

Modelos de Iluminação Locais

Sistemas Gráficos/

Computação Gráfica e Interfaces

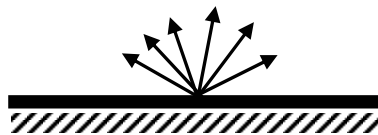
Modelos de Iluminação Locais

Os **modelos de iluminação** expressam as componentes de iluminação que definem a intensidade de luz reflectida por uma dada superfície, permitindo o cálculo da cor de cada ponto de superfície dos objectos contidos na imagem.

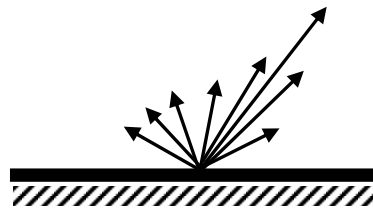
A luz incidente na face é reflectida de duas formas:

Reflexão Difusa: a luz reflecte em todas as direcções, com igual valor de intensidade, devido à rugosidade da superfície reflectora.

Reflexão Especular: fontes pontuais de luz produzem zonas sobre-iluminadas na superfície reflectora.



Reflexão Difusa



Reflexão Especular
+ Difusa

Modelos de Iluminação Locais

Modelo Elementar

Modelo de Iluminação Elementar

a) Iluminação ambiente

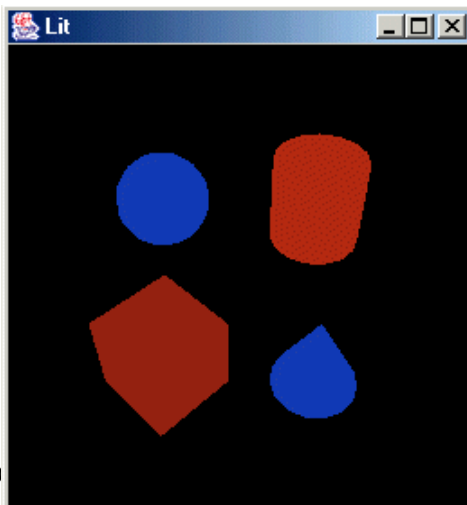
Corresponde a uma iluminação difusa, cuja luz é proveniente de inúmeras reflexões.

$$I = k_a \cdot I_a$$

k_a : coef. de reflexão ambiente (difusa) da face; varia entre 0 e 1

I : Intensidade Observada

A intensidade I_a é constante em todas as direcções. Se considerássemos apenas esta componente para definir a luz reflectida pelo objecto, então todas as faces teriam a mesma intensidade luminosa, como mostra a figura.



A luz reflectida é uniforme em toda a face e independente da posição do observador.

As arestas não se distinguem.

Modelos de Iluminação Locais

Modelo Elementar

Modelo de Iluminação Elementar

b) Reflexão Difusa

A reflexão difusa devida a uma **fonte de luz pontual** é calculada de acordo com a lei de Lambert: a intensidade de luz reflectida depende do ângulo de iluminação.

A intensidade observada no objecto varia, dependendo da orientação da superfície e da distância à fonte de luz.

$$I = \frac{k_d \cdot I_p}{d + d_0} \cos(\theta)$$

(Pela Lei de Lambert, o denominador deveria ser d^2 ...)

Os vectores são unitários:

θ : ângulo de incidência da fonte de luz

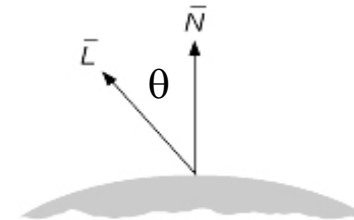
N : normal à superfície (vector unitário)

L : direcção do raio de iluminação (r. incidente)

I_p : intensidade da fonte de luz

K_d : coeficiente de reflexão difusa

Nota: A intensidade de luz reflectida não depende da posição do observador. Depende do ângulo de incidência da luz.



