

# Renderização Híbrida: Combinando o Melhor de Dois Mundos

MATA65 - Computação Gráfica



**João Pedro Chaves  
João Victor Leahy**



# Agenda

1. Introdução
2. Conceitos Fundamentais
3. Pipeline de Renderização
4. Técnicas de Renderização
5. Iluminação Global
6. Otimizações e Desempenho
7. Conclusão

# Introdução

- A demanda por gráficos realistas em jogos e simulações cresce continuamente.
- A renderização híbrida combina rasterização e ray tracing para obter o melhor de cada técnica.
- A modularização permite otimizar cada aspecto visual individualmente, resultando em maior eficiência e qualidade.

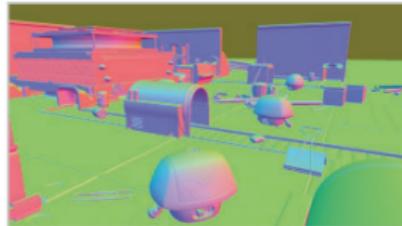
# Exemplo de Renderização Híbrida

Cena renderizada utilizando técnicas híbridas, demonstrando reflexos, sombras suaves e iluminação global

# Arquitetura Modular: O Pipeline Híbrido

- O pipeline é dividido em etapas que se conectam, onde a saída de uma etapa serve como entrada para a próxima.
- A interoperabilidade do DirectX permite o compartilhamento de dados intermediários entre as etapas.
- A abordagem é escalável, adaptando as técnicas à capacidade do hardware.
- Cada etapa utiliza a técnica mais apropriada: rasterização, ray tracing ou computação.

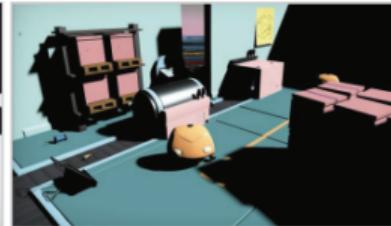
# Pipeline de Renderização Híbrida



G-Buffer  
(Raster)



Direct Shadows  
(Ray Trace or Raster)



Direct Lighting  
(Compute)



Reflections  
(Ray Trace or Compute)



Global Illumination  
(Ray Trace and Compute)



Ambient Occlusion  
(Ray trace or Compute)



Transparency & Translucency  
(Ray Trace and Compute)



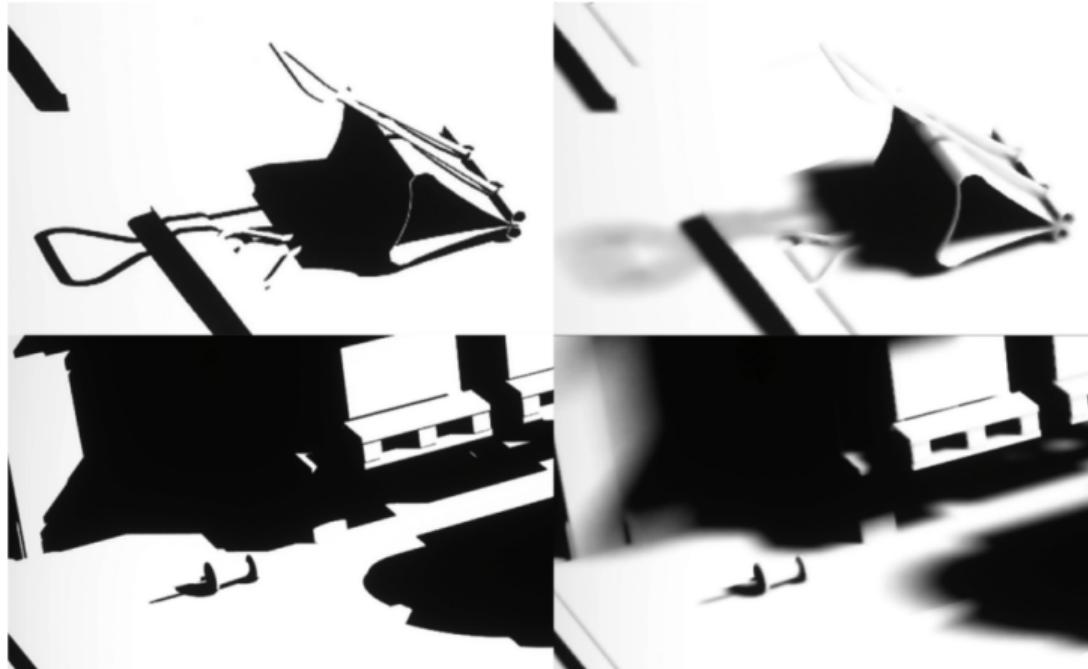
Post-Processing  
(Compute)

