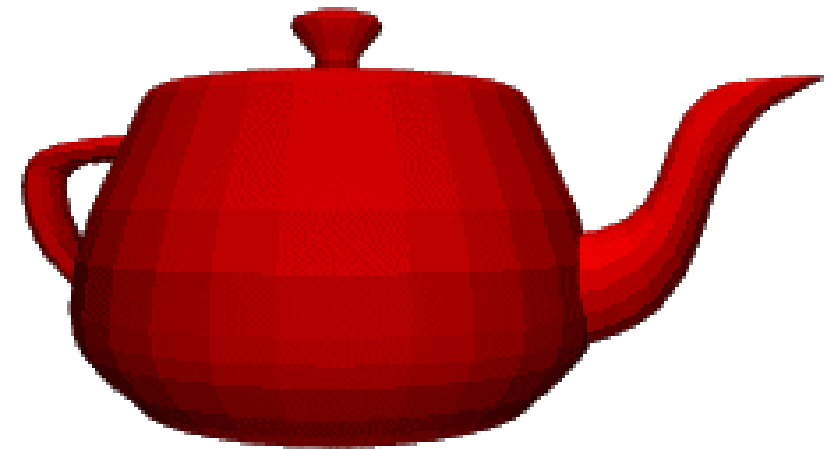
- Fonte de luz no infinito
- Observador está posicionado no infinito
- O polígono representa a superfície real que está a ser modelada

SOMBREAMENTO CONSTANTE

No modelo de sombreamento constante é utilizada a normal à faceta para calcular uma cor, a qual é usada para sombrear todo a faceta.

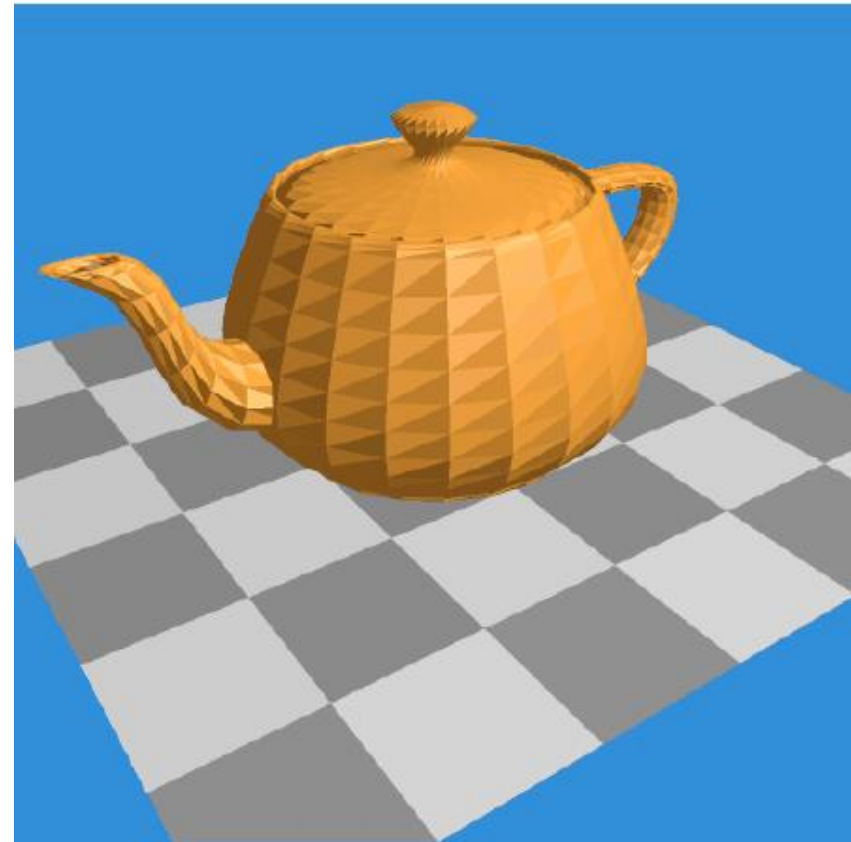
Sabendo a posição da fonte de luz, a normal à faceta e as propriedades do material, é possível aplicar o modelo de reflexão de Phong e obter uma intensidade da energia luminosa refletida.

Essa intensidade pode ser aplicada no sombreamento das quadrículas que vão ser ocupadas pela imagem da faceta.

