

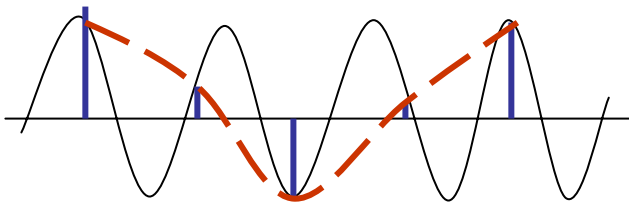
Introdução à Computação Gráfica

Aliasing e Ray Tracing Distribuído

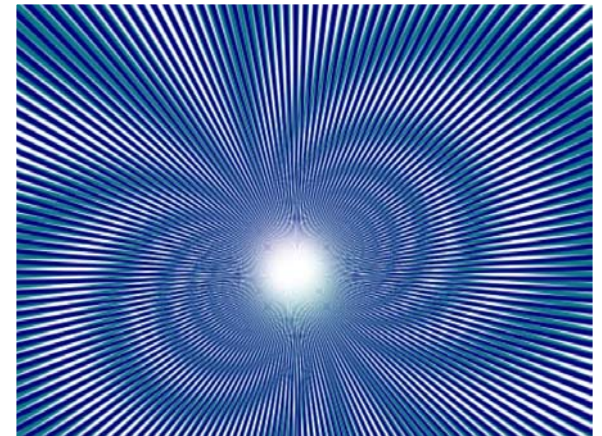
Claudio Esperança
Paulo Roma Cavalcanti

Aliasing

- É o nome que se dá ao efeito decorrente de se amostrar de forma insuficiente um sinal contínuo qualquer
- Importante em Computação Gráfica já que imagens digitais são necessariamente amostragens

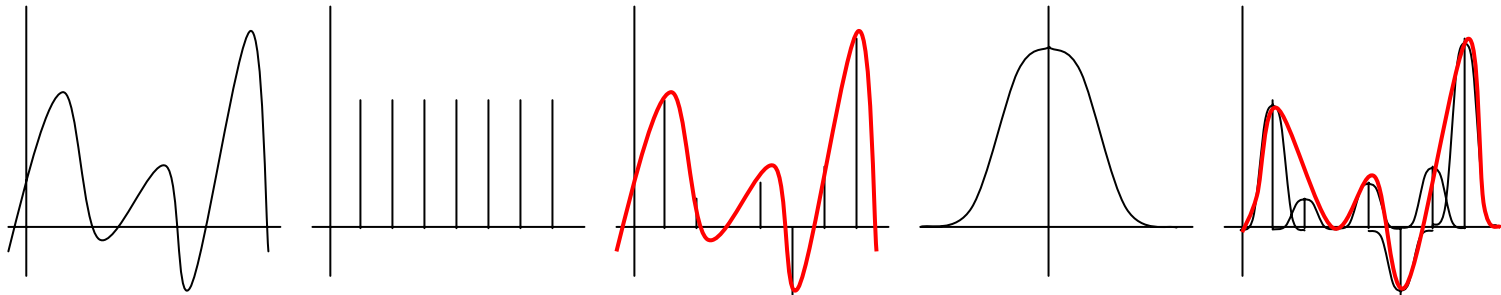
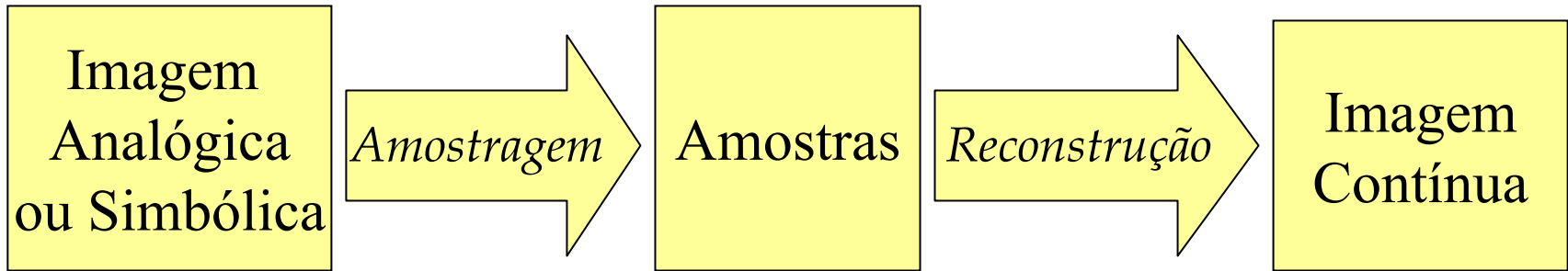


Serrilhado



Padrões “Moiré”

Amostragem e Reconstrução



Teorema da Amostragem de Shannon

- Qualquer sinal no qual frequências maiores que f sejam nulas pode ser perfeitamente reconstruído se amostrado em uma frequência igual ou superior a $2f$
- A frequência limite para amostragem é também conhecida como *Limite de Nyquist*

Transformada de Fourier

- Um sinal (função) qualquer pode ser decomposto em uma soma (possivelmente infinita) de senóides
- Transformada de Fourier nada mais é do que computar a distribuição (amplitudes, frequências e fases) dessas senóides
 - ◆ Permite trabalhar com sinal no domínio da frequência ao invés de no domínio do tempo

Transformada de Fourier

$$F(u) = \frac{1}{2\pi} \int I(x) \exp(-jux) dx$$

$$I(x) = \frac{1}{2\pi} \int F(u) \exp(jux) du$$

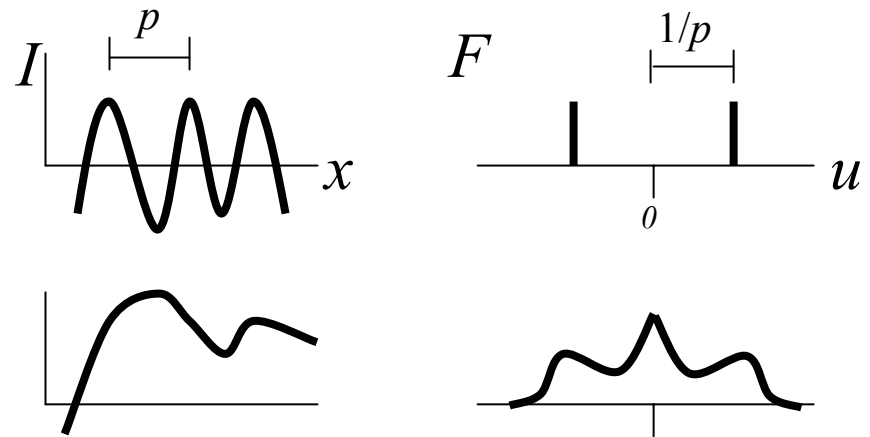
- Dado um sinal $I(x)$, resulta no espectro de frequências $F(u)$
- $F(0)$ = “termo DC” (invariante com o tempo) = média do sinal
- $F(-u) = F(u)$

$$j^2 = -1$$

$$\exp(-jux) = \cos ux - j \sin ux$$

$$|a + bj| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

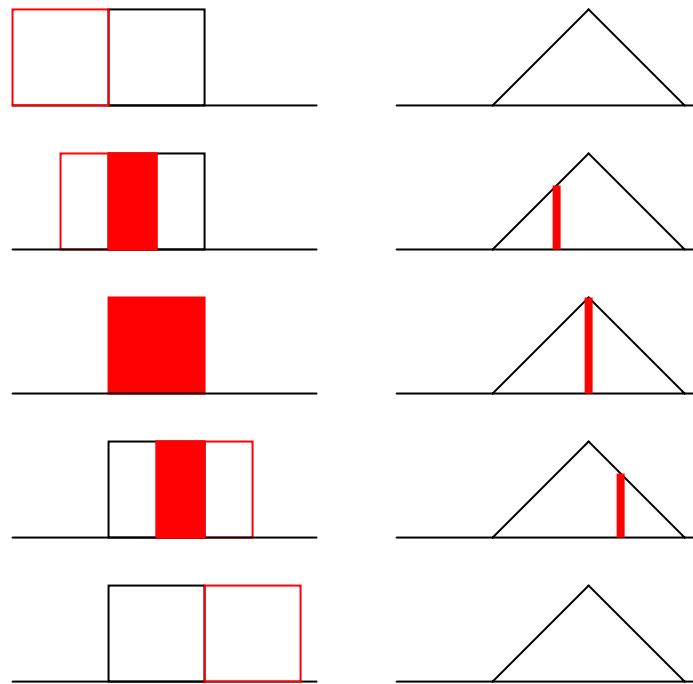
$$\text{ang } a + bj = \arctan(b/a)$$



Convolução

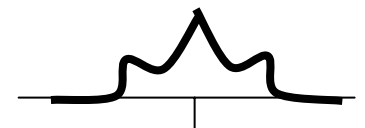
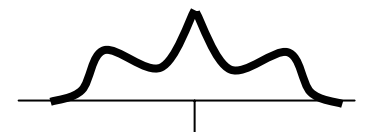
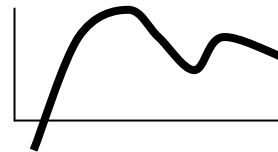
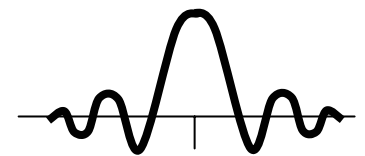
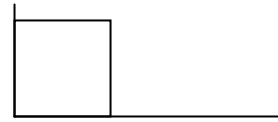
$$(g * h)(t) = \int g(s)h(t - s)ds$$

- Exemplo: Convolução de uma onda quadrada com outra onda quadrada resulta em uma onda triangular
- Convolução e multiplicação de funções são operações relacionadas
 - ◆ $f^*g \Leftrightarrow FG$
 - ◆ $fg \Leftrightarrow F^*G$