# Sombras Realistas: Ray Tracing e Filtragem

- Raios são lançados da superfície para a luz para determinar a ocultação.
- O ângulo do cone cria penumbras suaves, com um custo de ruído.
- O ruído é removido com filtragem espacial e temporal (SVGF).
- Sombras transparentes acumulam absorção de luz ao longo do trajeto.

$$\text{SombraFiltrada}(x) = \text{SVGF}(\text{Sombra}(x), \text{Variância}(x))$$

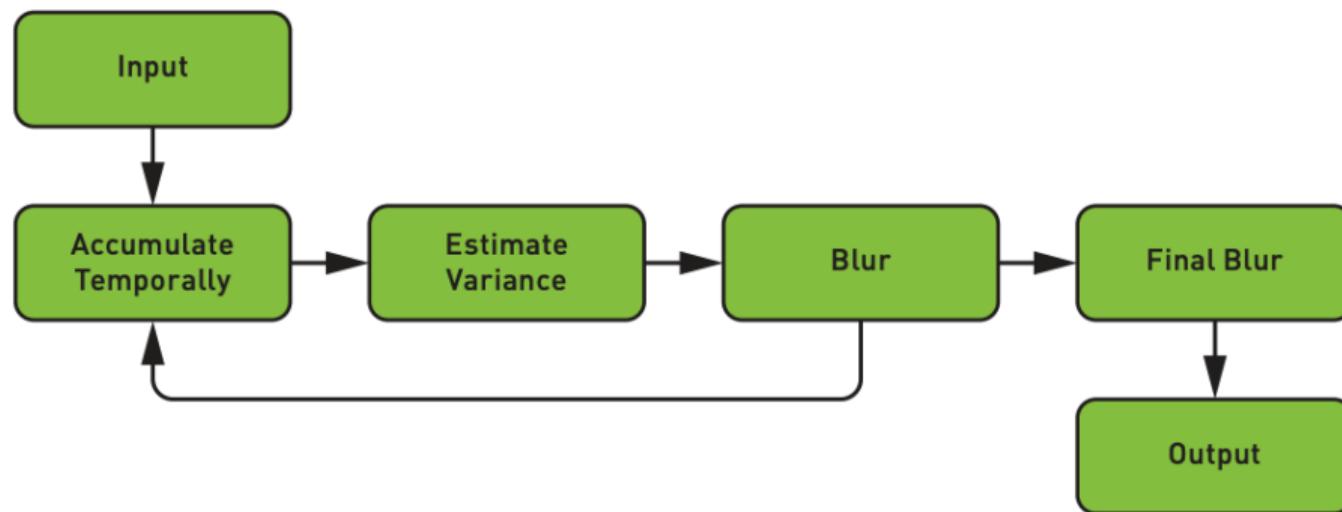
# Comparação de Sombras Híbridas



**Figure 4:** Hybrid ray traced shadows: hard (left) and soft and filtered (right).

Comparação entre sombras duras (esquerda) e sombras suaves filtradas (direita)