$$\cos(\theta) = N \cdot L$$

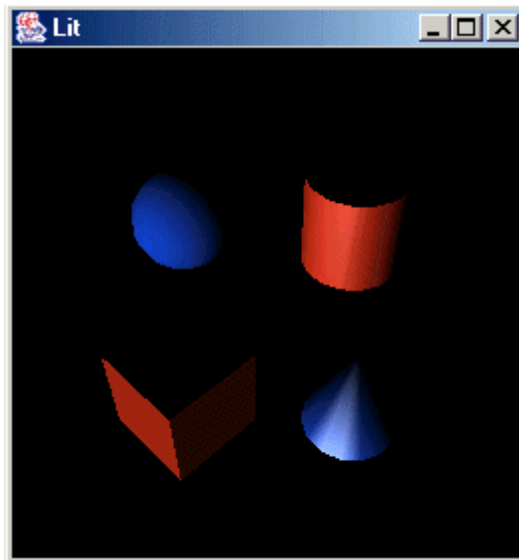
Modelos de Iluminação Locais

Modelo Elementar

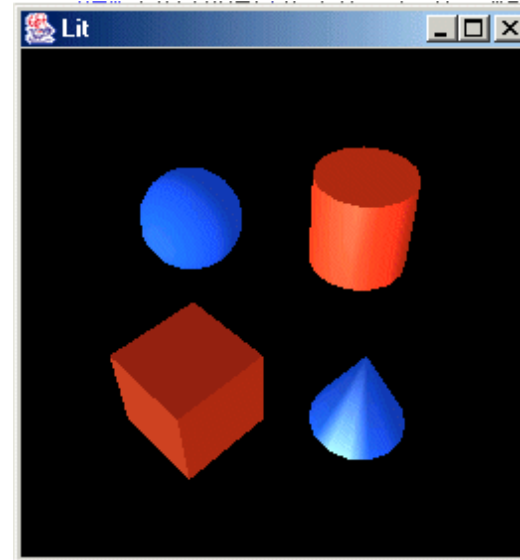
Modelo de Iluminação Elementar

Somando as duas componentes:

$$I = k_a I_a + \frac{k_d \cdot I_p}{d + d_0} N \cdot L$$



Apenas componente difusa



Componente ambiente + difusa

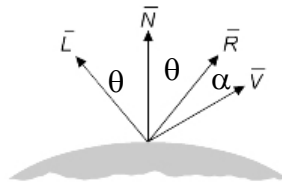
Modelos de Iluminação Locais

Modelo Elementar

Modelo de Iluminação Elementar

c) Reflexão Especular/Modelo de Phong

Reflexão observável em superfícies polidas.



\mathbf{R} : direcção de reflexão máxima
 α : Ângulo entre \mathbf{R} e a direcção do observador \mathbf{V} .

$$I_s = \frac{k_s \cdot I_p}{d + d_0} \cos^n(\alpha)$$

A **reflexão especular** depende da posição do observador. K_s é uma constante que depende do material, assim como o expoente n .

(Em rigor, dever-se-ia usar uma função $W(\theta)$ em vez de K_s ...)

Numa superfície reflectora ideal (espelho ideal), a luz é reflectida apenas na direcção \mathbf{R} .

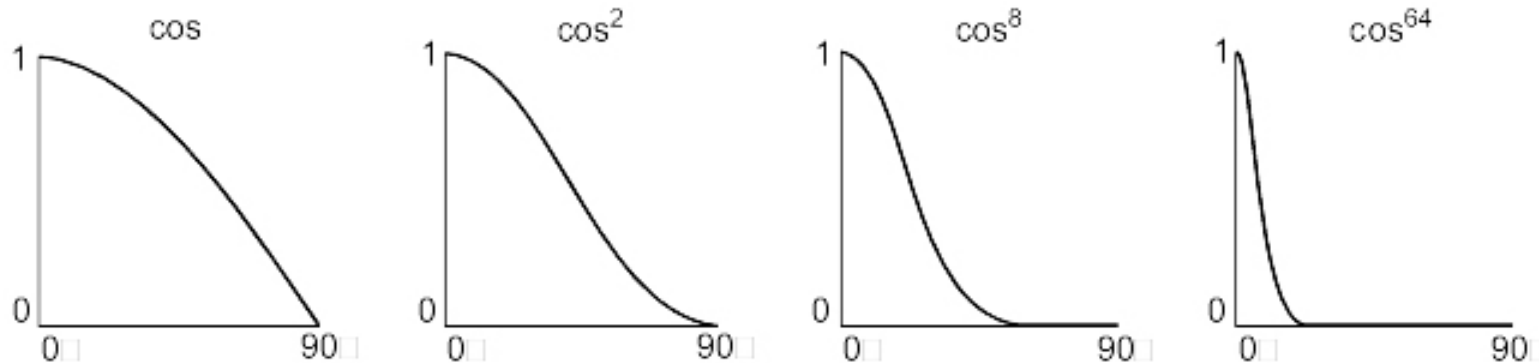
Numa superfície não ideal, a direcção \mathbf{R} terá a maior intensidade de reflexão; as outras direcções terão menores intensidades.