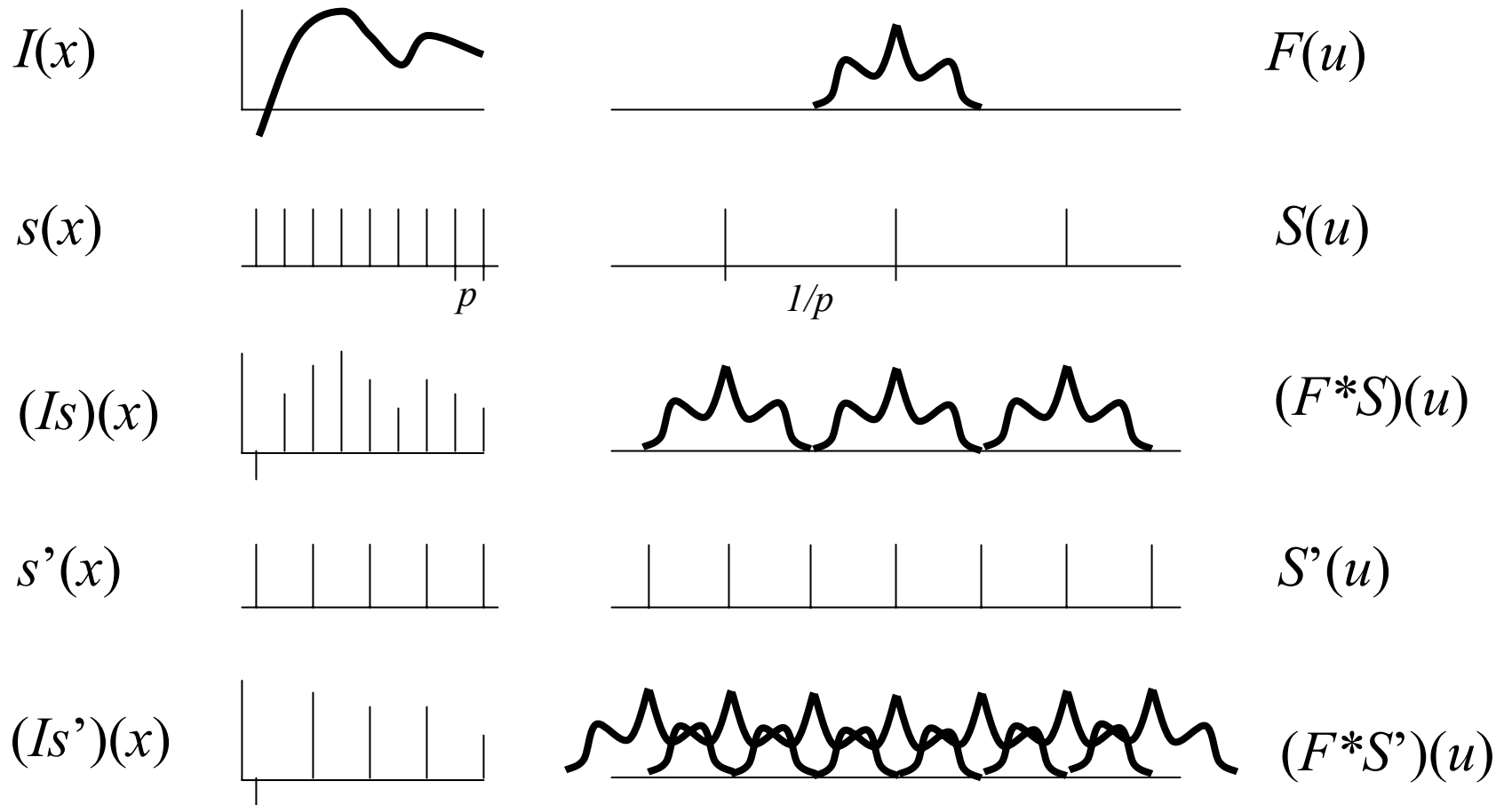


Filtros Passa-Baixa

- Para eliminar frequências altas de um sinal, multiplica-se seu espectro por uma função “caixa”
- Transformada de Fourier de uma função caixa é a função **sinc**
- Convolução do sinal com a função sinc resulta num filtro passa-baixa ideal
- Na prática, usa-se funções com *suporte limitado*:
Gaussiana, sinc^2 , triangular



Amostragem

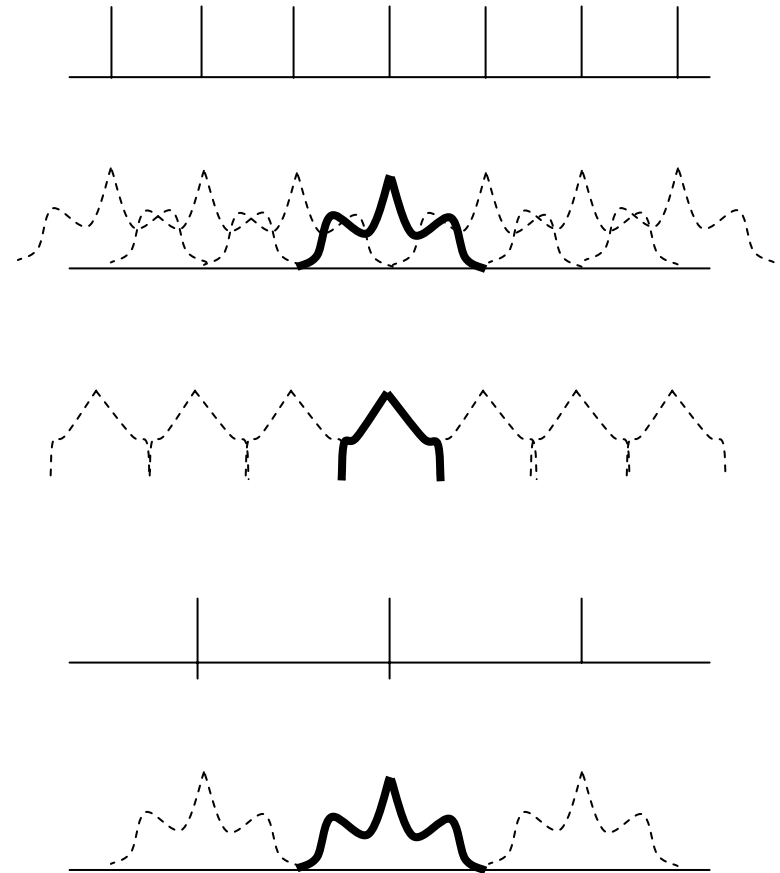


Antialiasing

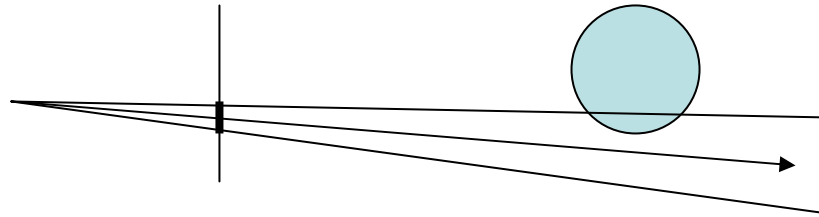
- O nome *alias* em inglês refere-se aos sinais de “sombra” que parecem existir quando a frequência de amostragem não é suficientemente grande
- Como evitar?
 - ◆ Eliminar (filtrar) altas frequências
 - Antes de amostrar (pré-filtragem)
 - Depois da amostragem (pós-filtragem)

Estratégias de Antialiasing

- Pré-filtragem
 - ◆ Remove-se frequências maiores que a metade da frequência de amostragem
 - ◆ Imagem é borrada *antes* da amostragem
- Pós-filtragem
 - ◆ Aumenta-se a frequência de amostragem
 - ◆ Número de amostras maior que o número de pixels
 - ◆ Imagem é borrada *depois* da amostragem



Técnicas de Antialiasing em Ray Tracing



- Idéias

- ◆ Usar um raio “espesso”
- ◆ Lançar o raio sobre um objeto borrado
- ◆ Lançar vários raios

Cone Tracing

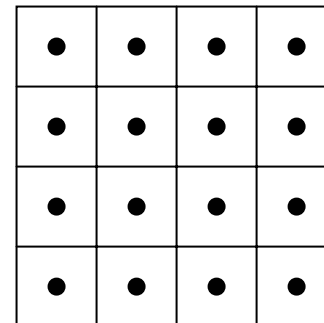
- Amanatides SIGGRAPH 84
- Raios são substituídos por cones
- Cada pixel é amostrado por um cone com ápice no olho e com eixo passando pelo pixel
- Interseções cone x objeto
- Soluções analíticas similares às do ray tracing tradicional
- Dispendioso

Beam Tracing

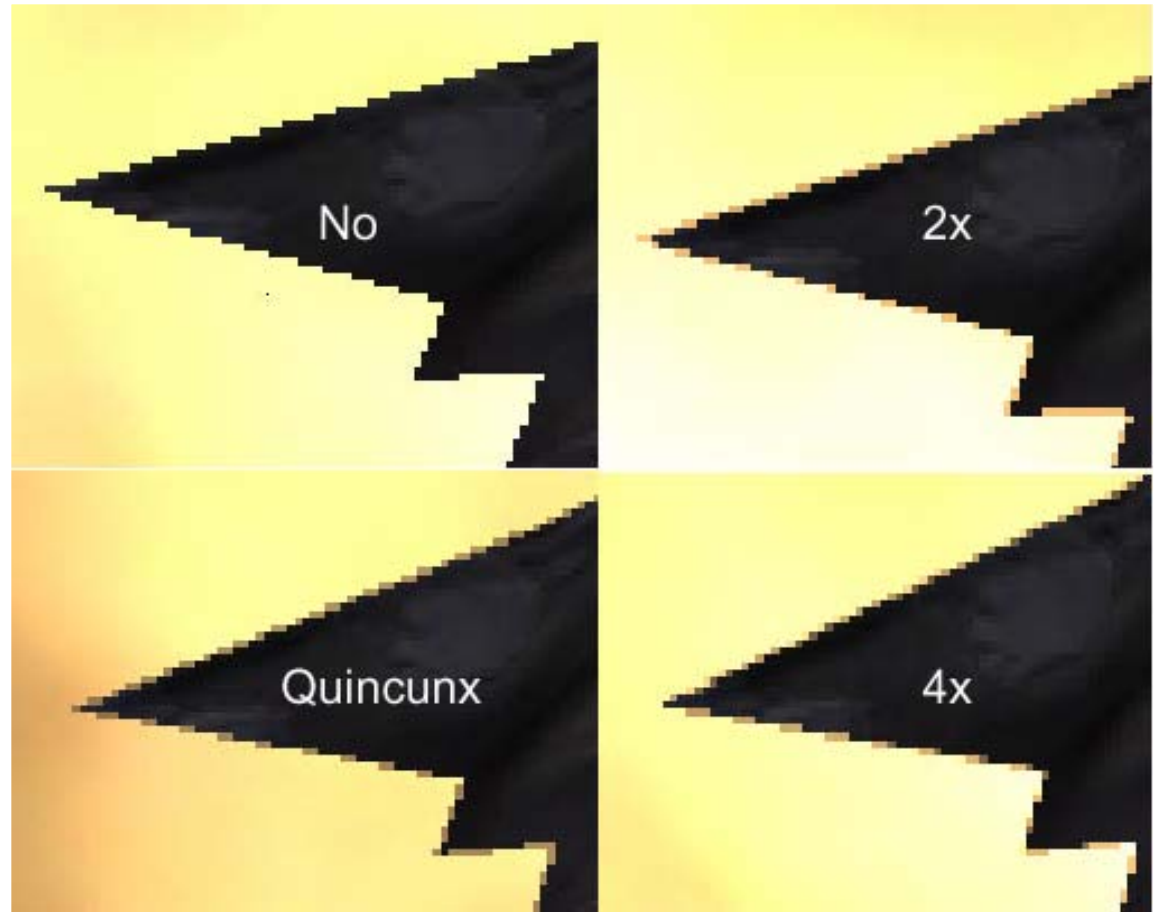
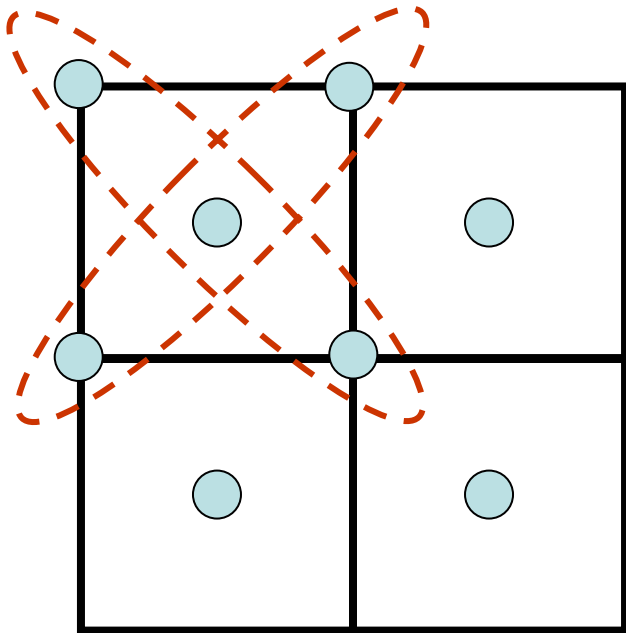
- Heckbert & Hanrahan SIGGRAPH 84
- Raios são substituídos por pirâmides
- Cenas são modeladas com polígonos
 - ◆ Interseções plano-plano são simples e rápidas
 - ◆ Técnicas de antialiasing usadas na rasterização de linhas e polígonos podem ser empregadas
- Aplicação recursiva do modelo de iluminação torna-se possível
 - ◆ Cena é transformada para o novo ponto de vista (raio refletido)

