



# IA725 – Computação Gráfica I

## Modelos de iluminação

13/05/2008

Shirley, capítulo 9  
Red Book, capítulo 6



## Visão geral

- Princípios básicos de interação entre luz e matéria.
  - Iluminação local e global.
  - Tipos de fontes de luz em iluminação local.
- Modelos de iluminação local.
  - Lambert.
  - Phong.
  - Blinn-Phong.
  - Controle de estados de iluminação no OpenGL.
    - Definição de luzes.
    - Definição de materiais.
- Tonalização.
  - Controle de estados de tonalização no OpenGL.



## Introdução



- Como sintetizar imagens capazes de reproduzir as diferentes interações entre fontes de luz e materiais?




## Introdução




- Como sintetizar imagens capazes de reproduzir as diferentes interações entre fontes de luz e materiais?







# Introdução




- Compromisso entre eficiência da computação e qualidade dos resultados.




↑ Eficiência




↓ Qualidade




# Introdução



- Compromisso entre eficiência da computação e qualidade dos resultados.



↑ Eficiência



↓ Qualidade

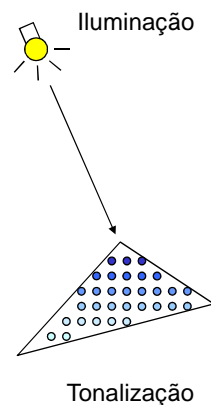




## Iluminação e tonalização



- Iluminação (*lighting*):
  - Modelar as interações de luz com os materiais da cena.
  - Avaliar tal modelo de iluminação para a geometria visível.
- Tonalização (*shading*):
  - Determinar a cor de cada *pixel*.
  - Exemplo:
    - Por interpolação de cores calculadas em pontos da superfície.



## Modelo de iluminação



- Modelo de computação da iluminação da cena.
- Um modelo de iluminação considera:
  - Propriedades das fontes de luz:
    - Intensidade, cor, posição, direção, forma.
  - Propriedades dos materiais:
    - Reflexão, absorção e transmissão da luz incidida sobre o material.
  - Interação entre as fontes de luz.
  - Interação entre os materiais iluminados.

FEEC UNICAMP

## Tipos básicos de fontes de luz

The diagram shows four types of light sources with their respective ray patterns:

- Pontual:** A central yellow dot with eight arrows radiating outwards in all directions.
- Direcional:** Four parallel arrows pointing downwards and to the right.
- Spot:** A yellow dot at the tip of a cone, with arrows radiating from the dot along the surface of the cone.
- Área:** A yellow rectangular area with eight arrows radiating outwards from its center.

- Intensidade pode ser dependente ou independente da distância entre o objeto e a fonte de luz.

FEEC UNICAMP

## Iluminação local

- Um modelo de iluminação local considera apenas as interações individuais entre uma fonte de luz e um objeto, e a posição do observador.
  - Não considera interações entre objetos iluminados.
  - OpenGL usa um modelo de iluminação local.
  - Jogos e programas como 3dsmax e Maya também usam.

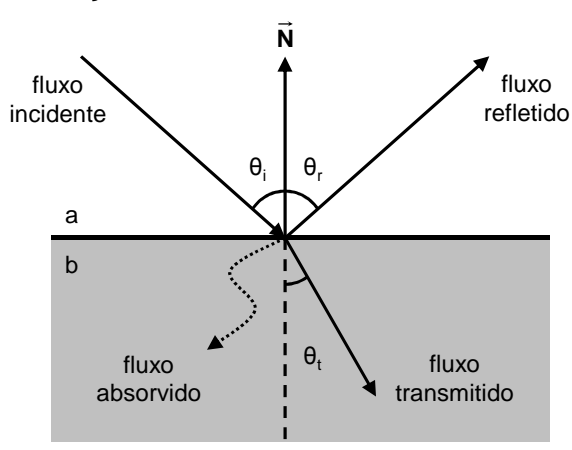
The diagram shows a blue curved surface representing an object. A yellow sun icon is positioned to the left, with an arrow pointing towards the surface. A vertical arrow labeled  $\vec{N}$  points upwards from the surface, representing the normal vector. An eye icon is positioned to the right, with an arrow pointing towards the surface, representing the observer's view direction.