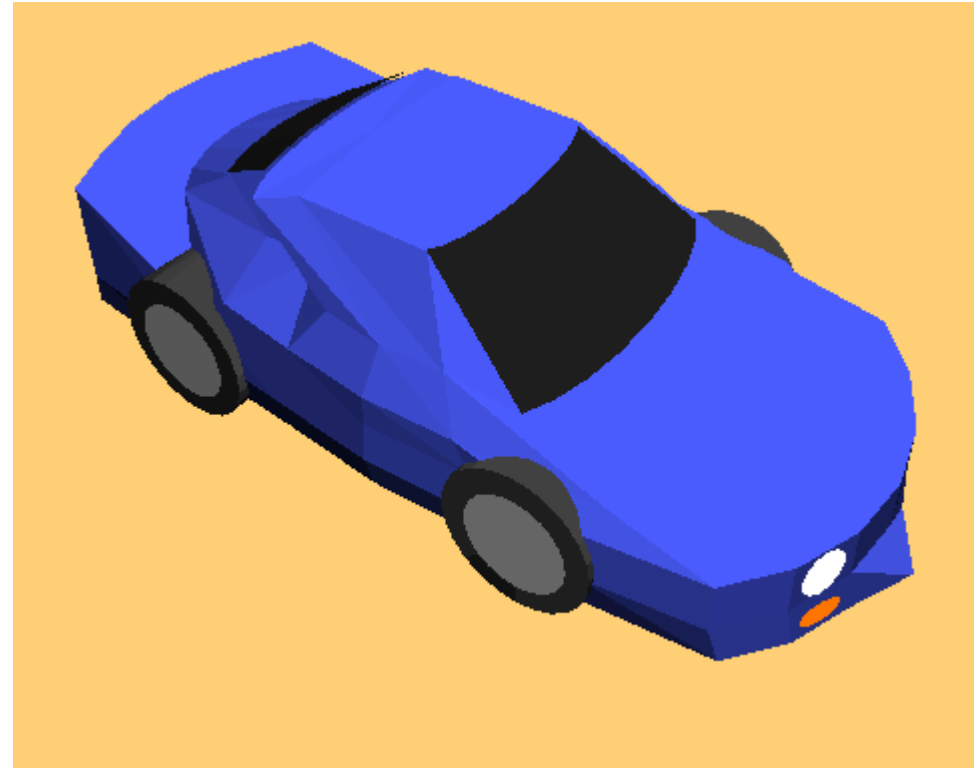
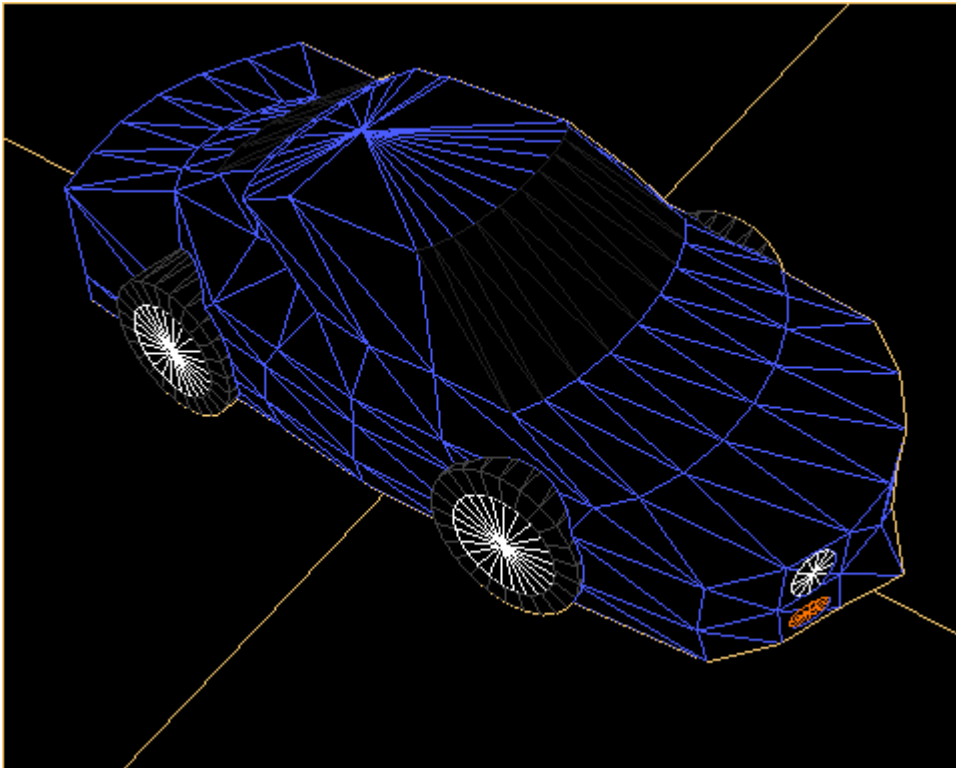


SOMBREAMENTO CONSTANTE

Os resultados que se obtém com este método de sombreamento são de baixa qualidade uma vez que ficam visíveis as diferenças de cor nas fronteiras entre facetas.



SOMBREAMENTO CONSTANTE



PROBLEMAS NO SOMBREAMENTO CONSTANTE

Um dos problemas dos resultados visuais obtidos com este método de sombreamento tem a sua origem nas características do Ser Humano.

O aparelho visual humano tem uma grande sensibilidade a pequenas diferenças na intensidade da energia luminosa.

Nas arestas comuns visualizam-se as intensidades mais baixas como sendo ainda menores e a intensidade mais elevada como ainda sendo maior.

Este efeito visível nas arestas designa-se por **efeito de bandas de Mach** (*Mach Band*).

O efeito faz perceber uma zona mais escura do lado do polígono mais escuro e uma zona ainda mais clara do lado do polígono mais claro, imediatamente junto à separação entre dois polígonos adjacentes



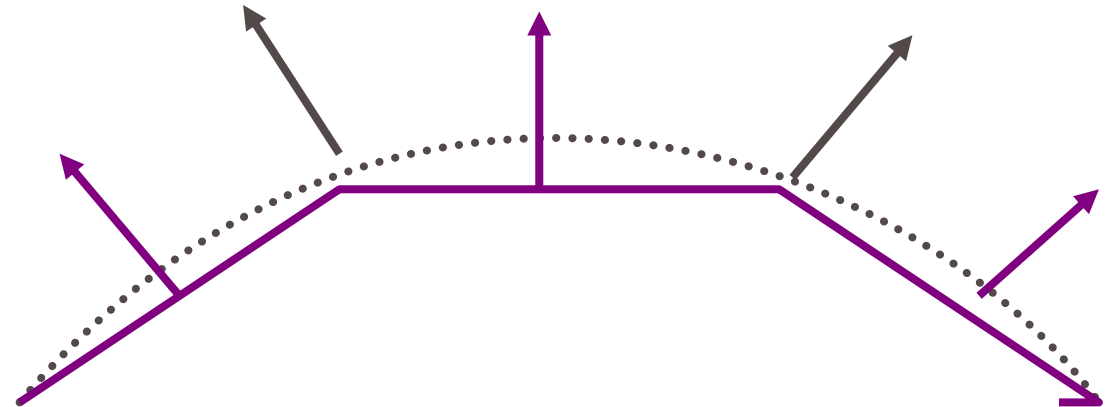
SMOOTH SHADING

Introduzir valores das normais em cada vértice

- Geralmente diferente da normal da faceta
- Usado apenas para sombreamento
- Pensado como uma melhor aproximação da superfície real que é aproximada pelos polígonos

Sombreamento usando Aproximações Interpoladas

- Sombreamento de Gouraud
- Sombreamento de Phong (não confundir com o modelo de iluminação Phong)



SOMBREAMENTO DE GOURAUD

Os fracos resultados do método de sombreamento constante resultam de se estar a aplicar um modelo de iluminação local a cada faceta, não tendo em consideração que as facetas são parte de um único objeto.