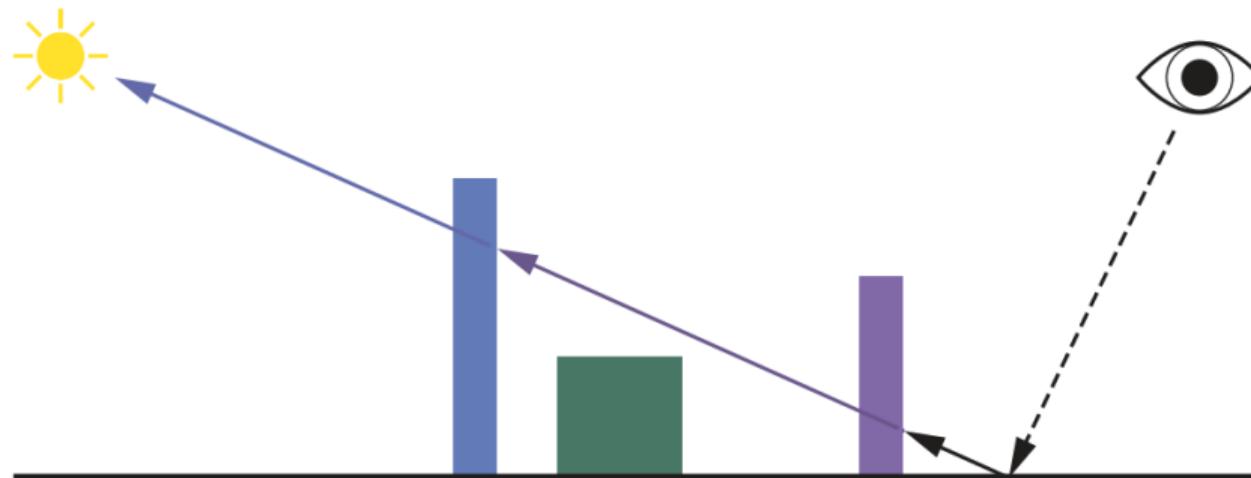
# Processo de Filtragem de Sombras



**Figure 6:** Shadow filtering, inspired by the work of Schied et al. [24].

Pipeline de filtragem de sombras baseado no trabalho de Schied et al. ?

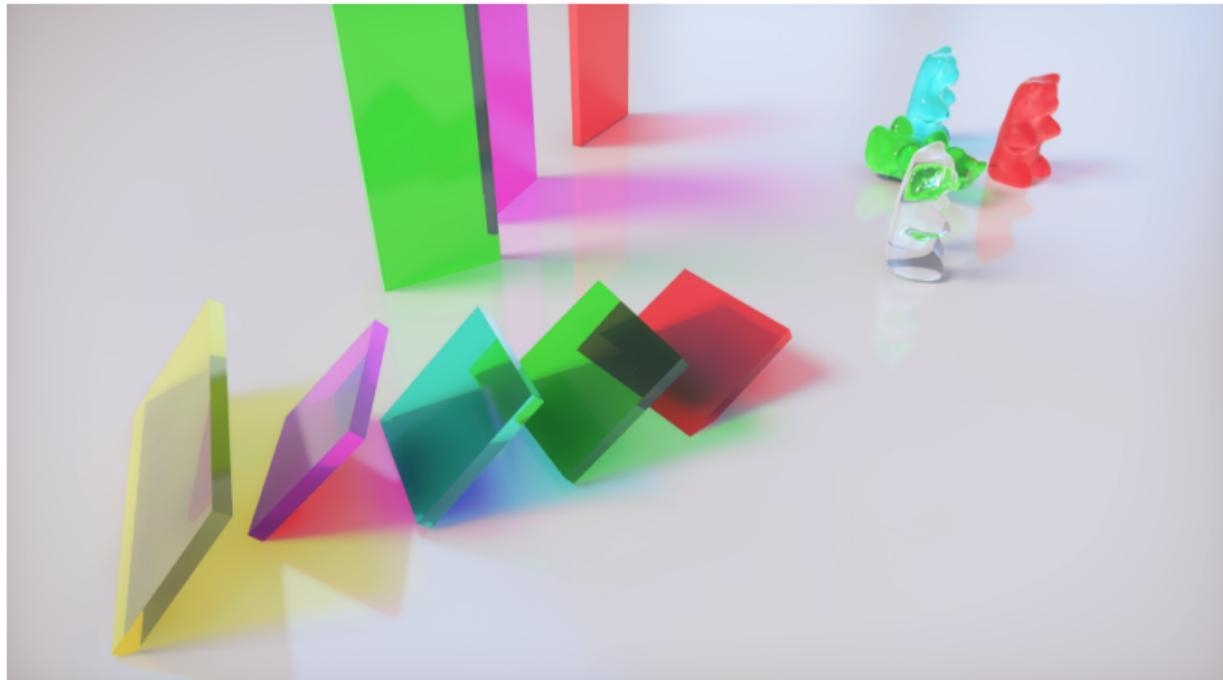
# Acumulação de Sombras Transparentes



**Figure 8:** Hybrid ray traced transparent shadow accumulation.

Diagrama mostrando o processo de acumulação de luz em sombras transparentes

# Resultado: Sombras Transparentes



**Figure 7:** Hybrid ray traced transparent shadows.

Exemplo de sombras transparentes coloridas com ray tracing híbrido

# Reflexos Dinâmicos com Ray Tracing

- Ray tracing gera reflexos precisos sem as limitações do SSR.
- A amostragem de importância gera raios refletidos com base no BRDF do material.
- O modelo de material combina múltiplas camadas em um BRDF unificado.