FEEC

UNICAMP

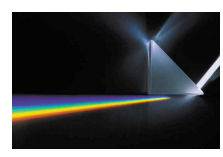
## Iluminação local

- Interação entre uma fonte de luz e uma superfície:



Lei de Snell

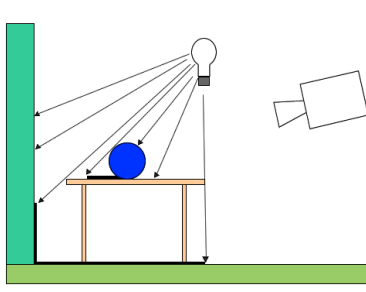

$$\theta_i = \theta_r$$

$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_t)}$$


FEEC

UNICAMP

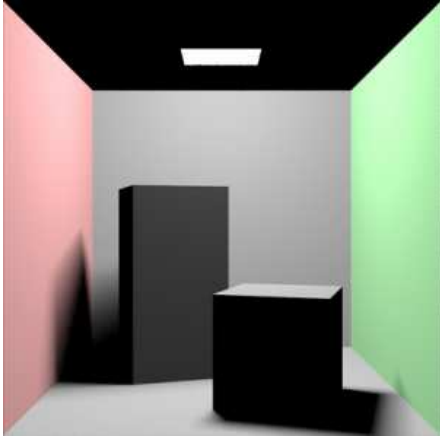
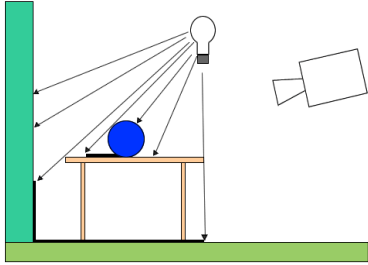
## Iluminação local

FEEC

## Iluminação local

UNICAMP



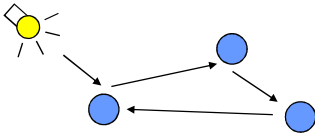
The diagram on the left shows a light source (a bulb) on a stand illuminating a blue sphere on a table. A camera is positioned to capture the scene. The 3D rendering on the right shows a room with a red wall, a green wall, and a black ceiling. A black rectangular object is on the floor, and a white rectangular object is on a table. The lighting is localized, with shadows cast on the floor and walls.

FEEC

## Iluminação global

UNICAMP

- Iluminação global considera as interações de luz entre os objetos (além das interações consideradas na iluminação local).
  - Obtenção de efeitos de interreflexão.
  - Traçado de raios e radiossidade são exemplos de modelos de iluminação global (próximas aulas).
  - Disponível como plug-ins no 3dsmax e Maya.

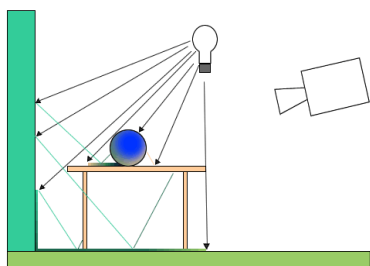


The diagram shows a yellow sun icon emitting rays towards three blue spheres. Arrows indicate the path of light from the sun to the spheres, and from the spheres to each other, illustrating global illumination effects like interreflection.