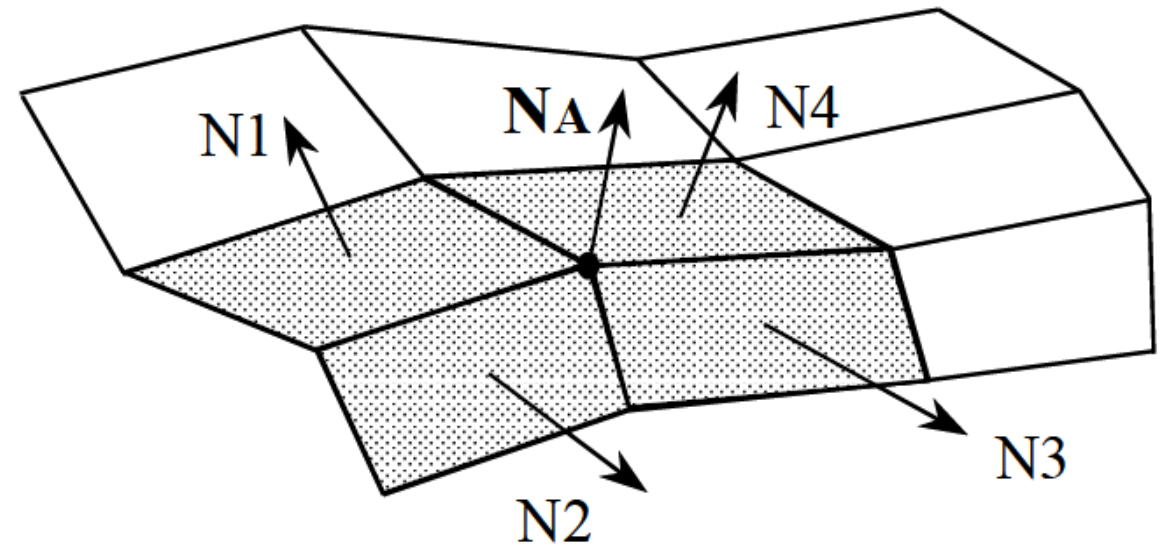
No método de sombreamento de Gouraud a influência de facetas adjacentes é contemplada através do cálculo das normais em cada vértice da malha de facetas.

Estas normais são obtidas por interpolação das normais de todas as facetas que partilham um mesmo vértice.

SOMBREAMENTO DE GOURAUD

Para o caso apresentado em que o vértice A é partilhado por 4 facetas, o cálculo da normal nesse vértice obtém-se a partir de:

$$N_A = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4}{|N_1 + N_2 + N_3 + N_4|}$$

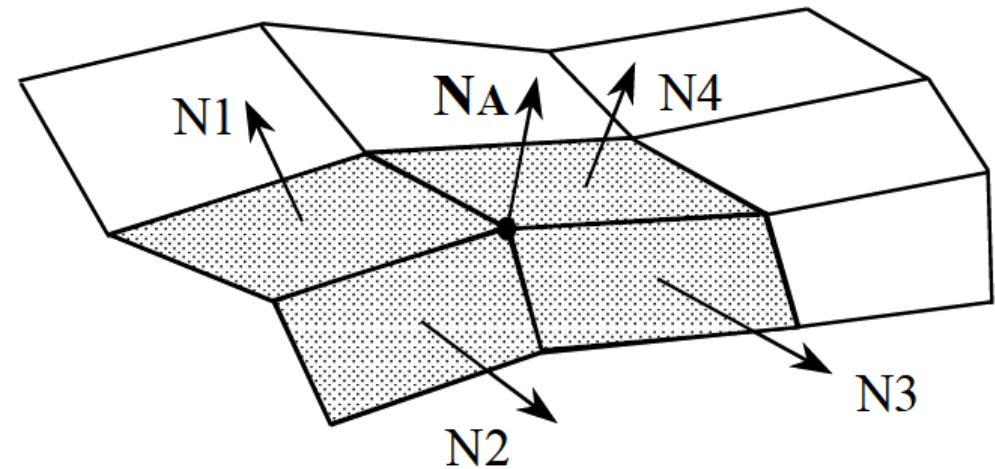


SOMBREAMENTO DE GOURAUD

Depois de calculada a normal N_A , esta é empregue na aplicação do modelo de iluminação de Phong ao cálculo da cor do vértice A.

Efetuada o cálculo das normais a todos os vértices de uma faceta e aplicando o modelo de iluminação de Phong obtém-se a cor de todos os vértices.

Em seguida efetua-se a interpolação das cores para todos os pontos pertencentes a uma mesma aresta, recorrendo às cores dos seus vértices.