Super-Amostragem Uniforme

- Fazer raytracing em resolução mais alta e achar a média dos pixels
- Não elimina problemas com padrões Moiré
- Serrilhado apenas movido para frequências mais altas

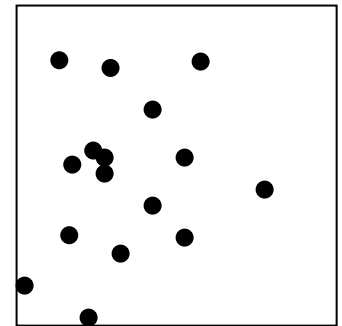


Super-Amostragem Uniforme



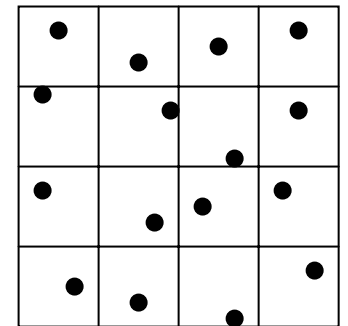
Super-Amostragem Aleatória (*Jitter*)

- N pontos são amostrados aleatoriamente em cada pixel
- Problemas de aliasing são disfarçados como ruído
- Padrões de Moiré são minimizados
- Entretanto, como a distribuição não é uniforme, algumas áreas podem ser mais bem amostradas que outras
 - ◆ Amostragem introduz energia no espectro
 - ◆ Artefatos indesejáveis



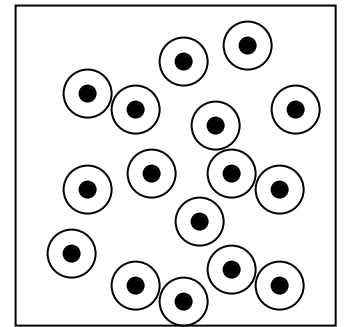
Super-Amostragem Uniforme Aleatória (*Uniform Jitter*)

- Pixel é dividido em subpixels de área idêntica
- Cada subpixel é amostrado em um ponto aleatório
- Distribuição retém alguma ordem
 - ◆ Pouca energia é introduzida no espectro
- Reintroduz alguns efeitos Moiré



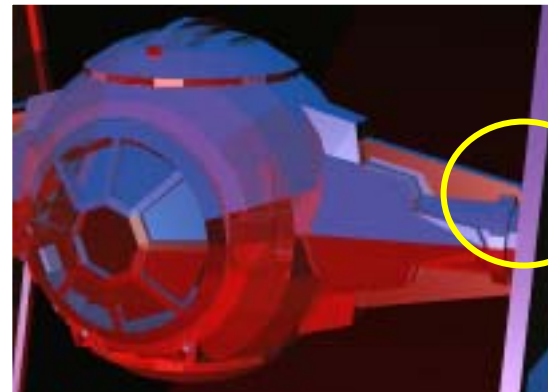
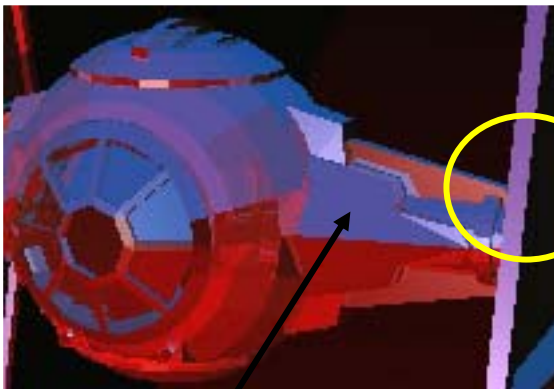
Distribuição de Poisson

- Pontos escolhidos aleatoriamente, mas garantidamente a uma distância mínima dos demais
- Minimiza padrões Moiré
- Função de amostragem adiciona pouca energia ao espectro
- Macacos têm retina (longe da fóvea) com cones distribuídos desta forma



Super-Amostragem Adaptativa

- Super amostragem concentrada em áreas com variância alta
 - ◆ Arestas
 - ◆ Fronteiras entre sombras



Área de cor uniforme

Mais amostras

Super-Amostragem Adaptativa

- Critério de subdivisão
 - Quadtrees
 - Kd-trees
- Padrão de amostragem
 - Uniforme
 - Jitter Uniforme
 - Padrões Poisson multi-resolução

Por que Ray Tracing parece falso?

- Sombras bem delineadas
- Todos os objetos em foco
 - ◆ Câmera com abertura infinitesimal
- Objetos em movimento aparecem congelados
 - ◆ Filme com tempo de exposição infinitesimal
- Reflexão e refração “perfeitas”
 - ◆ Materiais perfeitamente lisos

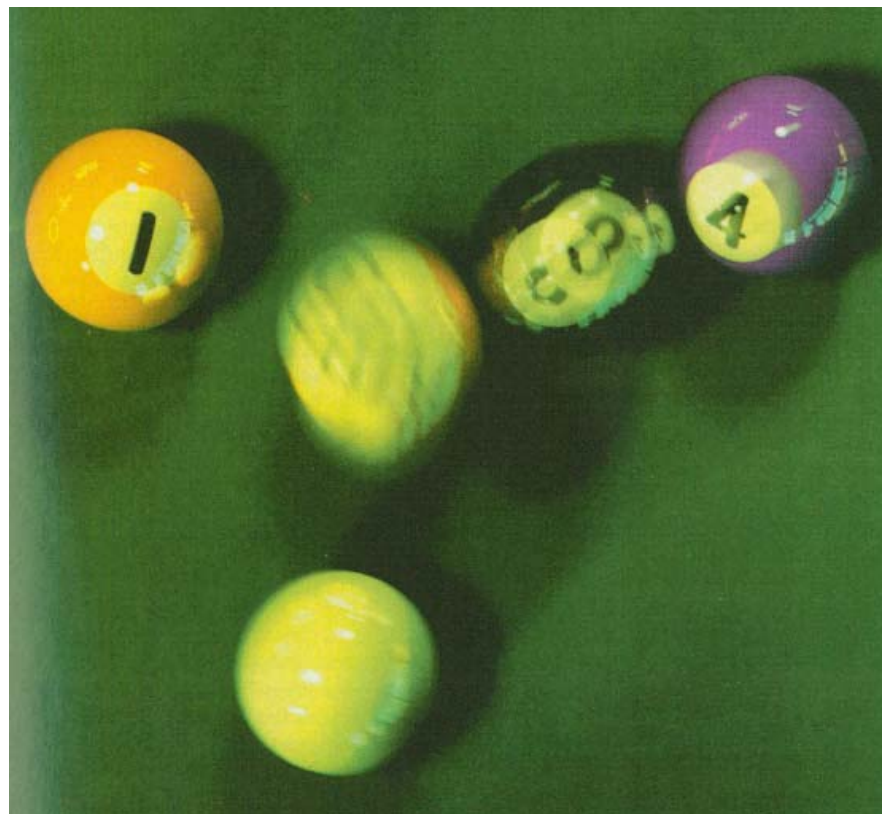


Ray Tracing Distribuído

- Rob Cook, SIGGRAPH 84
- Usar múltiplos raios distribuídos no tempo e no espaço
- Múltiplos raios de visibilidade
 - ◆ Super-Amostragem
 - ◆ Profundidade de campo (*depth of field*)
 - ◆ Distribuídos no tempo → Borrramento por movimento (*motion blur*)
- Múltiplos raios de detecção de sombra
 - ◆ Fontes luminosas não pontuais
- Múltiplos raios refletidos
 - ◆ Superfícies rugosas brilhosas (*glossy*)
- Múltiplos raios refratados
 - ◆ Vidro fosco ou rugoso

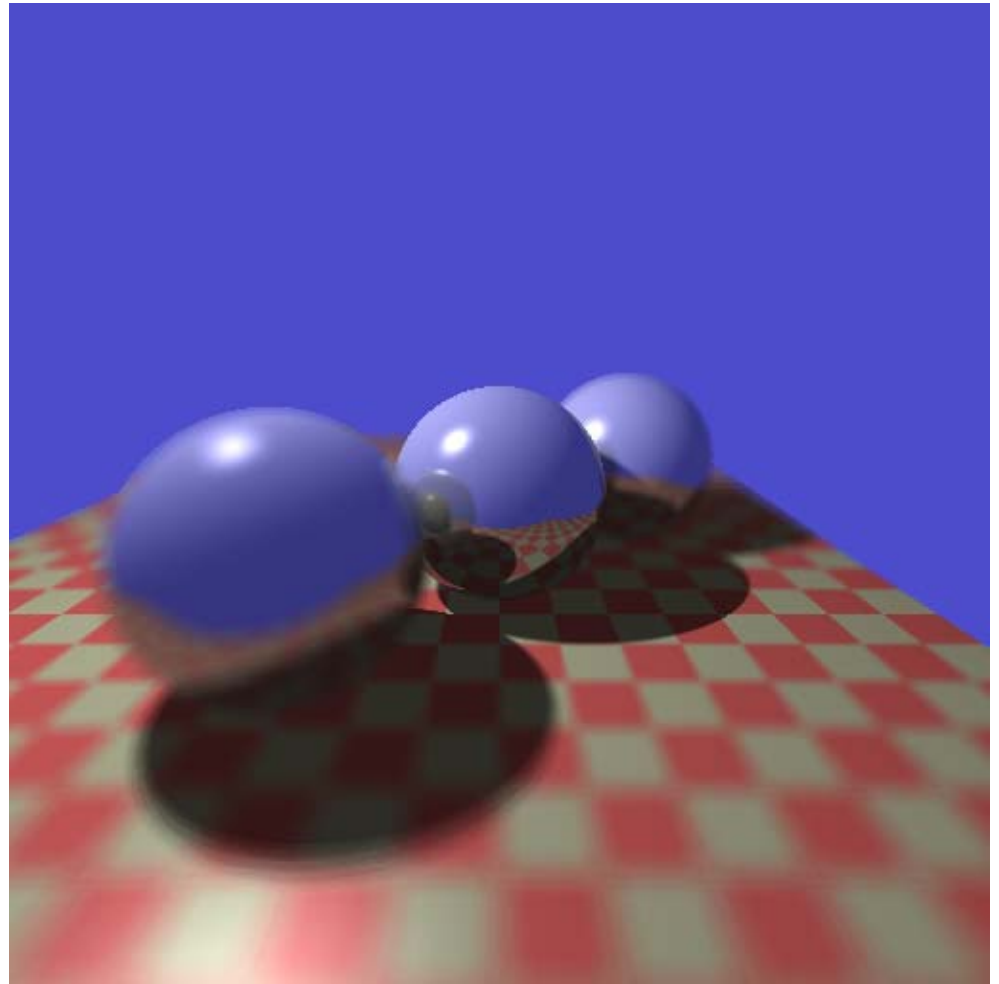
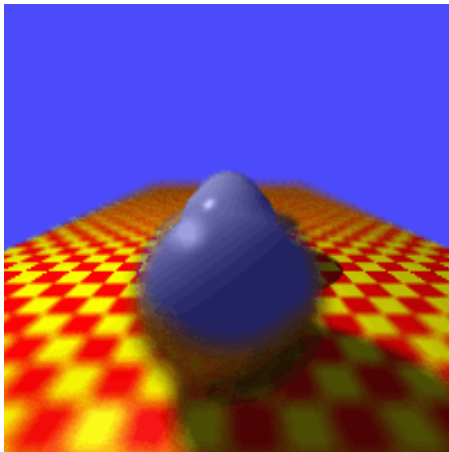
Borramento por Movimento