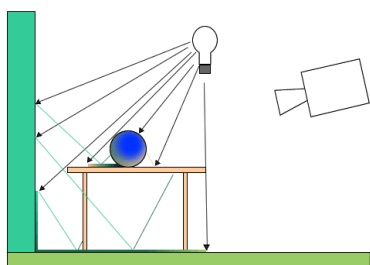




# Iluminação global



# Iluminação global





# Local x Global



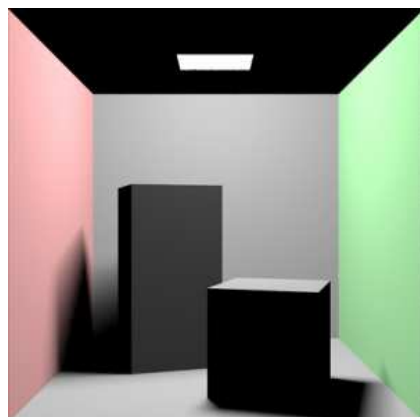
Local



Global



# Local x Global



Local



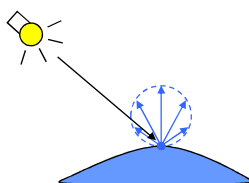
Global



## Modelo de Lambert



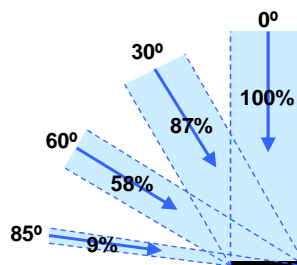
- O modelo de iluminação local de Lambert é um modelo empírico baseado na suposição de que todos os objetos refletem a mesma quantidade de luz em todas as direções.
  - Válido para superfícies idealmente difusas (superfícies Lambertianas). Exemplo: Superfícies ásperas.
  - Neste caso, pode-se aproximar a iluminação local do objeto através da “lei de cosseno de Lambert.”



## Lei de cosseno de Lambert

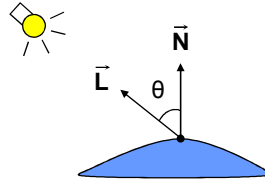


- A intensidade luminosa refletida em todas as direções em uma superfície perfeitamente difusa varia pelo cosseno do ângulo entre a direção da luz incidente e o vetor normal da superfície.
- Intuitivamente, percebemos que a área do fluxo luminoso sobre um elemento de área da superfície é menor para ângulos maiores com relação ao vetor normal.





## Lei de cosseno de Lambert



- $I_d = k_d I_i \cos(\theta)$   
 $= k_d I_i (\vec{N} \cdot \vec{L})$ .
  - $k_d$  é a componente de reflectância difusa do material, dependente do comprimento de onda.
  - $\vec{N}$  e  $\vec{L}$  são vetores normalizados.
  - Se  $\vec{N} \cdot \vec{L} < 0$ , a fonte de luz está atrás da superfície.
- Iluminação difusa independe do ponto de vista.



## Modelo de Lambert



- No modelo de Lambert, as interreflexões difusas são aproximadas por uma componente de luz “ambiente.”
- $I_a = k_a I_a$ .
  - $k_a$  é a componente de reflectância ambiente do material.
  - Aproximação grosseira.
    - Não tem problema, pois o modelo de Lambert não foi feito para ser fisicamente correto.
- Modelo de Lambert completo:
- $I_{total} = I_{ta} + I_{td}$   
 $= k_a I_a + k_d I_i (\vec{N} \cdot \vec{L})$ .



## Modelo de Lambert



- Cena desenhada somente com a luz ambiente ( $I_{ta}$ ):



## Modelo de Lambert



- Cena desenhada com luz ambiente + luz difusa ( $I_{ta} + I_{td}$ ):





## Modelo de Lambert



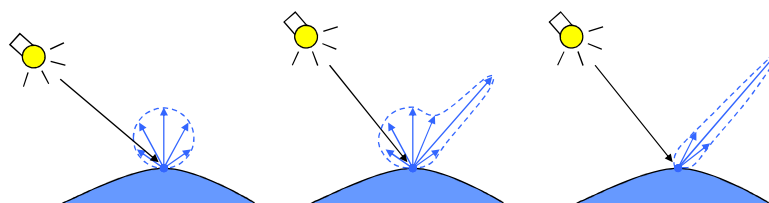
- Fator de atenuação da luz. Exemplo: Diminuição da intensidade de acordo com o quadrado da distância da fonte de luz.
  - $I = k_a I_a + f_{\text{att}} k_d I_i (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$ ,  
onde  $f_{\text{att}} = 1/d^2$  e  $d$  é a distância entre o ponto da superfície e a fonte de luz.
- Luzes coloridas:
  - 3 equações separadas para RGB.
  - $I_r = k_{ar} I_{ar} + f_{\text{att}} k_{dr} I_{ir} (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$ .
  - $I_g = k_{ag} I_{ag} + f_{\text{att}} k_{dg} I_{ig} (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$ .
  - $I_b = k_{ab} I_{ab} + f_{\text{att}} k_{db} I_{ib} (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$ .