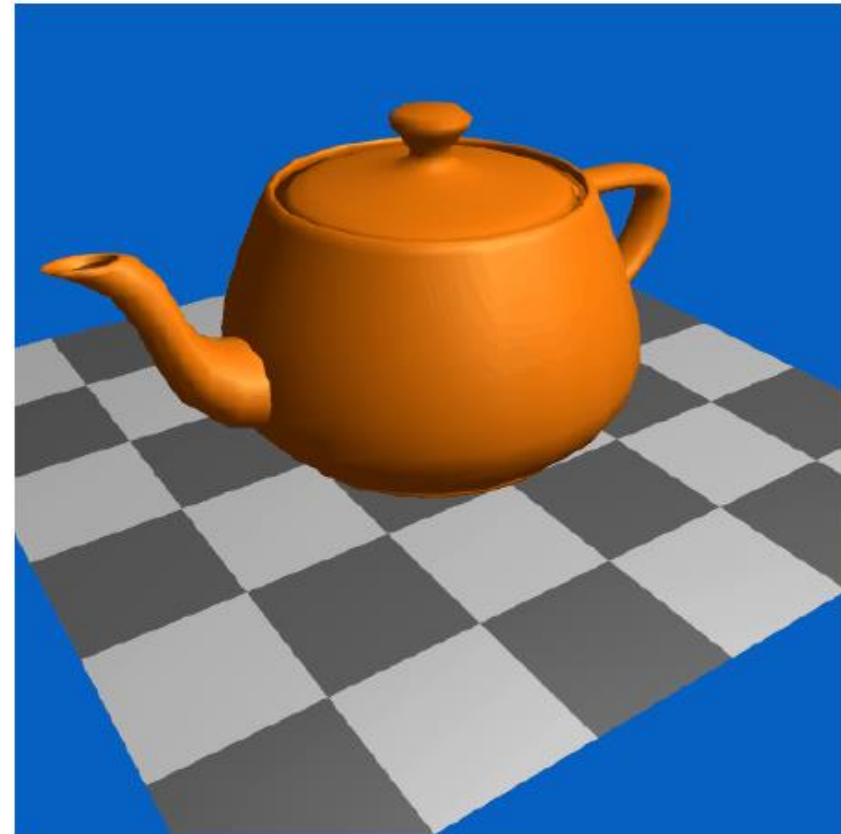
SOMBREAMENTO DE GOURAUD

Esta é uma abordagem bastante comum

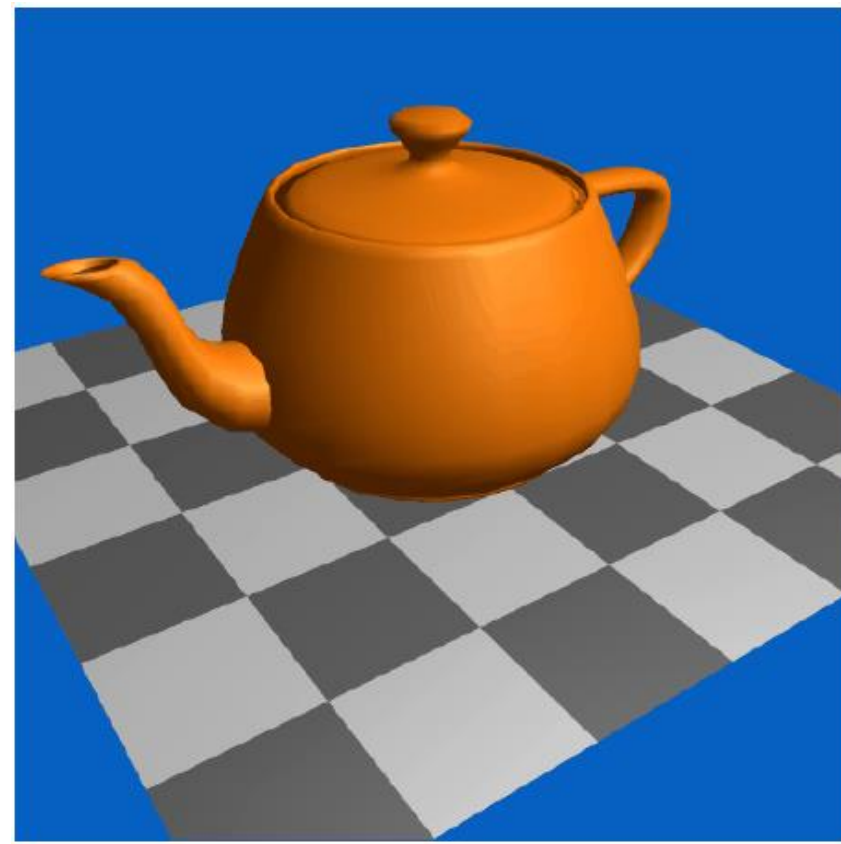
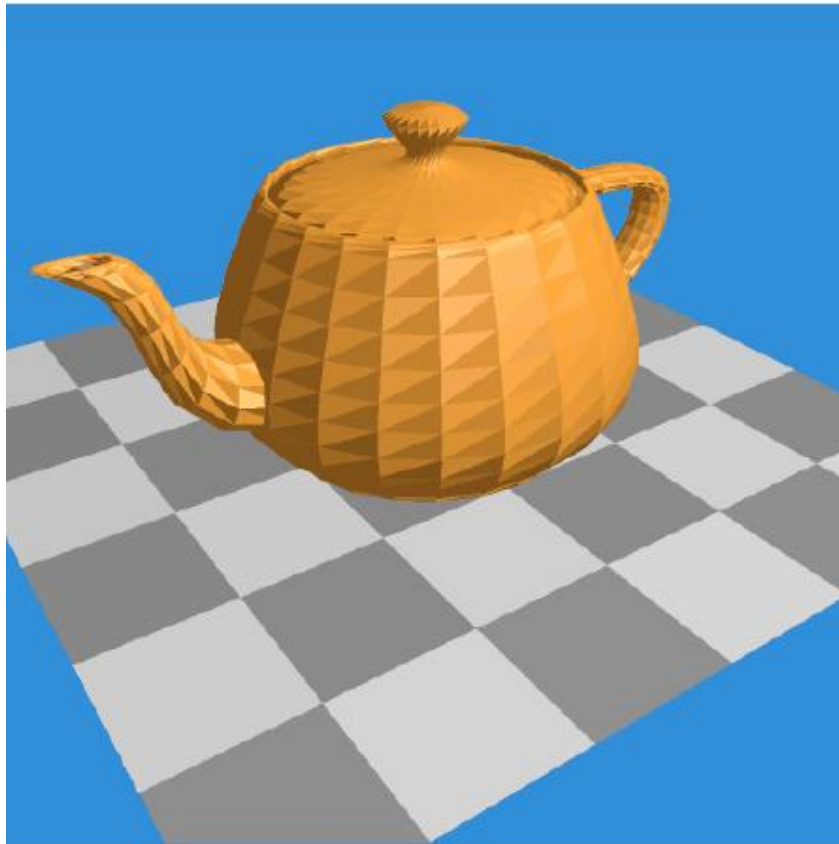
Utiliza o método de iluminação de Phong nos vértices

Interpola linearmente as cores resultantes sobre as faces

- Ao longo das arestas
- Ao longo das linhas de varrimento



SOMBREAMENTO DE GOURAUD

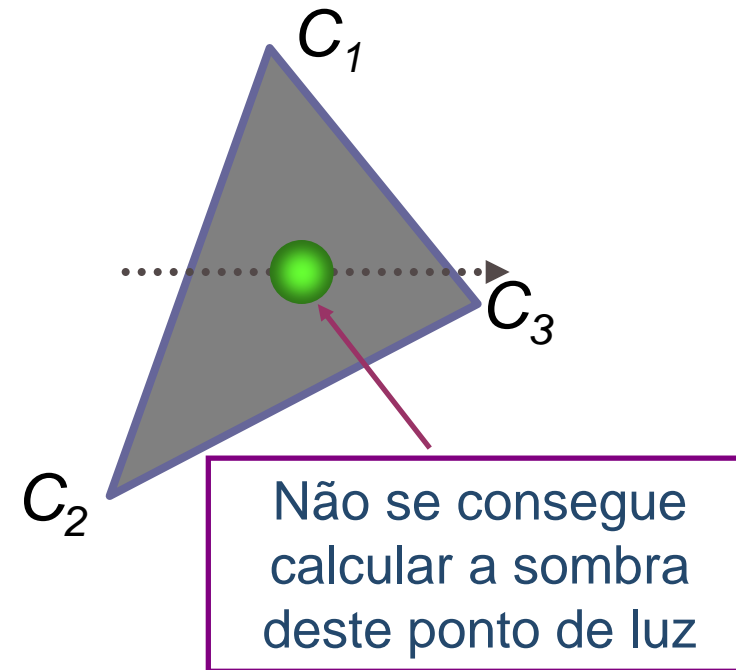


LIMITAÇÕES

Muitas vezes parece monótono

- Falta-lhe um componente especular
- Se estiver incluído, será calculada a média de todo o polígono

Devido a este problema é normal que, no método de sombreamento de Gouraud, se aplique uma versão limitada do modelo de iluminação de Phong que não contempla a reflexão especular.