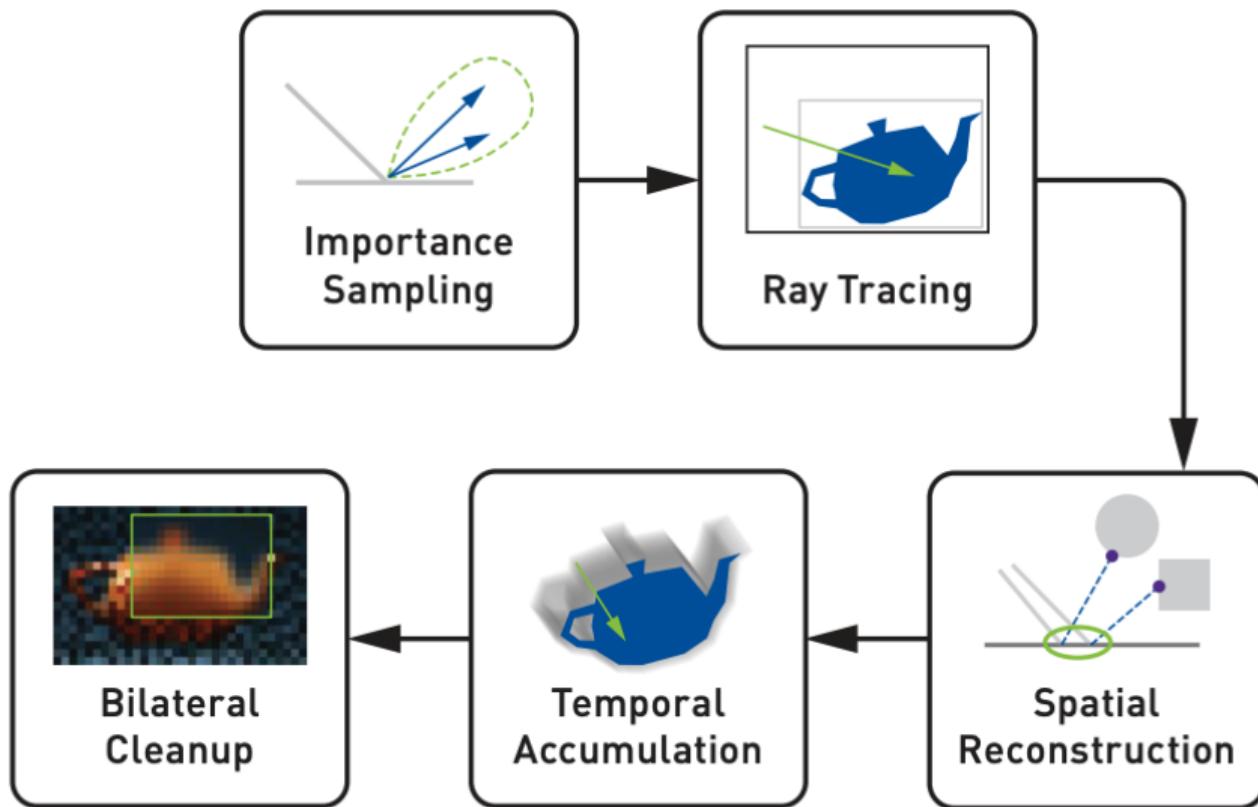
# Exemplo de Reflexos com Ray Tracing



**Figure 9:** Hybrid ray traced reflections.

Reflexos precisos em superfícies metálicas usando ray tracing híbrido

# Pipeline de Processamento de Reflexos

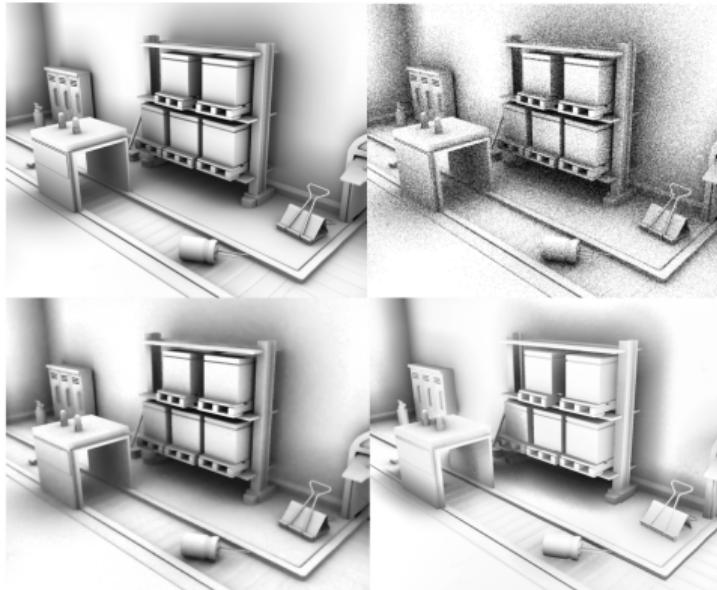


# Oclusão Ambiente: Aprofundando o Realismo

- A Oclusão Ambiente (AO) simula o sombreamento em áreas de contato.
- Ray tracing é mais preciso que GTAO, especialmente para objetos fora da tela.
- Raios são lançados em um hemisfério, e a oclusão é determinada pela quantidade de raios que atingem um objeto.