Modelos de Iluminação Locais

Modelo Elementar

Reflexão Especular/Modelo de Phong

A intensidade da reflexão especular é proporcional a $\cos^n(\alpha)$, em que n depende das características da superfície (valor 1 para faces não polidas e 200 para faces perfeitamente polidas).



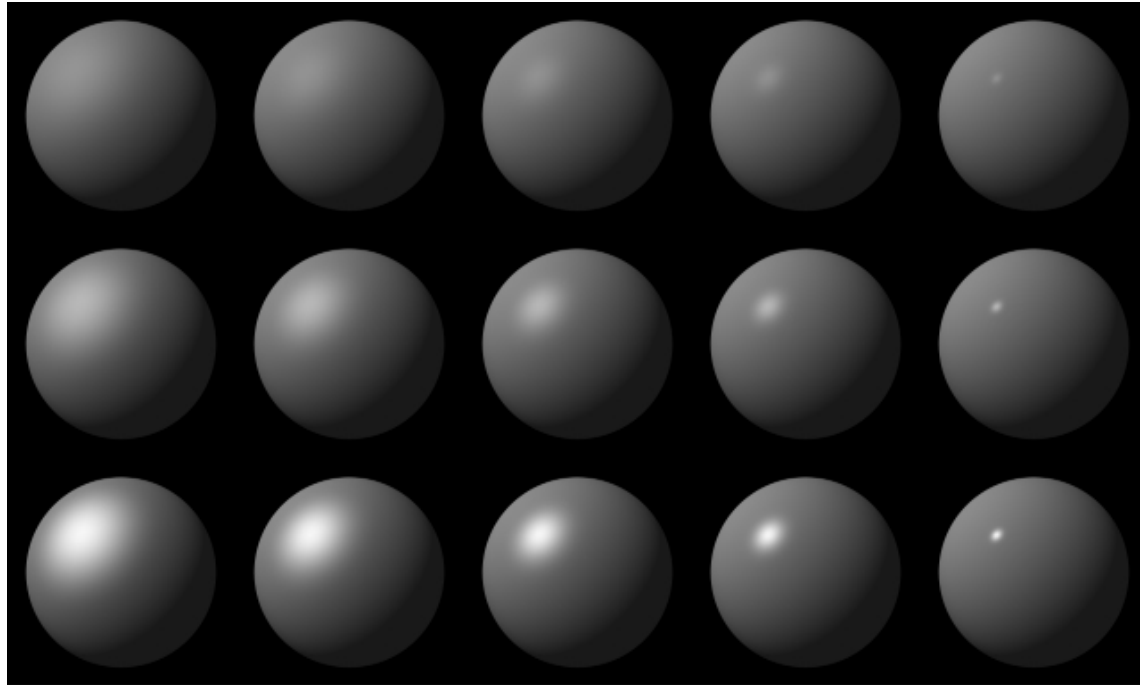
$$I_s = \frac{k_s \cdot I_p}{d + d_0} \cos^n(\alpha)$$

Sendo \mathbf{V} e \mathbf{R} vectores unitários, obtém-se:

$$I_s = \frac{k_s \cdot I_p}{d + d_0} (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})^n$$

Modelos de Iluminação Locais

Reflexão Especular/Modelo de Phong



Iluminação pelo modelo de Phong para diferentes valores de k_s e n . $I_a=I_p=1.0$, $k_a=0.1$, $k_d=0.45$.

Da esquerda para a direita, $n=3.0, 5.0, 10.0, 27.0, 200.0$.

De cima para baixo $k_s=0.1, 0.25, 0.5$.