- Numa fotografia de objetos em movimento, o borramento é proporcional à velocidade
- Vários raios são lançados para cada pixel, cada um em um instante diferente
- Reconstrução das amostras usando filtros apropriados
 - ◆ Filtro caixa – obturador rápido
 - ◆ Filtro triangular – obturador lento

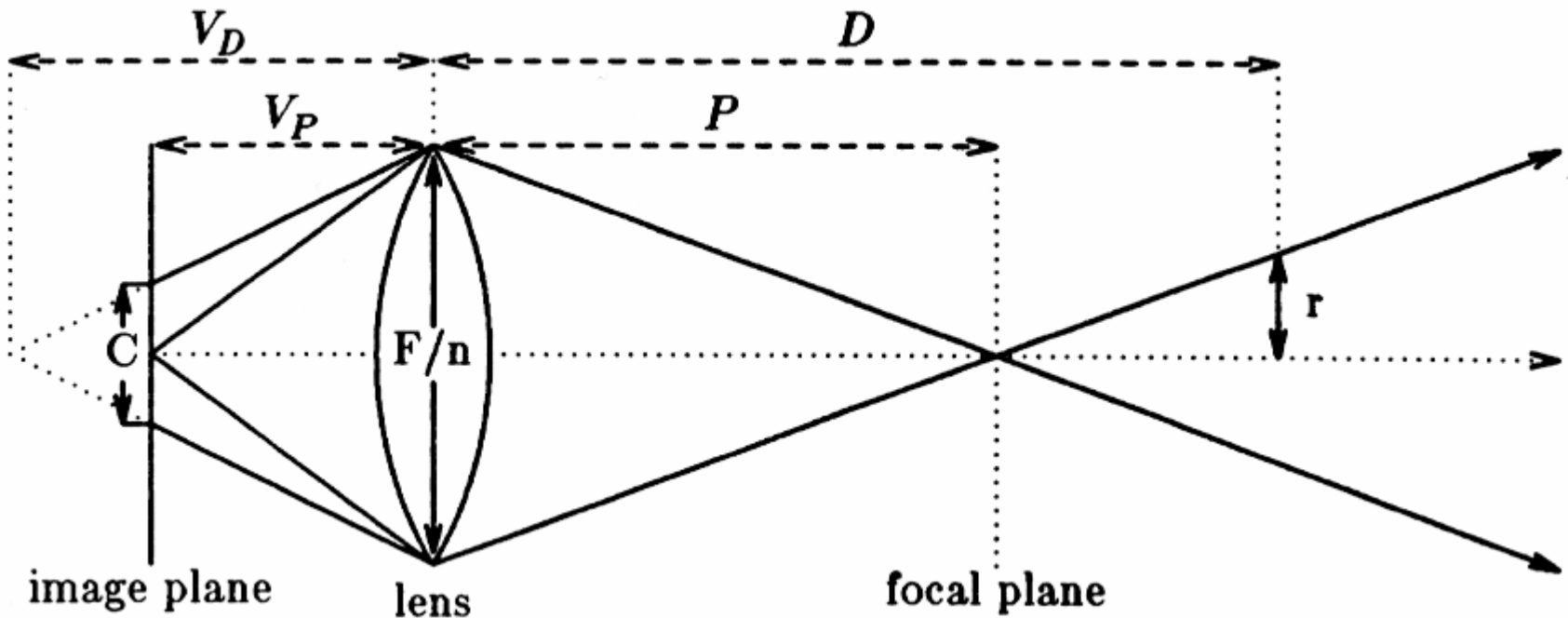


Profundidade de campo

- Simulação mais realista de modelos de câmera
 - ◆ Abertura
 - ◆ Distância Focal



Modelo de Câmera



F – Distância focal

$$V_P = FP/(P-F)$$

$$r = \frac{1}{2} (F/n) (D-P)/P$$

n – Número da abertura

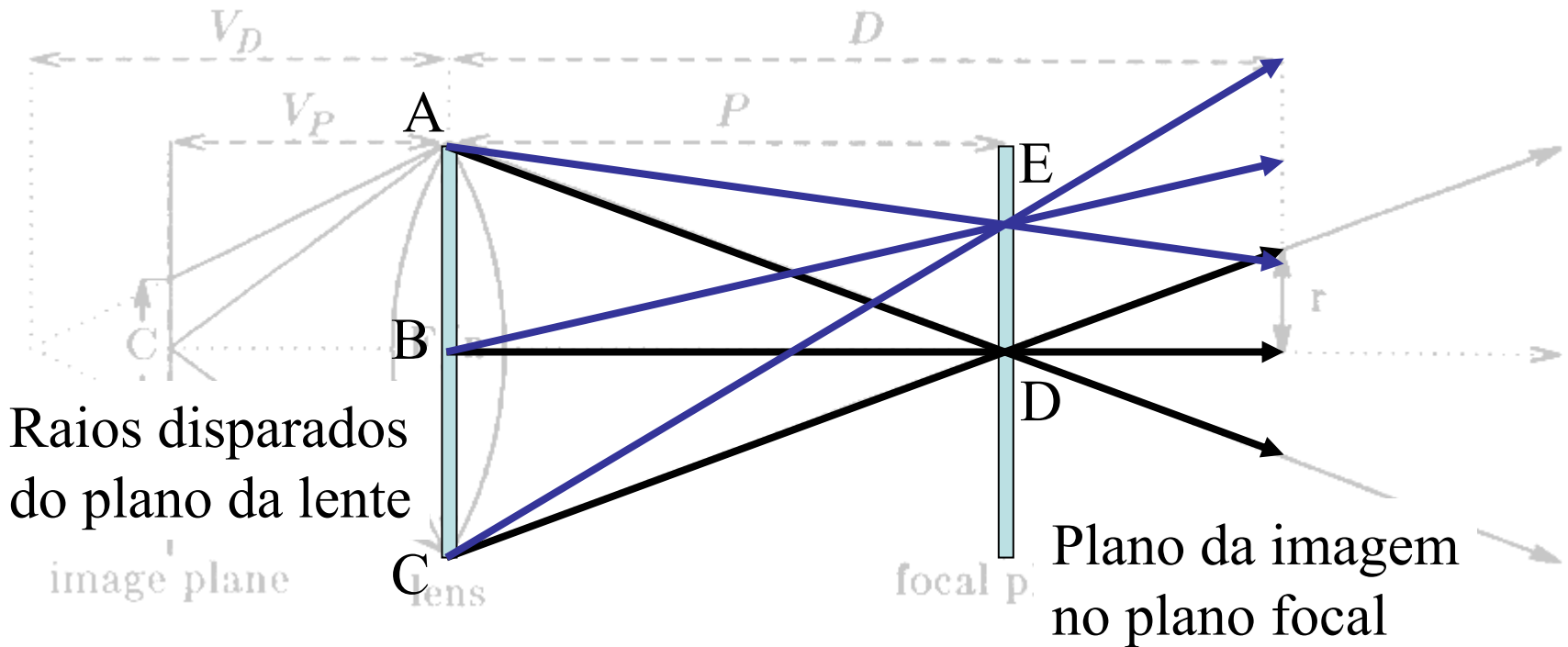
$$V_D = FD/(D-F)$$

$$R = (-V_P/D) r$$

C – Círculo de confusão

$$C = (|V_D - V_P|/V_D) (F/n) R = \frac{1}{2} C$$

Implementação



Raios disparados do plano da lente

Plano da imagem no plano focal

Ray tracing tradicional:

Pixel D usa raio BD

Pixel E usa raio BE

Todos os raios disparados de B

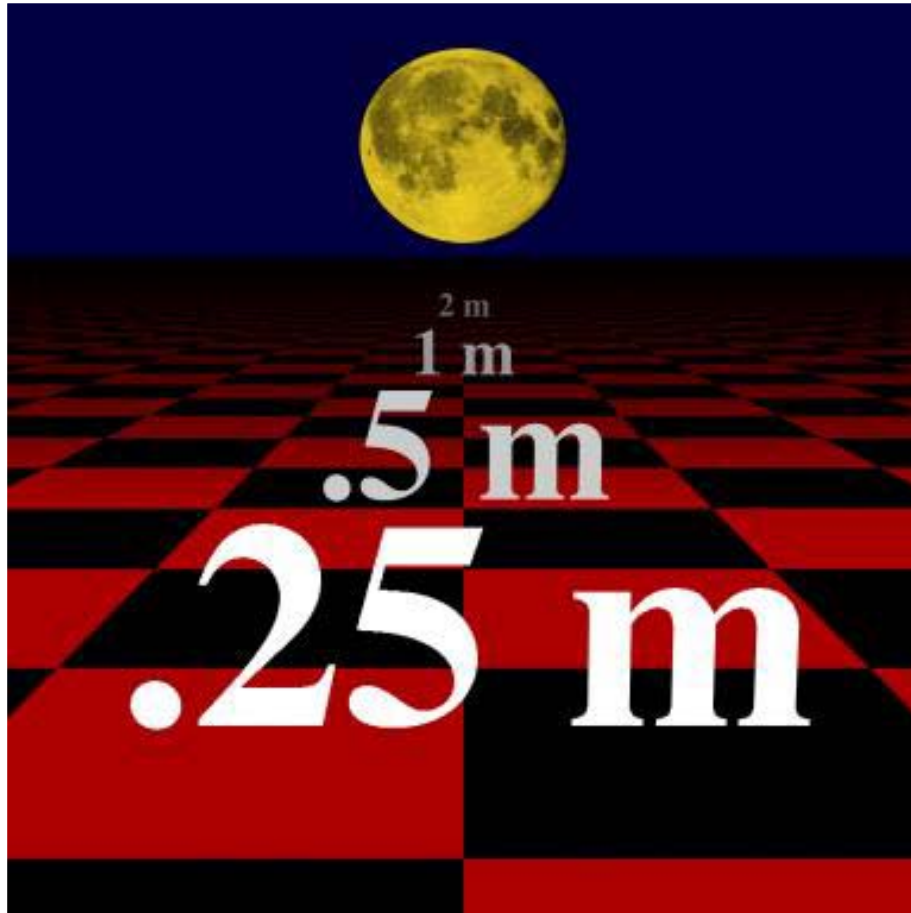
Ray tracing distribuído:

Pixel D usa raios AD, BD, CD

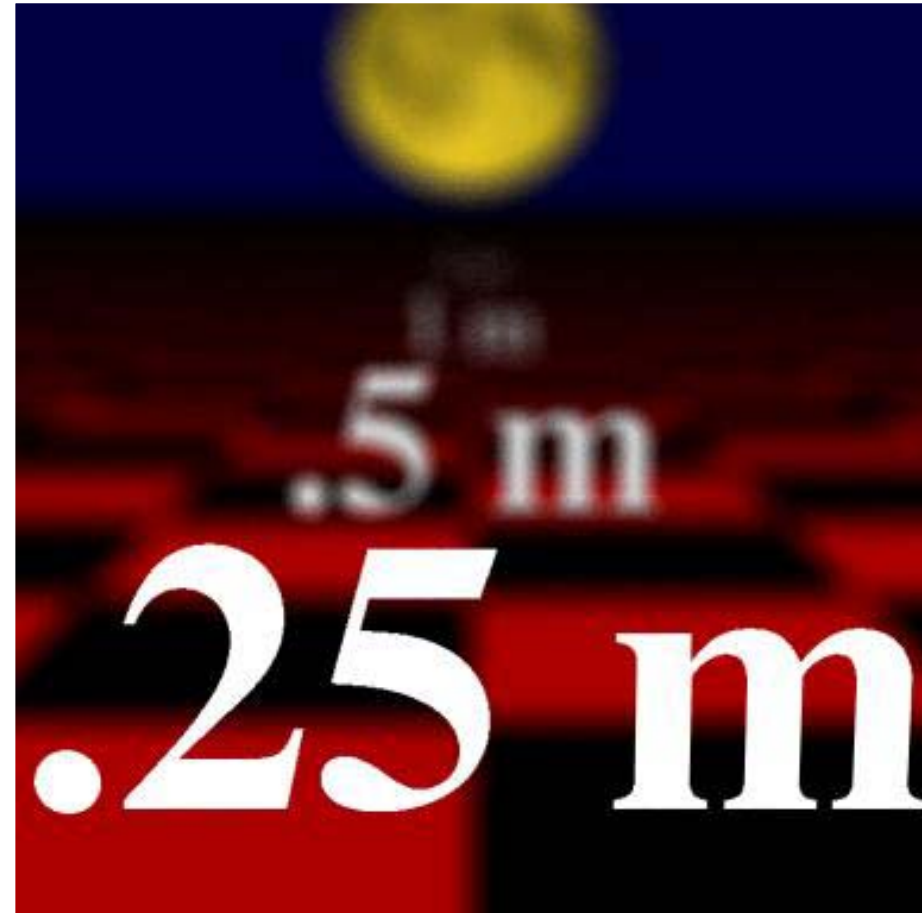
Pixel E usa raios AE, BE, CE

Raios disparados do plano da lente

Distância Focal

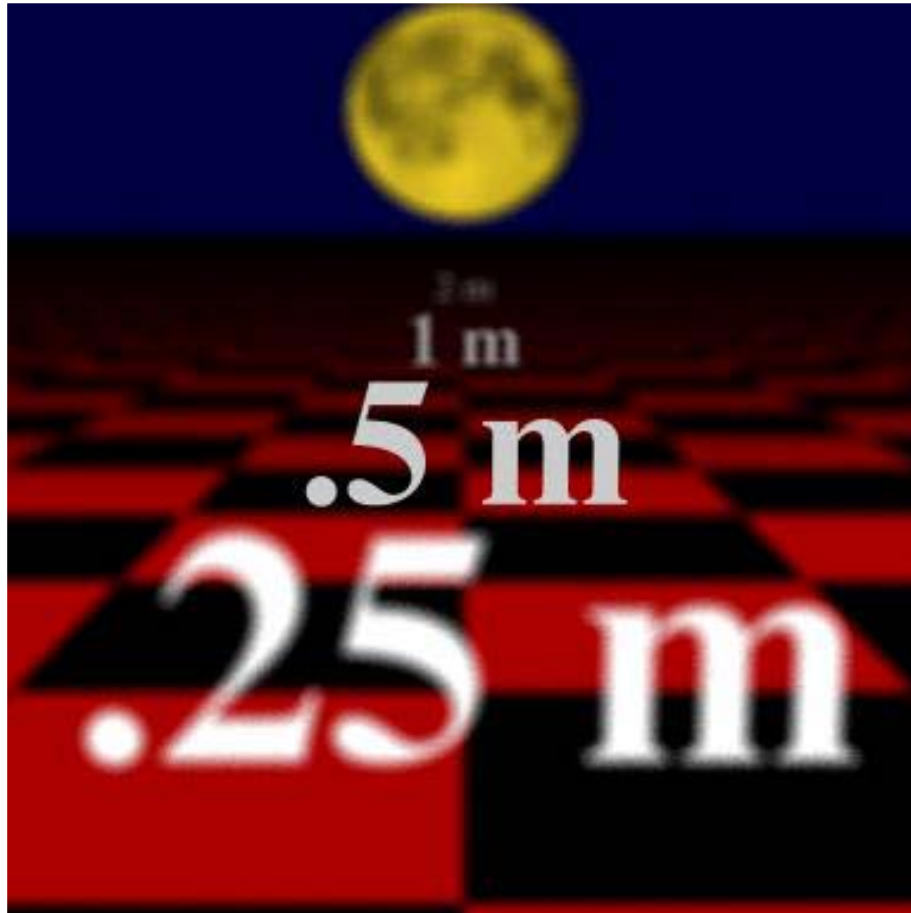


Câmera ideal (*pinhole*)