$$AO(x) = \frac{1}{N} \sum \text{Visibilidade}(x, \omega_i)$$

# Comparação de Técnicas de Oclusão Ambiente



**Figure 17:** Top left: ray traced AO (1000 spp). Top right: hybrid ray traced AO (1 spp).  
Bottom left: filtered hybrid ray traced AO (1 spp). Bottom right: GTAO.

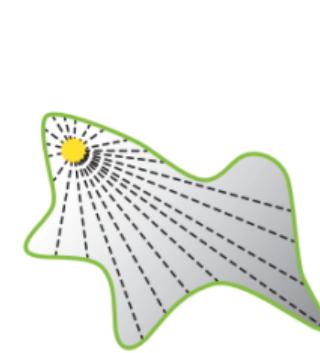
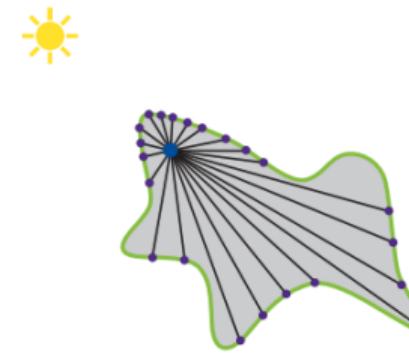
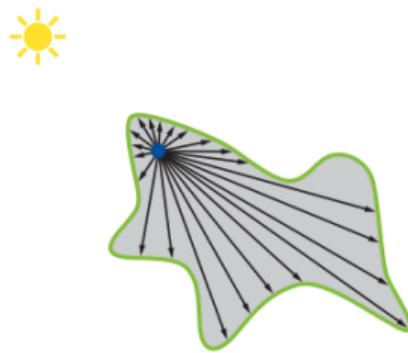
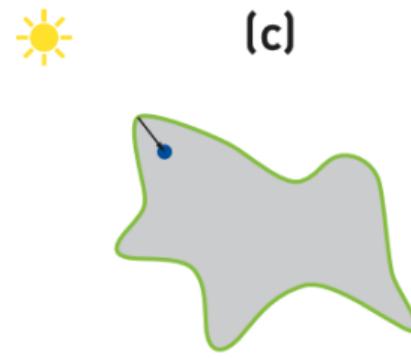
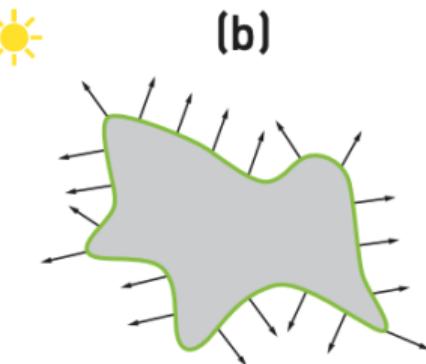
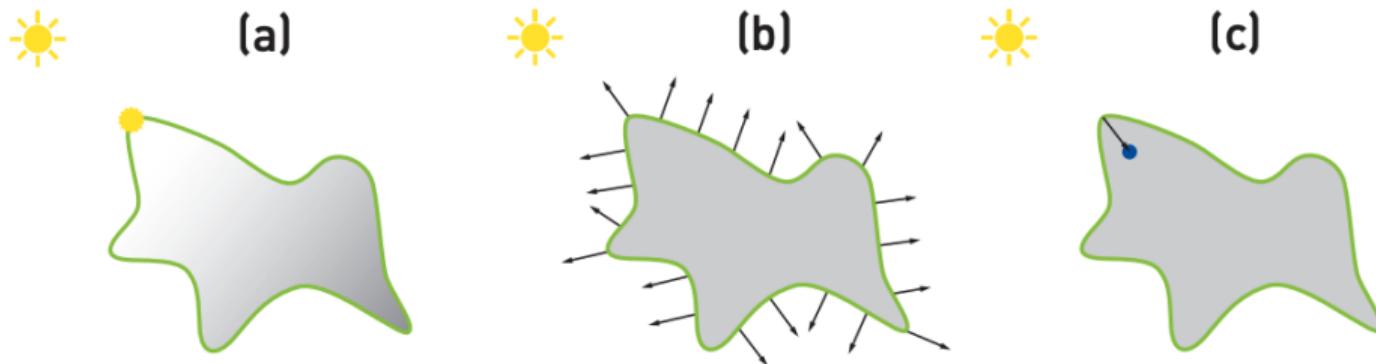
Comparação de técnicas: Ray traced AO (1000 spp), Hybrid ray traced AO (1 spp),  
Filtered hybrid ray traced AO (1 spp), e GTAO