Modelos de Iluminação Locais

Modelo Elementar

- A expressão anterior fica:

$$I = k_a I_a + I_p \left[\frac{k_d}{d + d_0} N.L + \frac{k_s}{d + d_0} (R.V)^n \right]$$

- Coeficientes de Reflexão:
 - K_a e K_d são vulgarmente iguais
- Podem ser decompostos em componentes coloridas (RGB ou outras):
 - I, I_a, I_p
 - k_a, k_d
 - k_s
 - n

Modelos de Iluminação Locais

Modelo Elementar

Modelo de Iluminação Elementar

d) Refracção (para modelar objectos transparentes)

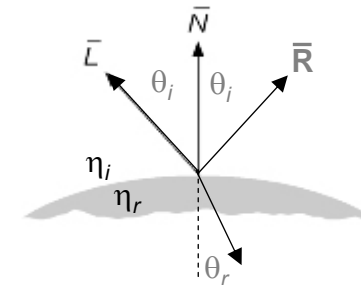
Quando o objecto é transparente, é necessário prever a luz que passa através de uma face: chama-se **luz transmitida** ou **luz refractada**.

Devido à velocidade da luz ser diferente em materiais diferentes, o ângulo de refração resulta diferente do ângulo de incidência.

η_i índice de refração do ar

η_r índice de refração do material

η é obtido para um dado material como a razão entre a velocidade da luz no vazio e a velocidade no material.

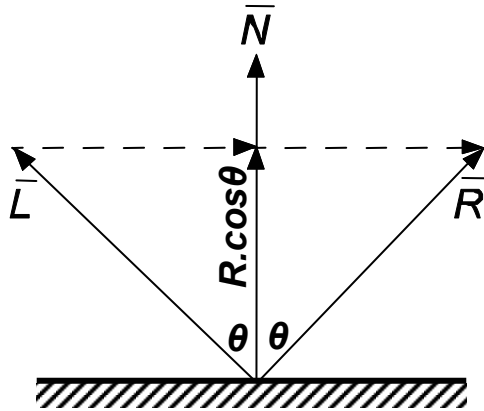


Lei de Snell:

$$\sin(\theta_r) = \frac{\eta_i}{\eta_r} \sin(\theta_i)$$

Modelos de Iluminação Locais

Cálculo do Vector R é complexo...



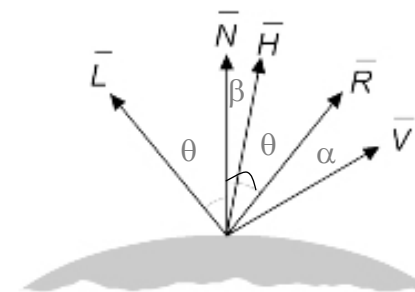
$$\vec{L} + \vec{R} = \vec{N} \cdot 2 \cdot |\vec{R}| \cdot \cos \theta$$

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

Uma formulação simplificada considera o **halfway vector H**, calculando $\vec{N} \cdot \vec{H}$, em vez de $\vec{R} \cdot \vec{V}$. É uma aproximação, embora grosseira...

$$I = k_a I_a + \sum_{l_s} [k_d \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L}_{l_s}) + k_s \cdot (\vec{N} \cdot \vec{H}_{l_s})^n] \cdot I_{l_s}$$

Como determinar **H**?



Modelos de Iluminação Locais

Halfway Vector

Para faces planas, pode considerar-se que a fonte de luz e o observador estão suficientemente afastados:

V, **N** e **L** constantes sobre toda a superfície no cálculo de $\cos \theta = \mathbf{R} \cdot \mathbf{V}$
(aproximação que resulta em menos cálculos).

Em superfícies não planas, tal não é possível...

O cálculo de $\mathbf{N} \cdot \mathbf{H}$ requer menor número de operações do que o cálculo de $\mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$.

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{L} + \mathbf{V}}{|\mathbf{L} + \mathbf{V}|}$$

O cálculo de **H** envolve apenas a soma de **L** e **V** e respectiva normalização

Modelos de Iluminação Locais

Modelo apresentado na bibliografia aconselhada

- Factor de atenuação da iluminação com a distância à fonte de luz:
 - Pretende substituir os denominadores (distância)

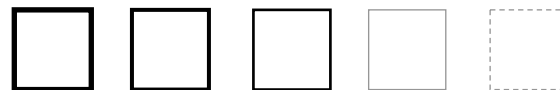
$$f_{att} = \min\left(1, \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2}\right)$$

- Cor em Luzes e Objectos:
 - Utilização de coeficientes “ k ” escalares
 - Introdução de valores “ O_λ ” de cor

$$I_\lambda = k_a I_{a\lambda} O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} \left[k_d O_{d\lambda} (N.L) + k_s O_{s\lambda} (R.V)^n \right]$$

- Atenuação Atmosférica:
 - Não se confunda com atenuação da iluminação...