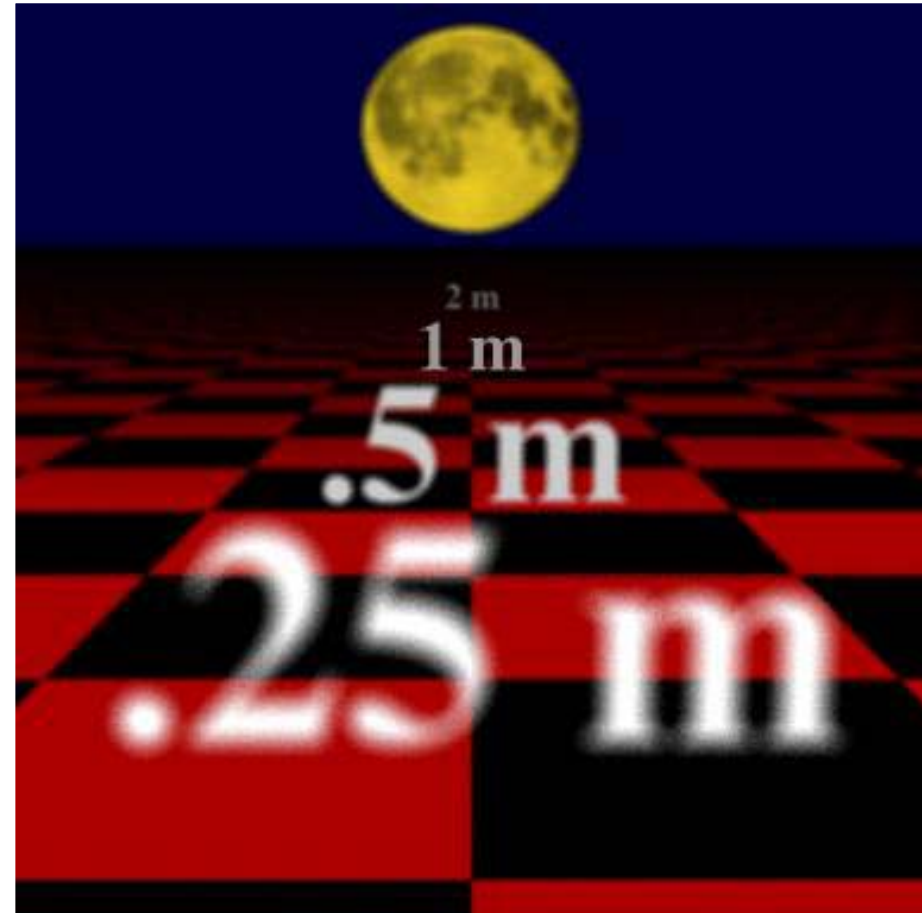


Distância focal: .25 m

Distância Focal

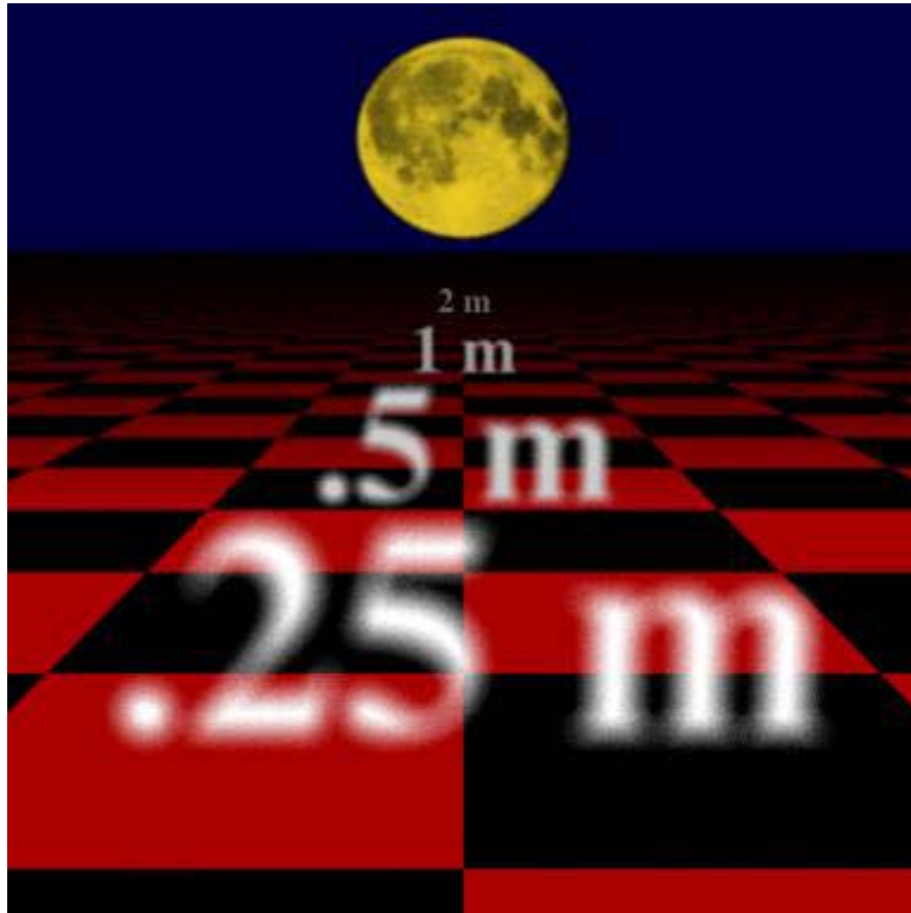


Distância focal: 0.5 m

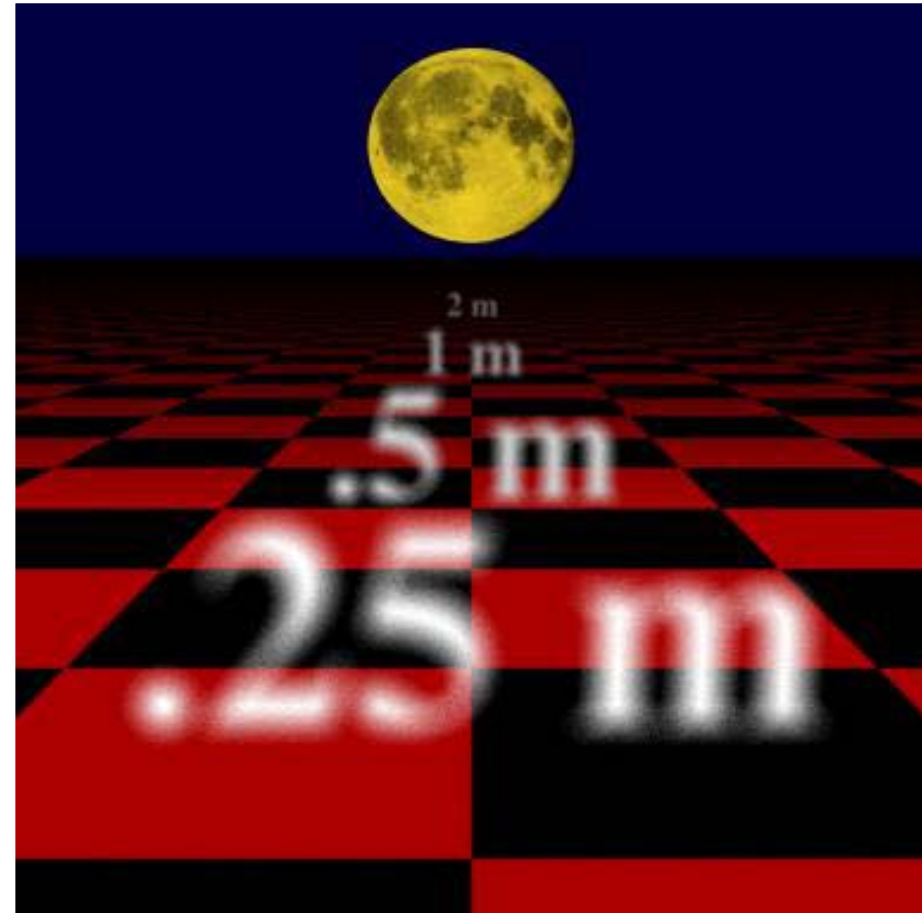


Distância focal: 1 m

Distância focal

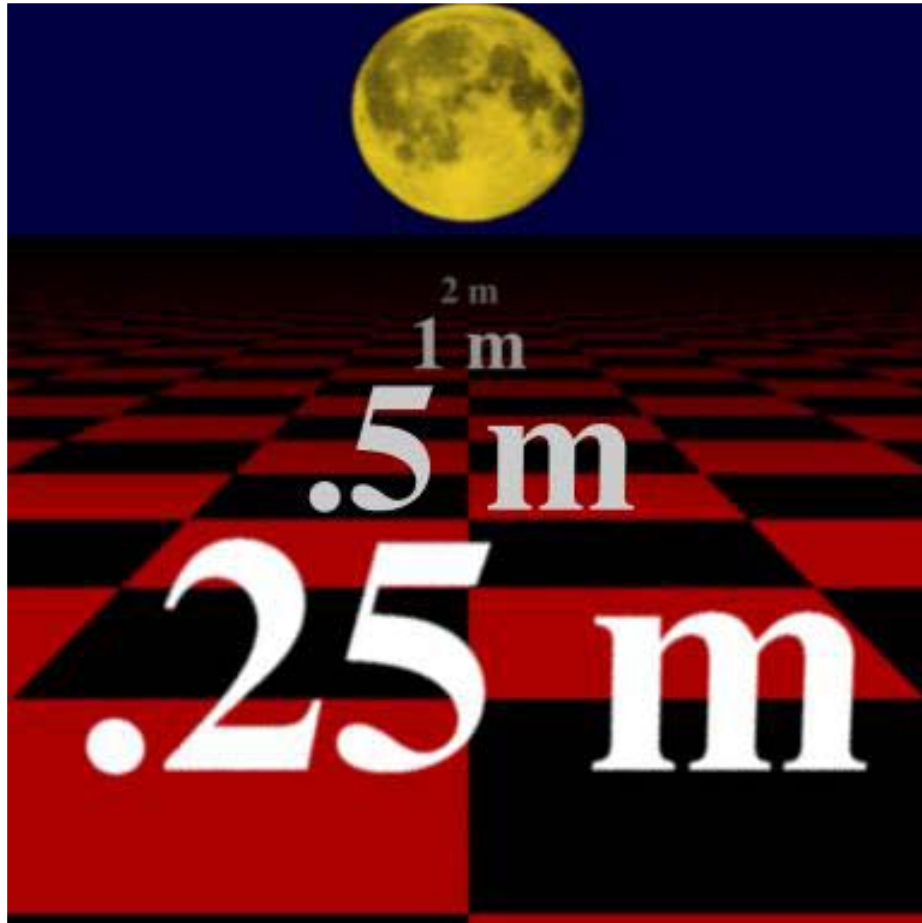


Distância focal: 2 m

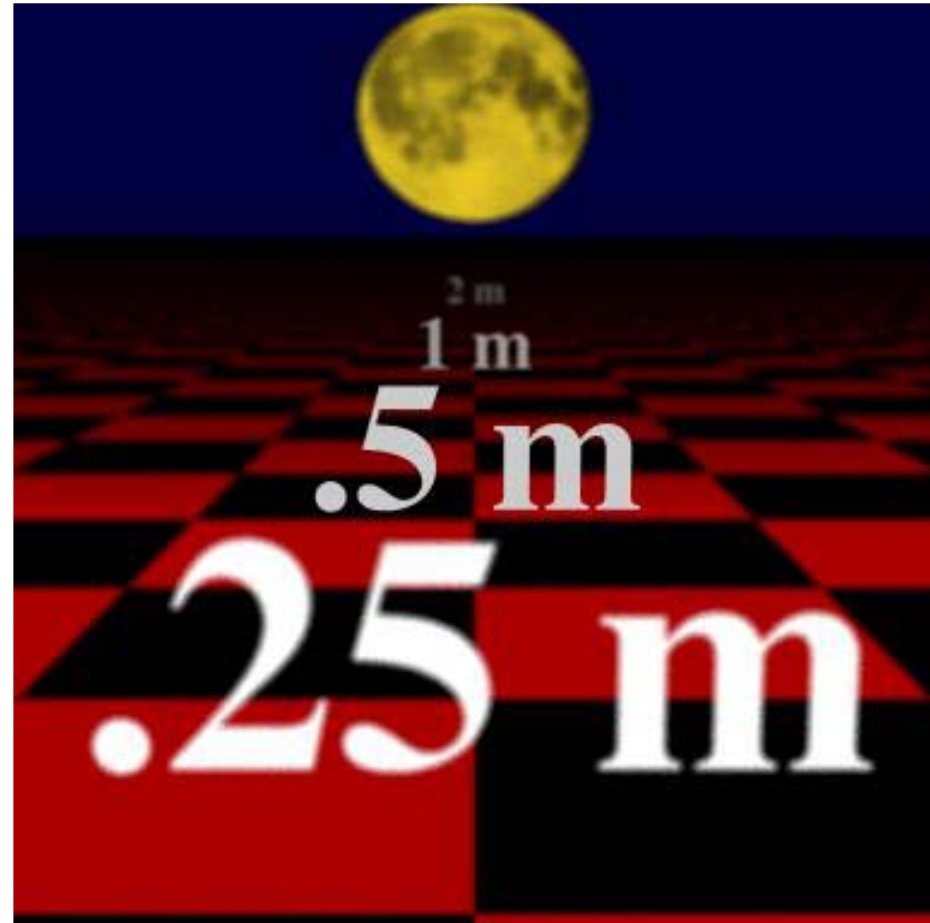


Distância focal infinita

Abertura

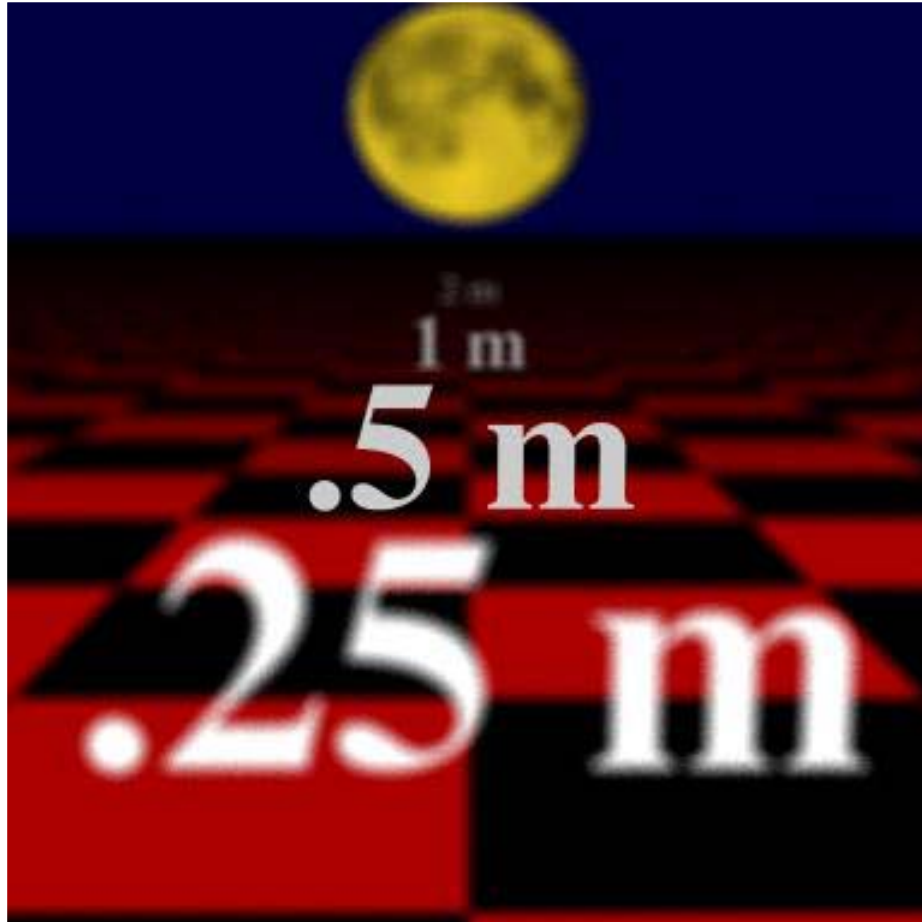


f22

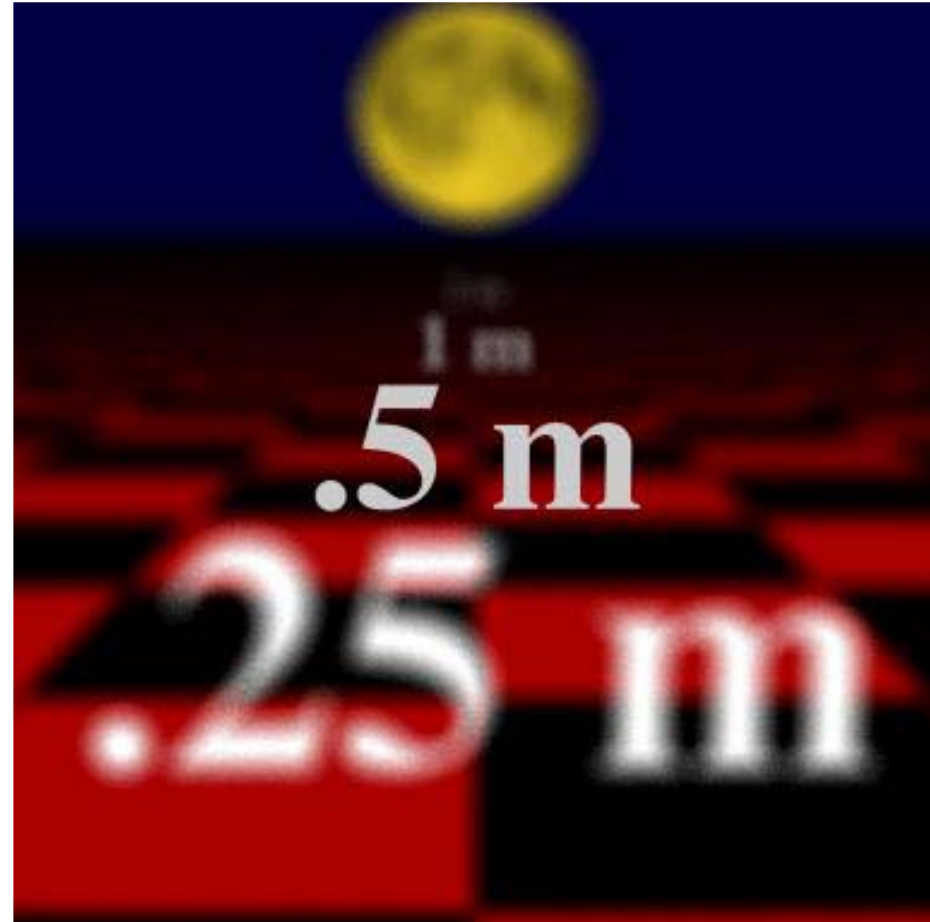


f11

Abertura

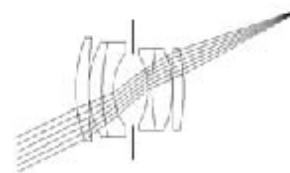
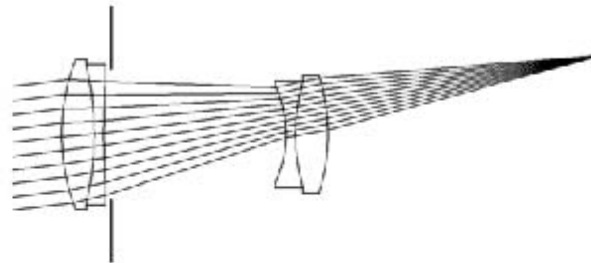
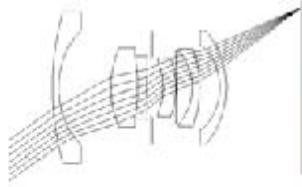


f5.6



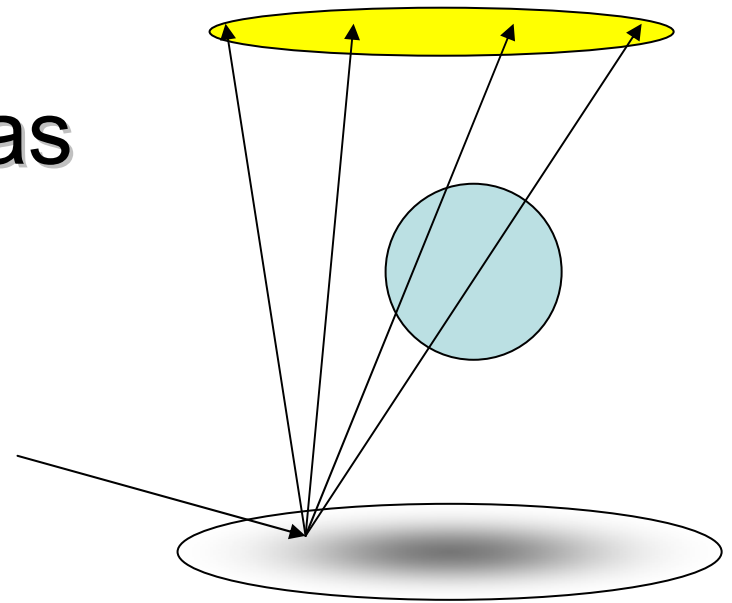
f3.3

Modelos de Câmera Avançados

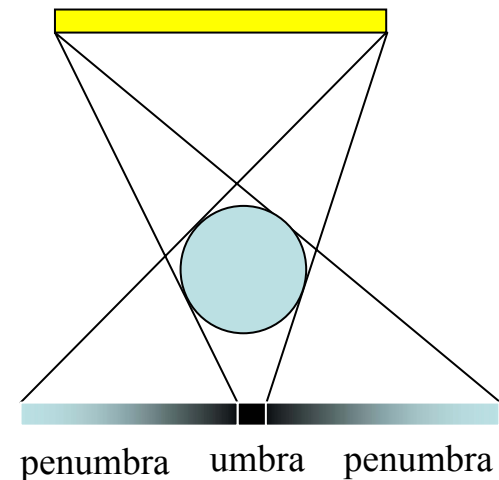


Penumbras