# Transparência e Translucidez: Efeitos Realistas

- Ray tracing permite transparência sem ordem, e classifica corretamente malhas transparentes.
- Refração suave e áspera são tratadas com múltiplos raios para melhor convergência.
- Translucidez é simulada em espaço de textura, acumulando resultados ao longo do tempo.

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \text{ (Lei de Snell)}$$

# Processo de Espalhamento de Luz



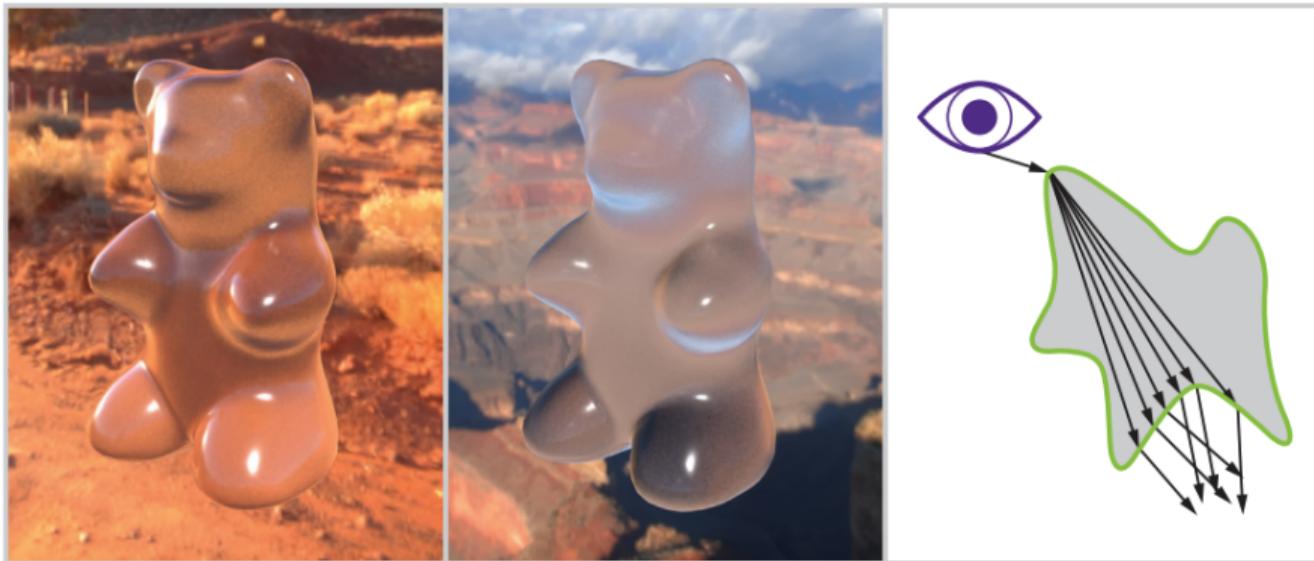
# Transparência em Espaço de Objeto vs Textura



**Figure 18:** Left: object-space ray traced transparency result. Right: texture-space output.

Comparação: Transparência ray traced em espaço de objeto (esquerda) e resultado em espaço de textura (direita)

# Transparência com Ray Tracing



**Figure 20:** Object-space ray traced rough transparency.

Transparência áspera com ray tracing: objeto original, transparência e diagrama de raios