(Observador)



Modelos de Iluminação Locais

Modelo de Iluminação Local Melhorado (livro recomendado)

1. Factor de Atenuação da fonte de iluminação f_{att}

Com o modelo de Phong, se a projecção de duas faces paralelas com as mesmas características físicas aparecessem sobrepostas, o observador não conseguiria distinguir entre o fim de uma e o início da outra, independentemente da distancia de cada face ao observador. O factor de atenuação pretende fazer diminuir a iluminação com a distância da fonte de luz ao ponto iluminado.

$$I = k_a I_a + f_{att} \cdot [k_d (N \cdot L_{ls}) + k_s \cdot (V \cdot R_{ls})^n] \cdot I_{ls}$$

O factor de atenuação é definido como:

$$f_{att} = \min \left(1, \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2} \right)$$

K_c, K_l, K_q , são constantes definidas pelo utilizador que caracterizam a fonte de luz.

No livro:

$$K_c = c_1$$

$$K_l = c_2$$

$$K_q = c_3$$

O factor $1/d_l^2$ não funcionaria bem. Para fontes de luz muito distantes este factor não varia suficientemente. Se a fonte estiver próxima, resultam variações muito acentuadas entre objectos semelhantes.

Modelos de Iluminação Locais

Modelo de Iluminação Local Melhorado

- OpenGL:

- Exemplo:

- ```
glLightf(GL_LIGHT0, GL_CONSTANT_ATTENUATION, Kc)
```

- ```
glLightf(GL_LIGHT0, GL_LINEAR_ATTENUATION, Kl)
```

- ```
glLightf(GL_LIGHT0, GL_QUADRATIC_ATTENUATION, Kq)
```

**Nota: todas as contribuições da fonte `GL_LIGHT0` serão atenuadas, i.e., especular, difusa e mesmo a ambiente!**

- Em OpenGL, existe:

- Fonte de luz ambiente

- Participação (percentagem) de cada fonte luz para a iluminação ambiente

# Modelos de Iluminação Locais

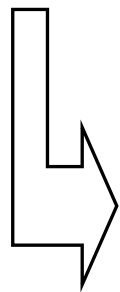
## Modelo de Iluminação Local Melhorado

### 2. Cor

As cores da luz e das superfícies são tratadas considerando equações distintas para cada componente do espectro tratado.

- Normalmente, o espectro resume-se às componentes RGB...
  - A cor **difusa** de um objecto é definida por  $(O_{dR}, O_{dG}, O_{dB})$ .
  - A fonte de luz é caracterizada por intensidades em cada componente:  $(I_{pR}, I_{pG}, I_{pB})$
- O modelo de iluminação é definido por 3 equações, uma por cada componente **(R,G,B)**:

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



$$I_R = k_a I_{aR} O_{dR} + f_{att} \cdot [k_d \cdot O_{dR} (N.L) + k_s \cdot O_{sR} (V.R)^n] \cdot I_{pR}$$

$$I_G = k_a I_{aG} O_{dG} + f_{att} \cdot [k_d \cdot O_{dG} (N.L) + k_s \cdot O_{sG} (V.R)^n] \cdot I_{pG}$$