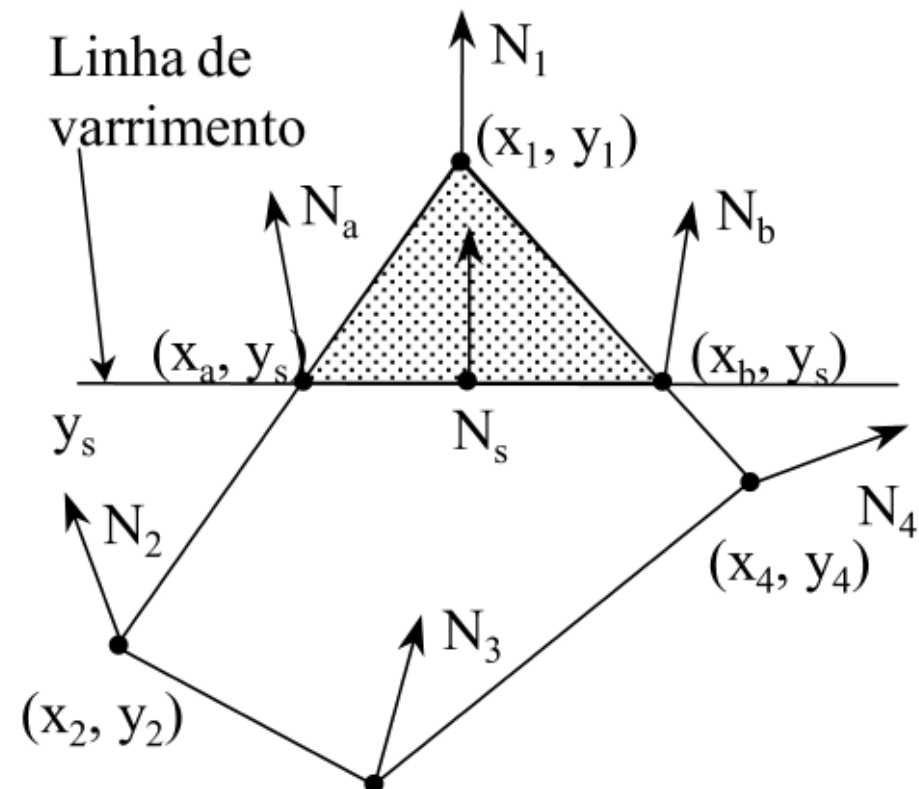
SOMBREAMENTO DE PHONG

No método de sombreamento de Phong, a partir das normais aos vértices, que são calculadas do mesmo modo que no sombreamento de Gouraud, é calculada a normal a cada quadrícula através da interpolação das normais.

A normal calculada para cada quadrícula é então usada com o modelo de iluminação de Phong para calcular a intensidade da energia luminosa refletida.

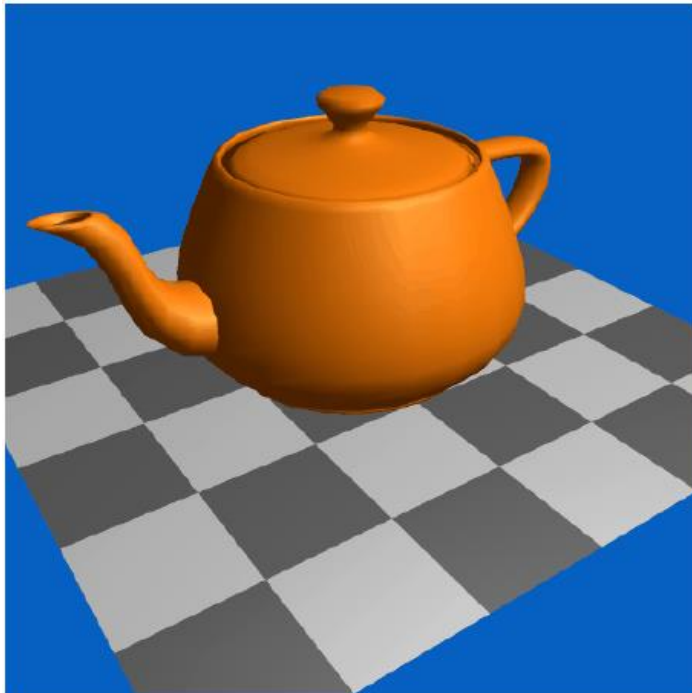
SOMBREAMENTO DE PHONG

A interpolação das normais é efetuada, em primeiro lugar ao longo da aresta, sempre que se passa de uma linha de varrimento para a seguinte (y tem variação unitária).