## Modelo de Phong



- O modelo de iluminação local de Phong adiciona a contribuição de luz especular  $I_{ts}$  ao modelo de Lambert.
  - Válido para superfícies Lambertianas e superfícies com diferentes graus de especularidade. Exemplo: Superfícies polidas.





## Modelo de Phong



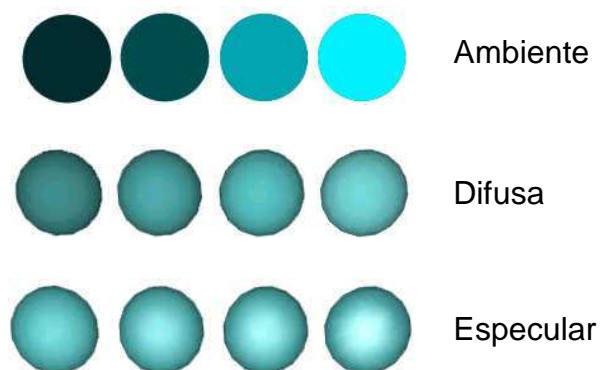
- Cena desenhada com  $I_{ta} + I_{td} + I_{ts}$ :



## Modelo de Phong

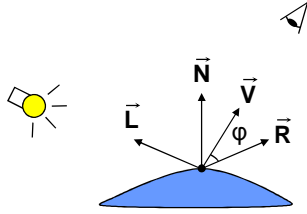


- Comparação das diferentes contribuições de luz:



FEUC UNICAMP

## Modelo de Phong



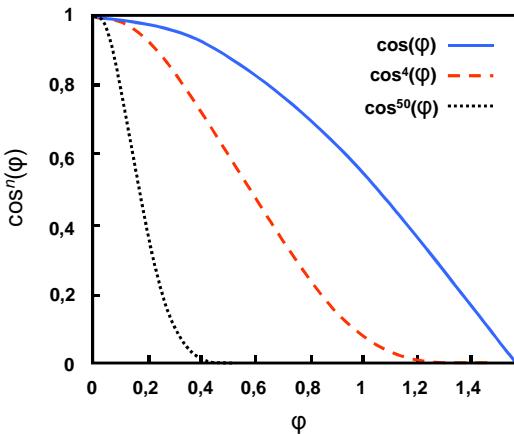
- $$I_{ts} = k_s I_i \cos^n(\varphi)$$

$$= k_s I_i (\vec{V} \cdot \vec{R})^n.$$
  - $k_s$  é a componente de reflectância especular do material.
  - $\vec{V}$  é um vetor entre o ponto da superfície e o observador.
  - $\vec{R}$  é a direção da reflexão especular.
  - $n$  especifica o decaimento (espalhamento) da reflexão.
  - $\varphi$  deve estar entre 0 e  $\pi/2$ .

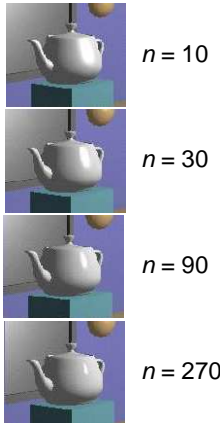
FEUC UNICAMP

## Modelo de Phong

- Gráfico de  $\cos^n(\varphi)$  para diferentes valores de  $n$ .



$n$	Curve Style
1	Solid blue line
4	Dashed red line
50	Dotted black line



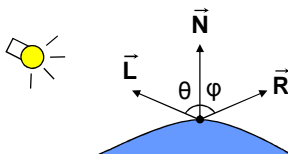




## Modelo de Phong



- Como calcular  $\vec{R}$ ?