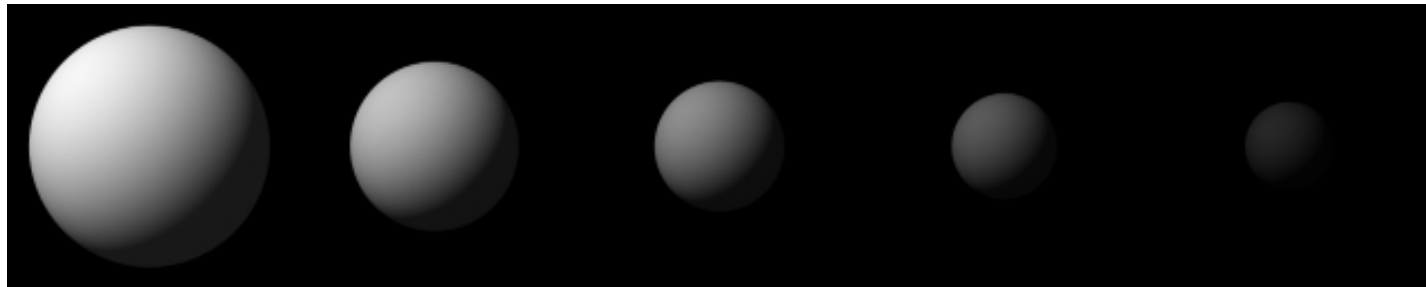
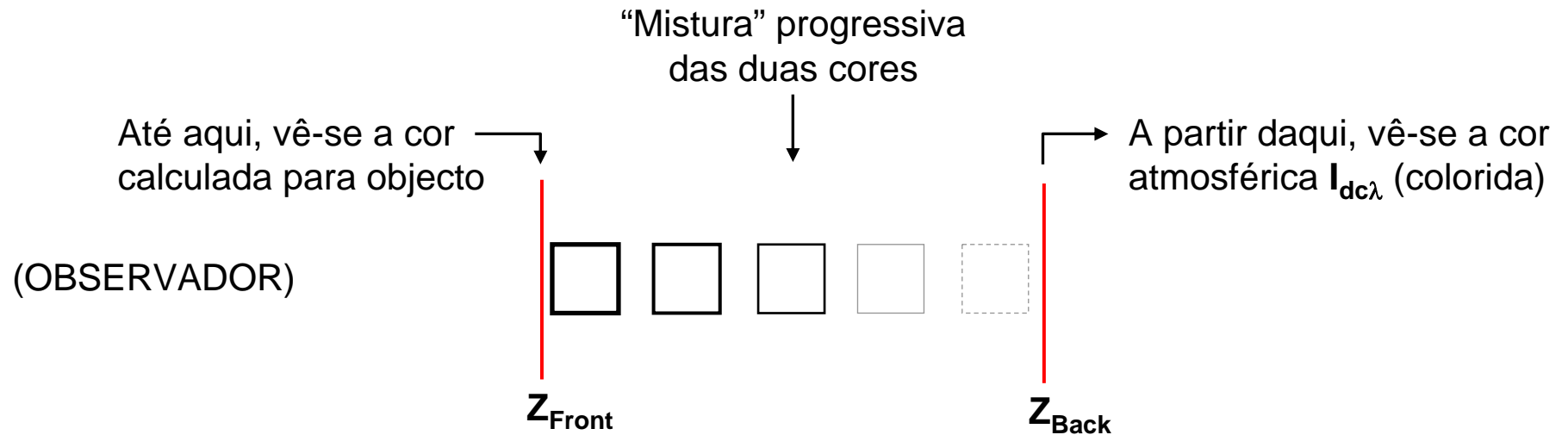
$$I_B = k_a I_{aB} O_{dB} + f_{att} \cdot [k_d \cdot O_{dB} (N.L) + k_s \cdot O_{sB} (V.R)^n] \cdot I_{pB}$$



# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo de Iluminação Local Melhorado

### 3. Atenuação Atmosférica (com Z decrescente com a distância ao observador)



# Modelos de Iluminação Locais

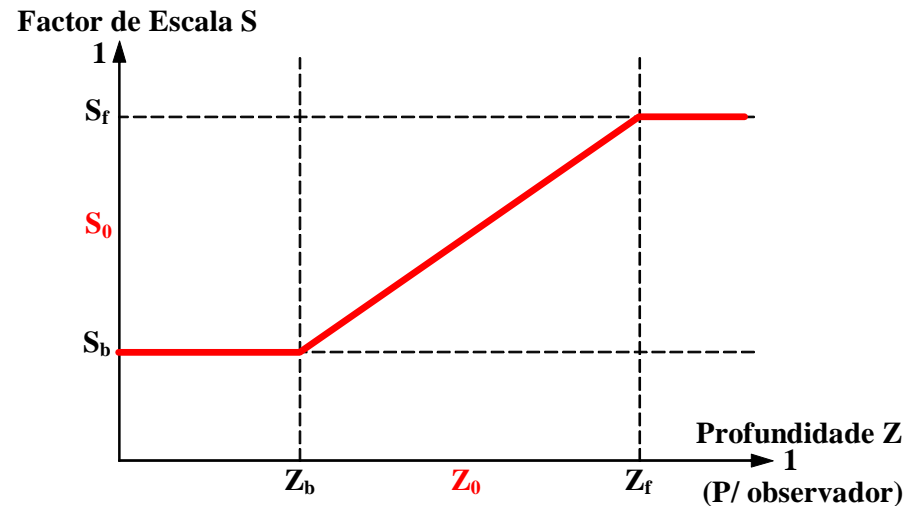
## Modelo de Iluminação Local Melhorado

- Atenuação Atmosférica

$$I'_\lambda = s_0 I_\lambda + (1 - s_0) I_{dc\lambda}$$

- Com:

$$s_0 = s_b + \frac{(z_0 - z_b)(s_f - s_b)}{z_f - z_b}$$



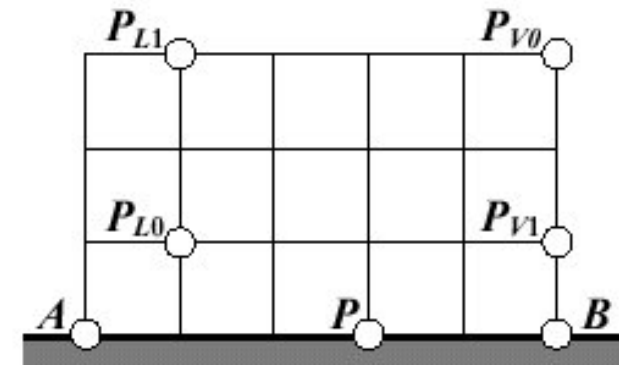
Sendo:

- $I'_\lambda$ : iluminação/cor com atenuação atmosférica
- $I_\lambda$ : iluminação/cor do objecto sem atenuação atmosférica
- $I_{dc\lambda}$ : iluminação/cor da “atmosfera”
- $s_f$ ,  $s_b$ : factores de escala (val. típicos: 1 e 0, respectivamente)
- $z_0$ : distância do objecto
- $z_f$ ,  $z_b$ : distâncias dos planos limites *front* e *back*

# Modelos de Iluminação Locais

## Exercício

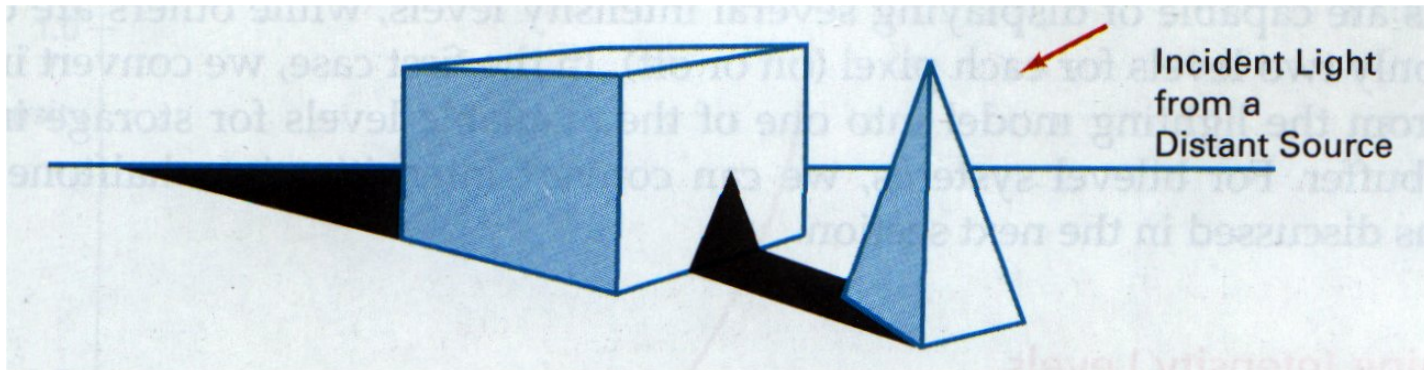
1. Na figura junta, a fonte de luz desloca-se da posição  $P_{L0}$  para a posição  $P_{L1}$ . Em simultâneo e à mesma velocidade, o observador desloca-se da posição  $P_{V0}$  para a posição  $P_{V1}$ . As características da superfície horizontal são:  $K_a=K_d=0.5$ ;  $K_s=0.0$ ;  $n=1$ .