# Efeitos de Translucidez

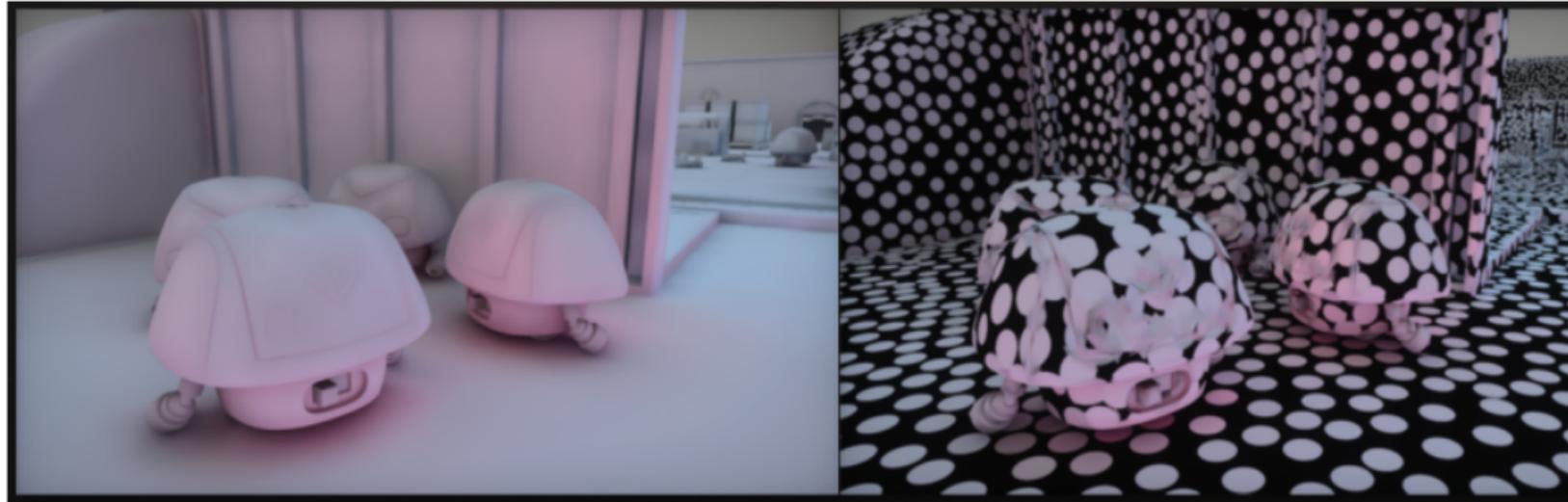


# Illuminação Global: Surfels para Resultados Dinâmicos

- Surfels calculam iluminação indireta difusa sem pré-computação.
- Surfels são alocados dinamicamente, baseados em cobertura e área dos pixels.
- A irradiância é calculada por path tracing e acumulação temporal.

$$x_{n+1} = \text{lerp}(x_n, x_{n+1}, k)$$

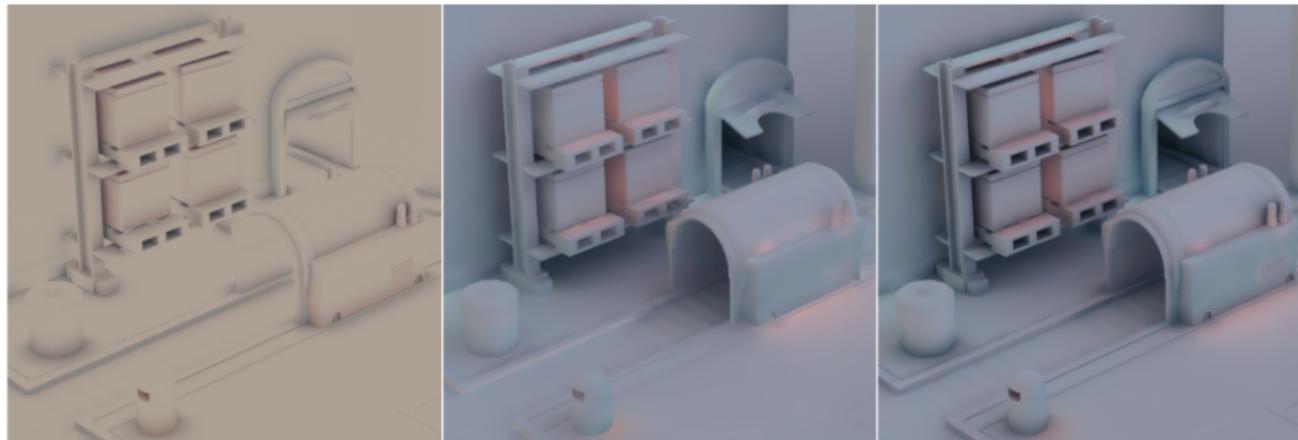
# Interreflexão Difusa Baseada em Surfels