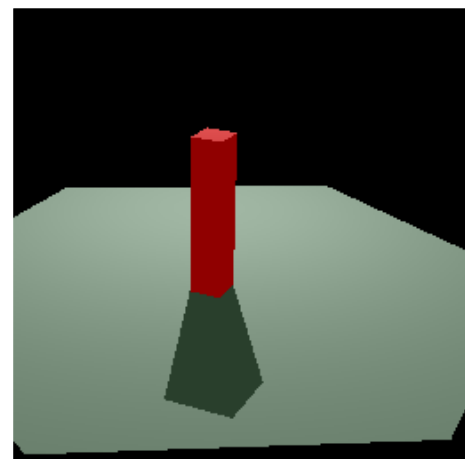
- Fontes de luz pontuais não são realistas
- Ray Tracing Distribuído permite modelar fontes de luz com área finita
- Raios de detecção de sombra são lançados de diversos pontos sobre a fonte de luz
 - ♦ Usa-se jitter para diminuir artefatos
- N° raios não interceptados / N° total de raios = % de iluminação



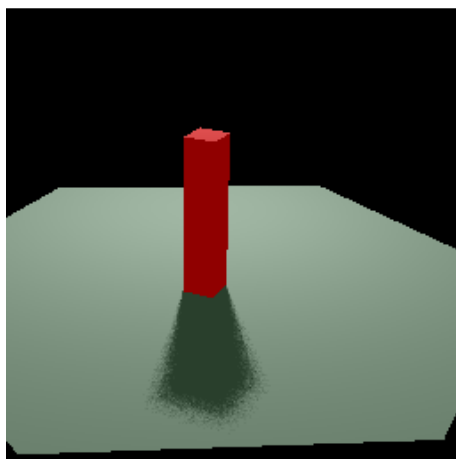
50% iluminado



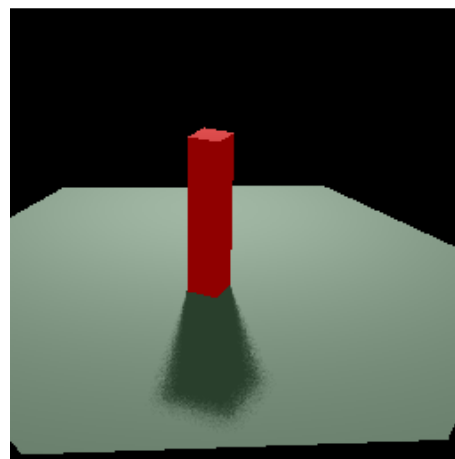
Penumbras



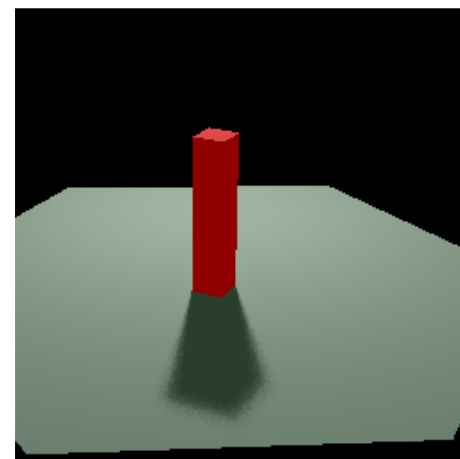
1 raio



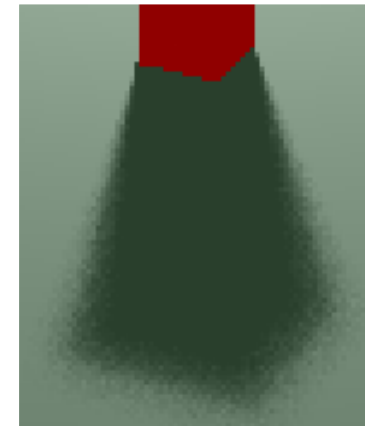
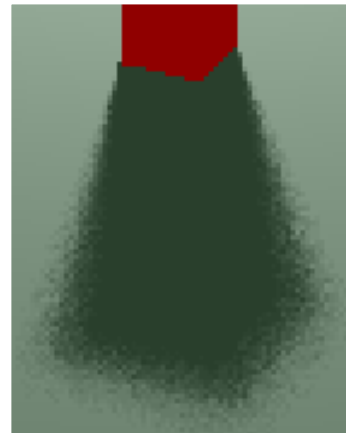
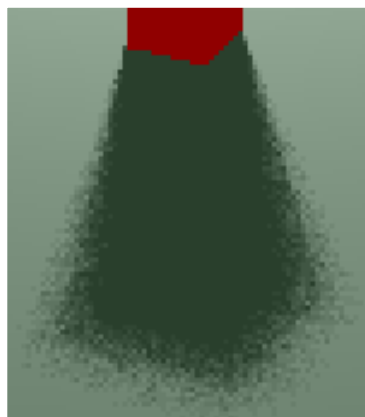
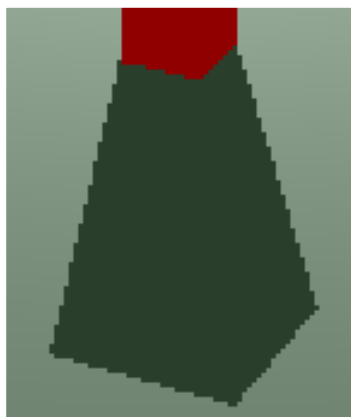
10 raios



20 raios

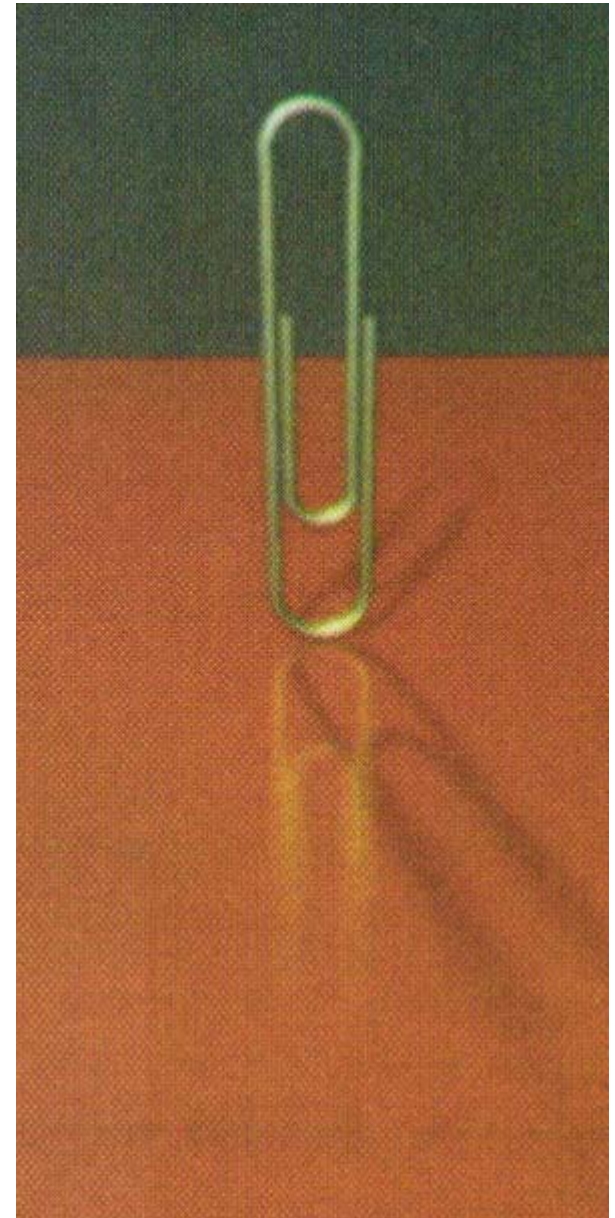
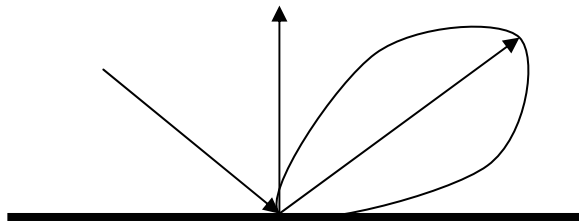