- a)- Diga, justificando, qual é a posição da fonte de luz (e a correspondente posição do observador), que corresponde ao maior valor da iluminação observada no ponto  $P$ , de acordo com o modelo de iluminação de Phong.
- b)- Na situação inicial, qual é, dos pontos A, P ou B, o que apresenta maior iluminação ao observador?

# Projecção de Sombras

A projecção de sombras é um problema semelhante ao cálculo de visibilidade.



## 1. Algoritmo de Atherton & Weiller usando 2 passos:

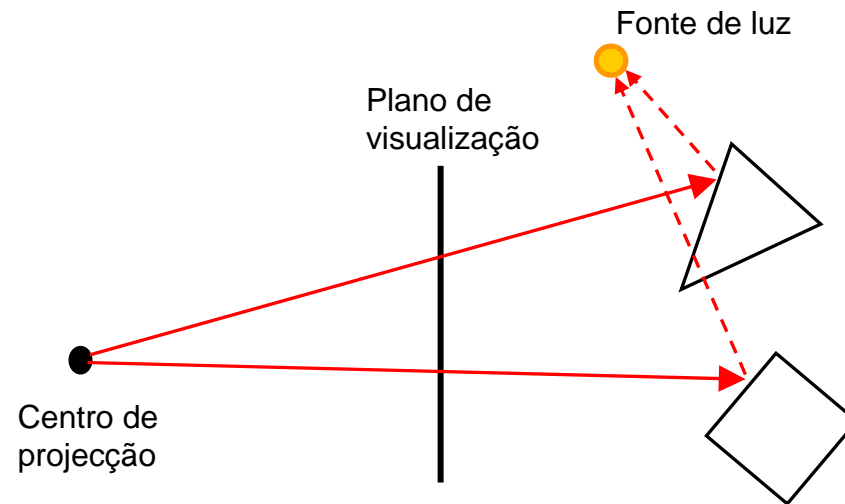
- a) Considerar a posição da fonte de luz como sendo a posição do observador, e determinar as partes visíveis (iluminadas). O resultado é a classificação em sombra ou iluminado.
- b) Determinar as partes visíveis em relação ao observador. As partes visíveis e iluminadas são desenhadas iluminadas e as restantes como sombra.

# Projecção de Sombras

## 2. Ray Casting

Emite-se um raio luminoso a partir do ponto de observação, através do centro de um *pixel* para 'dentro' da cena. O ponto de intercepção entre o raio e o objecto mais próximo define o objecto visível nesse *pixel*.

**sombra:** emitir novo raio a partir do ponto de intercepção para a fonte de luz. Se interceptar algum objecto então esse ponto está na sombra.

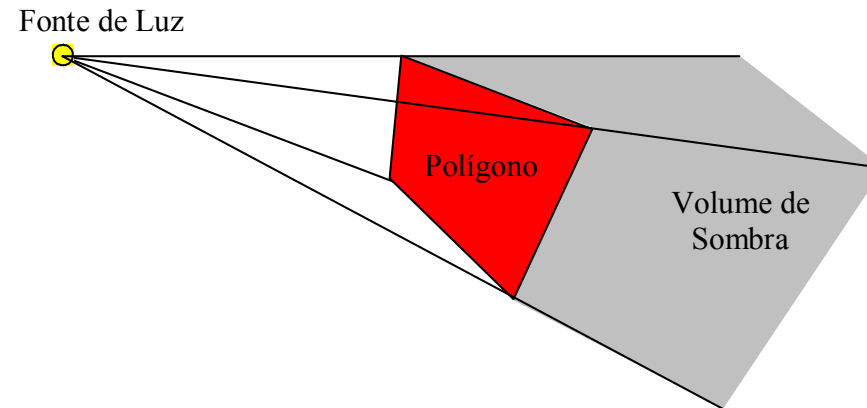


# Projecção de Sombras

## 3. Volumes de sombras (BSP)

Partindo de uma fonte de luz, cria-se uma pirâmide de sombra por cada polígono encontrado em cena. Posteriormente, qualquer objecto ou parte dele que ali se encontre é declarado como estando em sombra.

A modelação *BSP-Binary Space Partition* é especialmente adequada à representação dos volumes de sombra (limitação por planos).



## 4. Z-Buffer

O algoritmo de cálculo de visibilidade Z-Buffer pode ser utilizado, a dois passos, para o cálculo de projecção de sombras (ver livro recomendado).