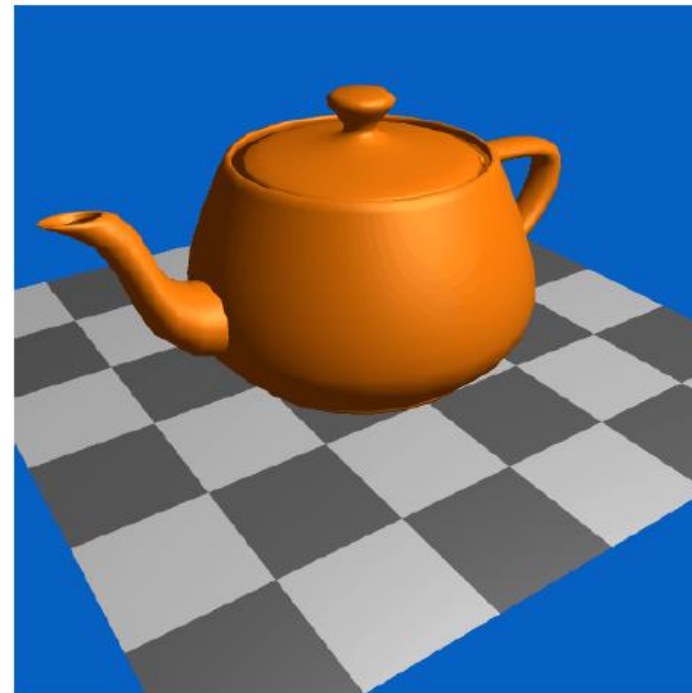


SOMBREAMENTO DE PHONG

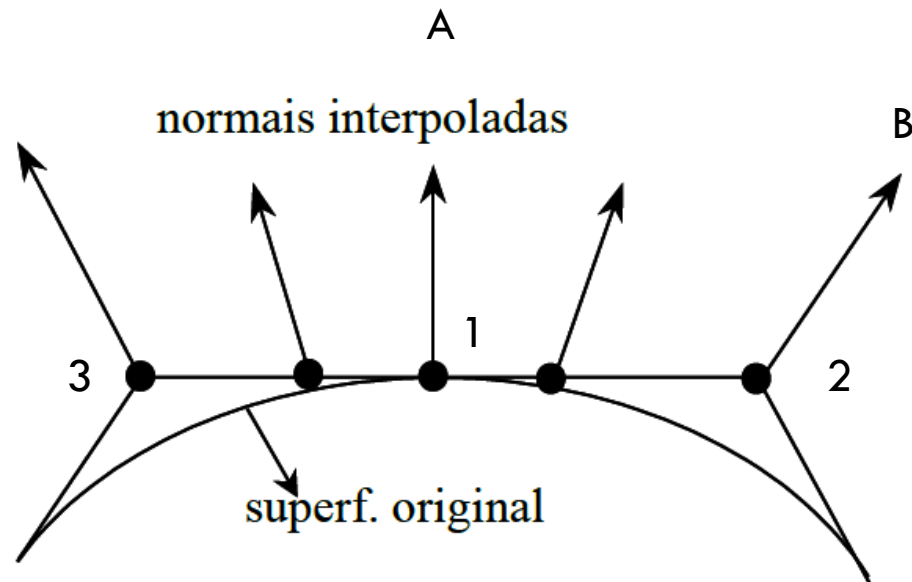
Gouraud



Phong



SOMBREAMENTO DE PHONG

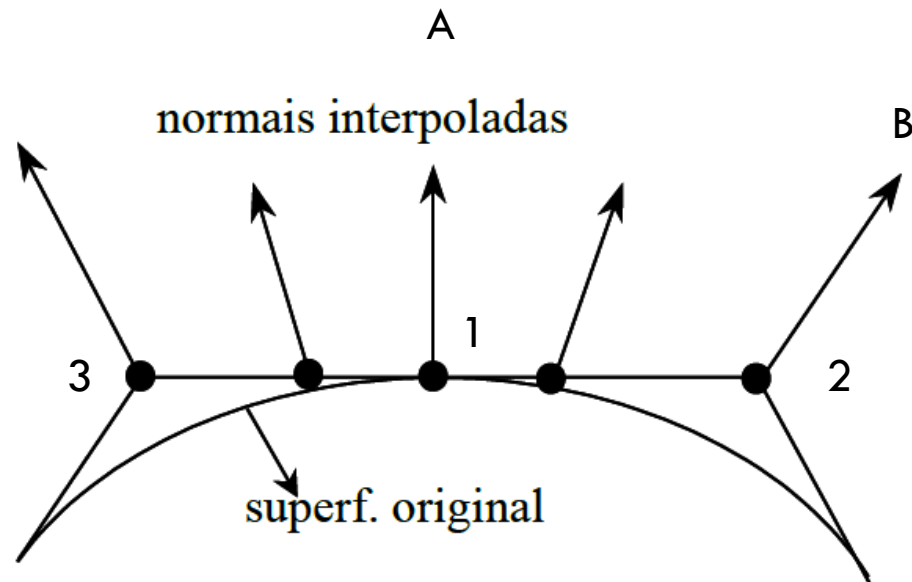


Consideremos que a fonte de luz e o observador se encontram em A.

A iluminação dos pontos 2 e 3 pelos sombreamentos de Gouraud e Phong é a mesma, porque se trata de dois vértices. No entanto, porque o ângulo entre a direção da reflexão especular perfeita e a direção do observador é agora muito maior, a iluminação nos pontos 2 e 3 é menos intensa, e pode nem sequer possuir brilho significativo.

Consequentemente, a interpolação de intensidades do sombreamento de Gouraud entre os pontos 2 e 3 pode fazer desaparecer qualquer brilho que exista no ponto 1.

SOMBREAMENTO DE PHONG

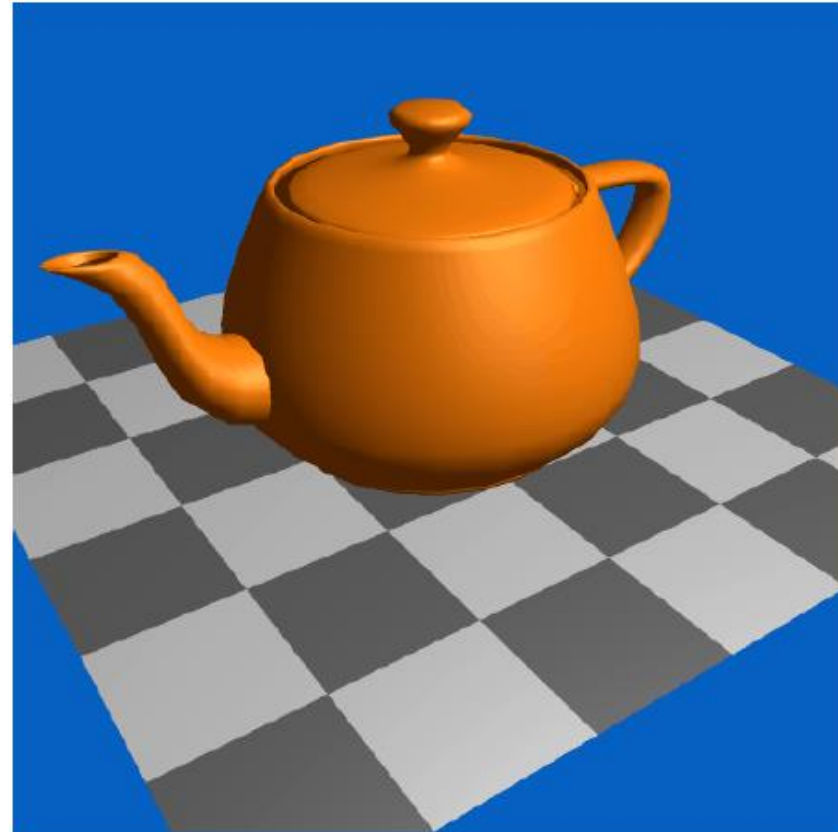


Se o observador e a fonte de luz estivessem em B, o ponto 2, encontrar-se-ia intensamente iluminado.