50 raios

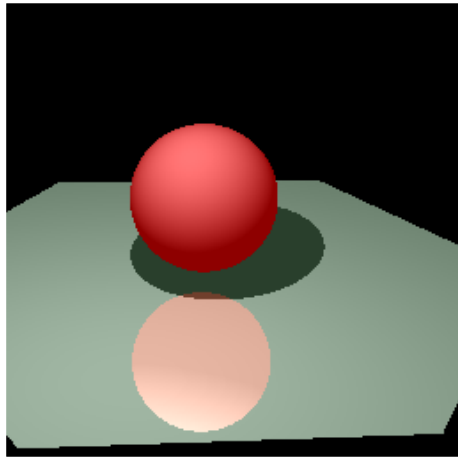


Superfícies Brilhosas

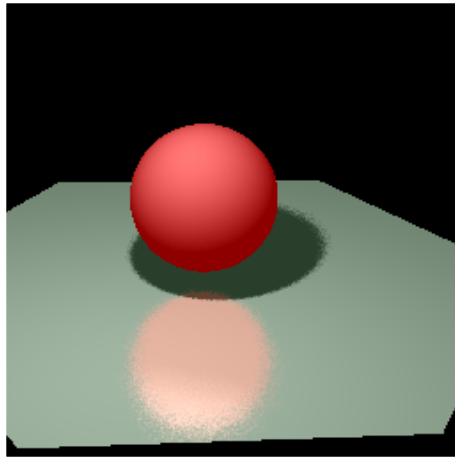
- Microfacetas da superfície perturbam direção dos raios refletidos refratados
- Objetos próximos refletem de forma mais nítida que objetos distantes
- Lançar diversos raios com direção perturbada em relação à direção de reflexão especular ideal
- Reconstrução usando filtro apropriado
 - ◆ Contribuição mais significativa na direção do raio refletido ideal
 - ◆ Contribuição decai rapidamente com o ângulo



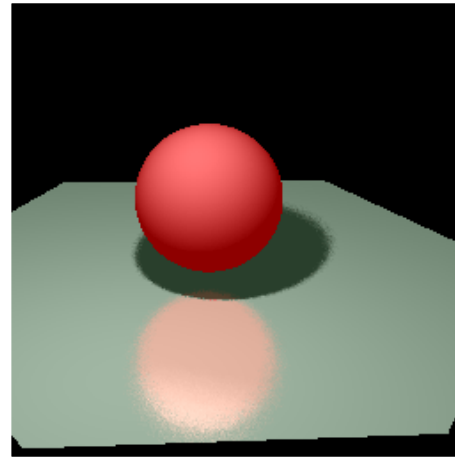
Superfícies brilhosas



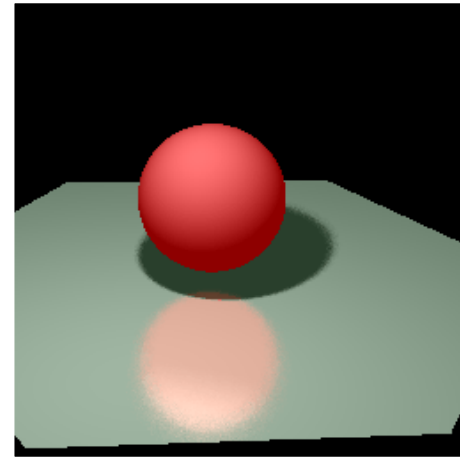
1 raio



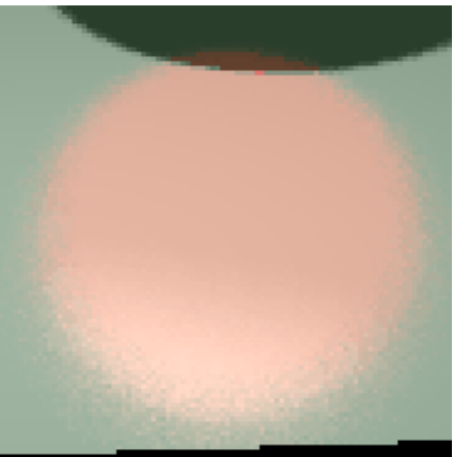
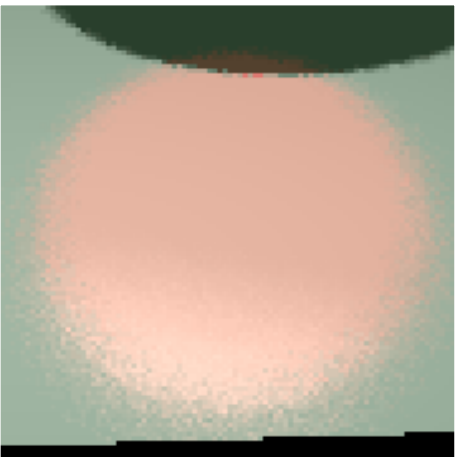
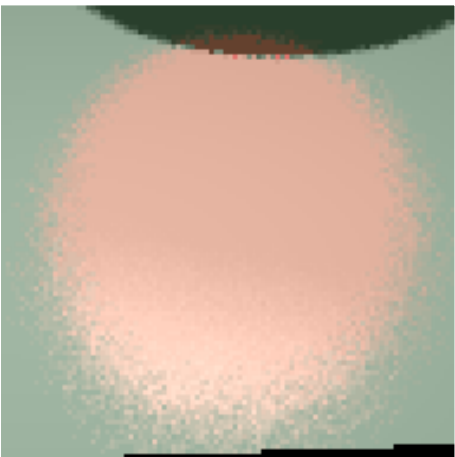
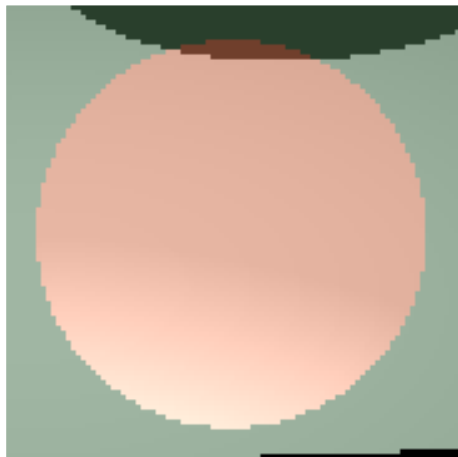
10 raios



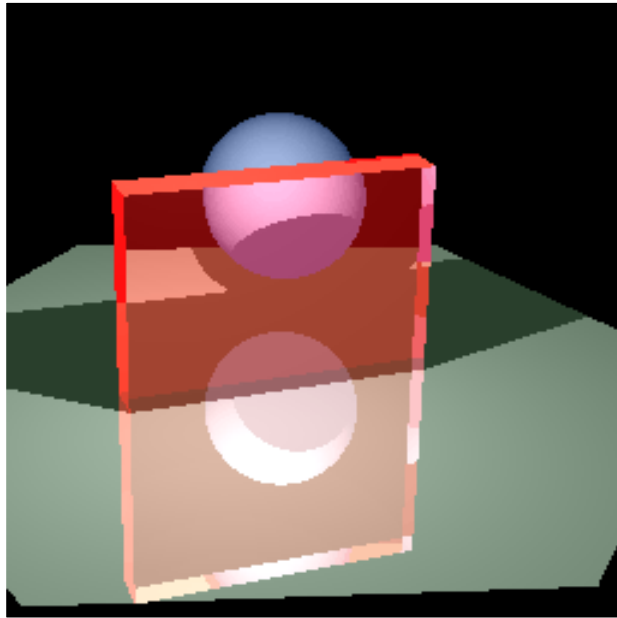
20 raios



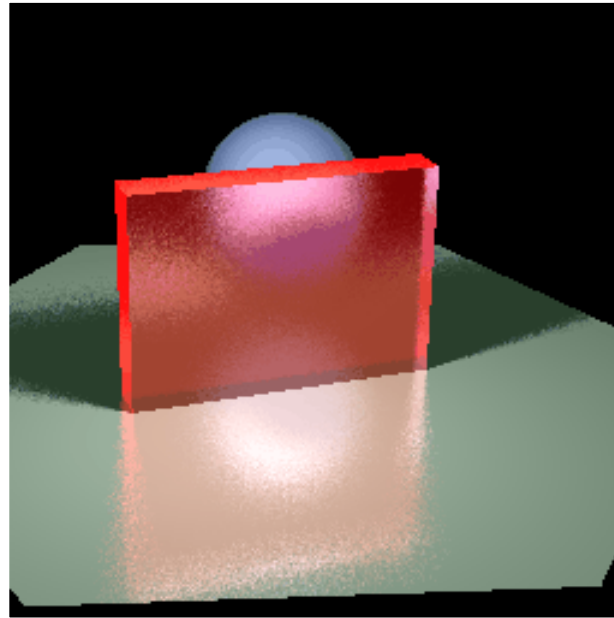
50 raios



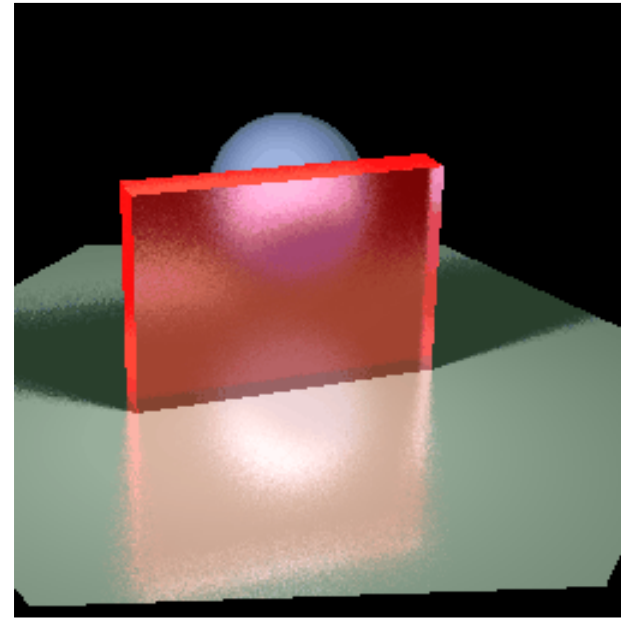
Superfícies translúcidas



1 raio



10 raios



20 raios