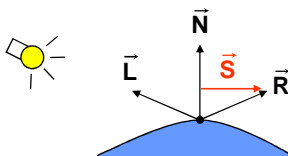
- Pela lei de Snell:  $\theta = \phi$ .
  - Ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão.



## Modelo de Phong



- Como calcular  $\vec{R}$ ?



$$\vec{R} = (\vec{N} \cdot \vec{L}) \vec{N} + \vec{S}$$

$$\vec{S} = (\vec{N} \cdot \vec{L}) \vec{N} - \vec{L}$$

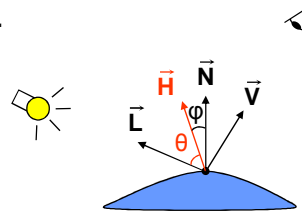
$$\vec{R} = 2\vec{N} (\vec{N} \cdot \vec{L}) - \vec{L}$$



## Modelo de Blinn-Phong



- Variação do modelo de Phong.
- Utiliza o vetor *halfway*  $\vec{H}$  em substituição ao vetor  $\vec{R}$ .



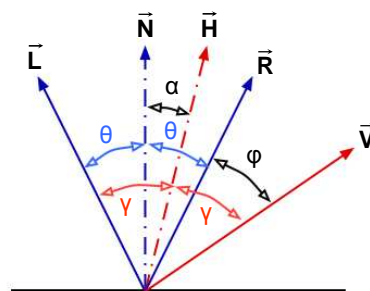
- $I_{ts} = k_s I_i (\vec{N} \cdot \vec{H})^n$ .
  - $\vec{H}$  bisecta o ângulo entre  $\vec{L}$  e  $\vec{V}$ .
- Mais eficiente para calcular  $\vec{H}$  do que  $\vec{R}$ .
  - $\vec{H} = \vec{L} + \vec{V} / |\vec{L} + \vec{V}|$ .
  - $\vec{H} = \vec{L} + \vec{V} / 2$ .
- $\varphi$  é sempre menor que  $\pi/2$ .



## Modelo de Blinn-Phong



- Relação entre  $\vec{V} \cdot \vec{R}$  e  $\vec{N} \cdot \vec{H}$ .



$$\theta + \varphi = \alpha + \gamma$$

$$\theta + \alpha = \gamma$$

$$\varphi - \alpha = \alpha$$

$$\varphi = 2\alpha$$

- Logo,  $n$  deve introduzir um fator de 2 em  $I_{ts} = k_s I_i (\vec{N} \cdot \vec{H})^n$ .



## Modelo de Blinn-Phong



- Modelo completo, com fatores de atenuação e múltiplas fontes de luz.

$$I_{total} = \underbrace{k_a I_a}_{\text{ambiente}} + \sum_{j=1}^{\text{fontes de luz}} [(f_{att_j} I_j) (\underbrace{k_d (\vec{N} \cdot \vec{L})}_{\text{difusa}} + \underbrace{k_s (\vec{N} \cdot \vec{H})^n}_{\text{especular}})]$$

- Para múltiplas fontes:
  - Repetir cálculos para componentes difusa e especular.
  - Somar as componentes de todas as fontes.
  - Termo ambiente deve contribuir apenas uma vez.



## Modelo de Blinn-Phong



- Valores dos componentes de reflectância e expoente  $n$  para diferentes materiais.

Material	Ambient K <sub>a</sub> , K <sub>g</sub> ,k <sub>ab</sub>	Diffuse K <sub>d</sub> r, K <sub>d</sub> g,k <sub>db</sub>	Specular K <sub>s</sub> r, K <sub>s</sub> g,k <sub>sb</sub>	Exponent, n
Black plastic	0.0	0.01	0.5	32
	0.0	0.01	0.5	
	0.0	0.01	0.5	
Brass	0.329412	0.780392	0.992157	27.8974
	0.223529	0.568627	0.941176	
	0.027451	0.113725	0.807843	
Polished Silver	0.23125	0.2775	0.773911	89.6
	0.23125	0.2775	0.773911	
	0.23125	0.2775	0.773911	



# Modelo de Blinn-Phong