Esta iluminação elevada faria com que o sombreado de Gouraud alargasse exageradamente a zona com brilho na direção do ponto 3, quando, na realidade esta zona estaria confinada a uma área mais restrita próxima do ponto 2.

SOMBREAMENTO DE PHONG

O método de sombreamento de Phong é computacionalmente mais pesado do que o sombreamento de Gouraud, uma vez que é necessário calcular a cor, por aplicação do modelo de sombreamento de Phong a todos as quadrículas da faceta e normalizar as normais locais.



LIMITAÇÕES DO SOMBREAMENTO USANDO APROXIMAÇÕES INTERPOLADAS

- Silhueta poligonal
- Distorção de perspetiva
- Orientação de polígonos
- Vértices não partilhados
- Normais incorretas nos vértices

LIMITAÇÕES DO SOMBREAMENTO USANDO APROXIMAÇÕES INTERPOLADAS

- **Silhueta poligonal**
- Distorção de perspetiva
- Orientação de polígonos
- Vértices não partilhados
- Normais incorretas nos vértices

SILHUETA POLIGONAL

Este problema manifesta-se no aspeto poligonal das silhuetas dos objetos de cena tesselados por polígonos.

Tesselações que produzem polígonos de menor dimensão reduzirão os efeitos desta limitação, à custa de um processamento mais pesado, mas não resolverão totalmente o problema.



LIMITAÇÕES DO SOMBREAMENTO USANDO APROXIMAÇÕES INTERPOLADAS

- Silhueta poligonal
- **Distorção de perspetiva**
- Orientação de polígonos
- Vértices não partilhados
- Normais incorretas nos vértices

DISTORÇÃO DE PERSPETIVA

A projeção em perspetiva distorce a dimensão dos objetos de modo desigual.

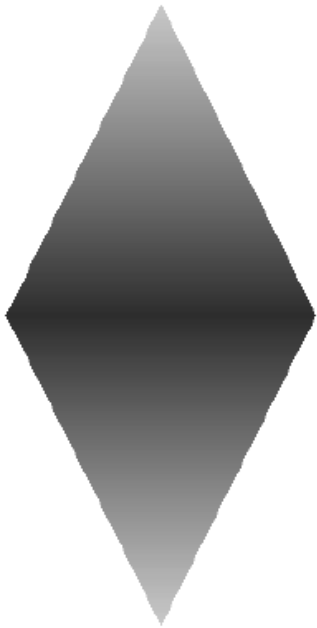
A dimensão projetada de um objeto a maior distância do observador é menor do que a dimensão projetada do mesmo objeto quando se encontra perto do observador. Mas o sombreamento interpolado, como opera no espaço do dispositivo não tem em conta tal redução desigual da dimensão com a profundidade, interpolando linearmente intensidades luminosas ou normais.

Em imagens resultantes de projeção em perspetiva, só nos vértices, ou quando uma primitiva gráfica tem a mesma profundidade em todos os seus pontos, se verifica a igualdade entre os valores de iluminação calculados por interpolação e os valores correspondentes que se obteriam calculando a iluminação no espaço de cena.

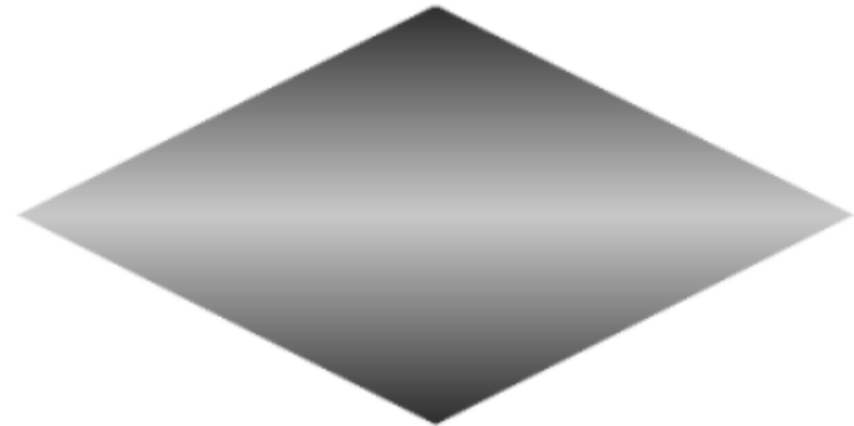
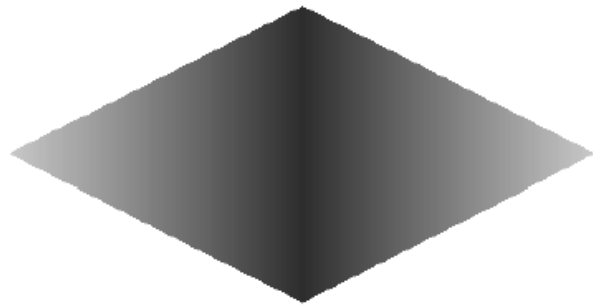
LIMITAÇÕES DO SOMBREAMENTO USANDO APROXIMAÇÕES INTERPOLADAS

- Silhueta poligonal
- Distorção de perspetiva
- **Orientação de polígonos**
- Vértices não partilhados
- Normais incorretas nos vértices

ORIENTAÇÃO DE POLÍGONOS



Sombreamento da faceta
seguido de rotação de 90°



Rotação de 90° , seguida do
sombreamento da faceta

LIMITAÇÕES DO SOMBREAMENTO USANDO APROXIMAÇÕES INTERPOLADAS

- Silhueta poligonal
- Distorção de perspetiva
- Orientação de polígonos
- **Vértices não partilhados**
- Normais incorretas nos vértices

VÉRTICES NÃO PARTILHADOS

Este problema ocorre, quando por exemplo, vários polígonos de pequena dimensão partilham um vértice e são adjacentes a um polígono de maior dimensão. O vértice partilhado pelos polígonos pequenos não é vértice do polígono maior, mas encontra-se sobre um dos seus lados.

O cálculo da cor para a quadrícula que representa o vértice poderá produzir duas informações de cor provavelmente não coincidentes, uma proveniente do cálculo da cor no vértice (igual para todos os polígonos mais pequenos) e outra do sombreamento do polígono maior.

LIMITAÇÕES DO SOMBREAMENTO USANDO APROXIMAÇÕES INTERPOLADAS

- Silhueta poligonal
- Distorção de perspetiva
- Orientação de polígonos
- Vértices não partilhados
- **Normais incorretas nos vértices**

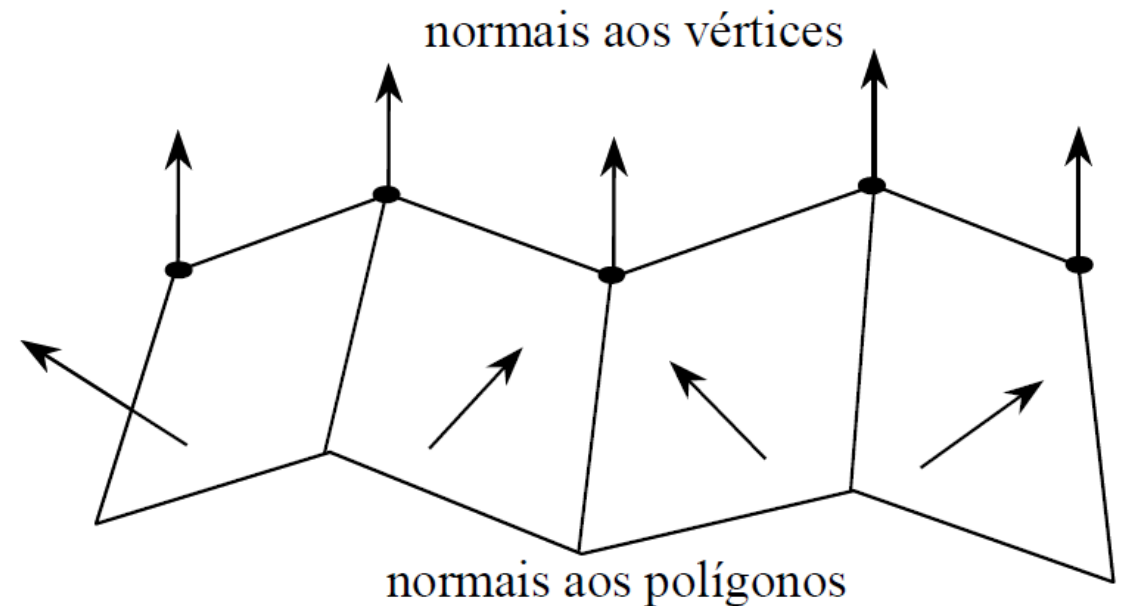
NORMAIS INCORRETAS NOS VÉRTICES

Um último problema está relacionado com o aparecimento de falsos alisamentos entre facetas adjacentes.

O cálculo das normais aos vértices resulta num conjunto de normais paralelas entre si, e consequentemente iguais intensidades luminosas pelo que o sombreamento de Gouraud irá atribuir uma cor uniforme em todos os polígonos.

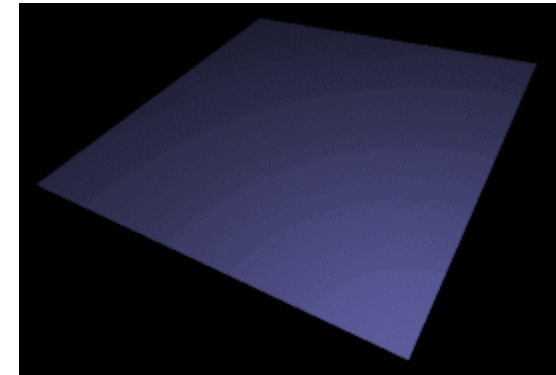
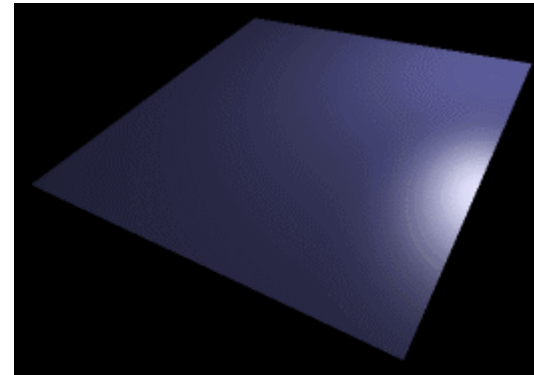
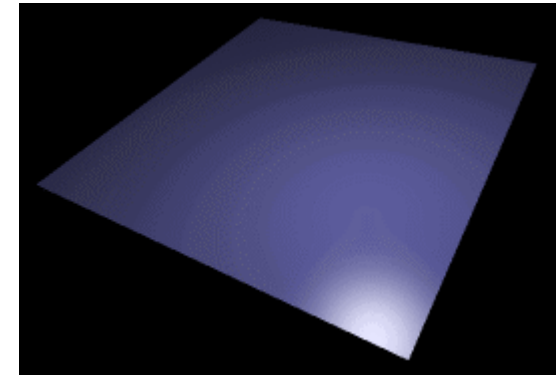
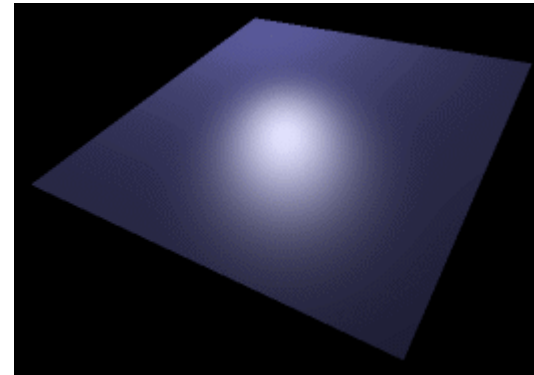
O mesmo acontecerá com o sombreamento de Phong pois as normais interpoladas serão todas iguais.

Ambos os sombreamentos produzem uma solução errada. A subdivisão dos polígonos permite ultrapassar este problema.



GOURAUD VS. PHONG

Se um realce especular não cair num vértice, o sombreamento de Gouraud pode falhar completamente, mas o método de sombreamento Phong não.



MÉTODOS DE SOMBREAMENTO (LUZ DIRETA)

Sombreamento constante

- Calcula a iluminação Phong uma vez para todo o polígono

Sombreamento de Gouraud

- Usa o método de iluminação de Phong nos vértices e interpola os valores de iluminação no polígono

Sombreamento de Phong

- Interpola as normais ao longo do polígono e execute a iluminação Phong ao longo do polígono