**Figure 26:** Surfel-based diffuse interreflection.

Demonstração de interreflexão difusa usando surfels: iluminação direta (esquerda) vs. iluminação global com surfels (direita)

# Comparação de Técnicas de Iluminação Global



**Figure 29:** Left: colored GTAO. Center: surfel GI. Right: surfel GI with colored GTAO.

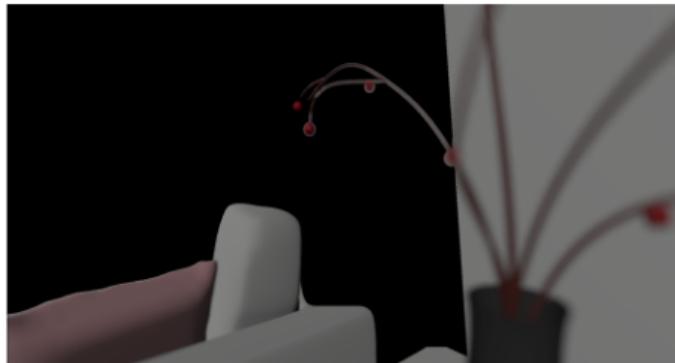
Comparação: GTAO colorido (esquerda), iluminação global com surfels (centro), e combinação de surfels com GTAO colorido (direita)

# Profundidade de Campo: Combinando Ray Tracing e Pós-Processamento

- O ray tracing resolve o problema de semi-transparência em objetos fora de foco.
- Uma máscara de raios adaptativa concentra o ray tracing onde há maior necessidade.
- A variância temporal da luminância influencia a máscara de raios.

$$x_f = \text{saturate}(x_n + \sigma^2 \cdot 100000) \cdot m$$

# Demarcação de Campo Próximo e Distante



(a) Near field



(b) Far field

**Figure 2: Demarcation of near and far fields.**

Demonstração de (a) campo próximo e (b) campo distante na profundidade de campo

# Semi-transparências em Objetos Fora de Foco

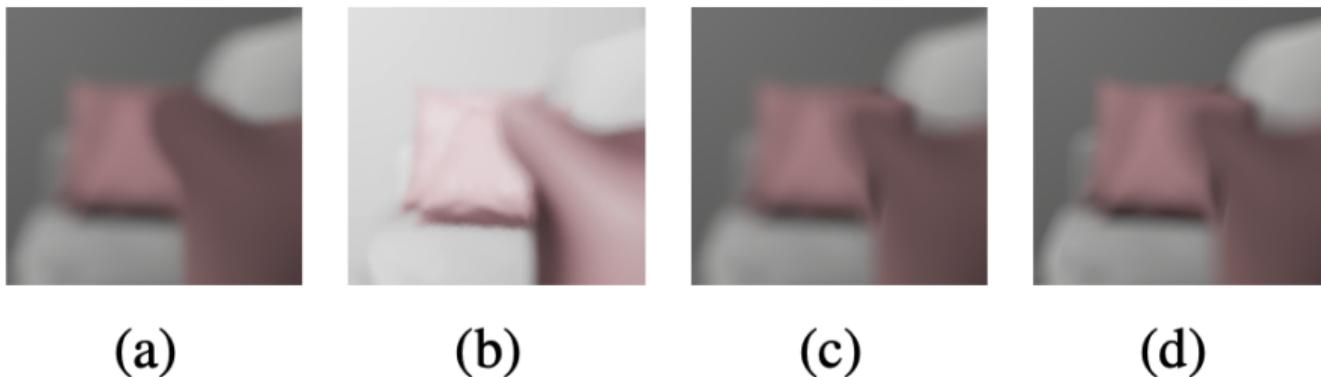
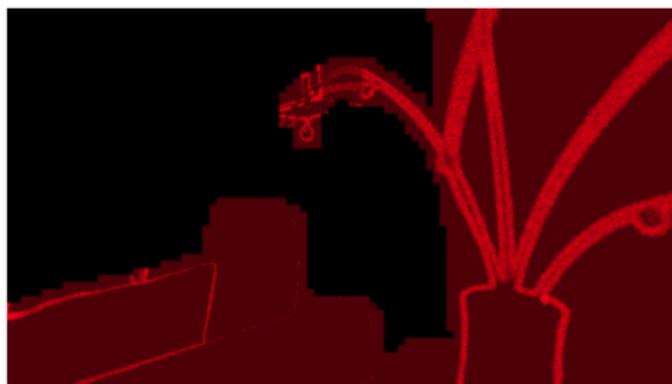


Figure 6: Semi-transparencies of foreground silhouettes.

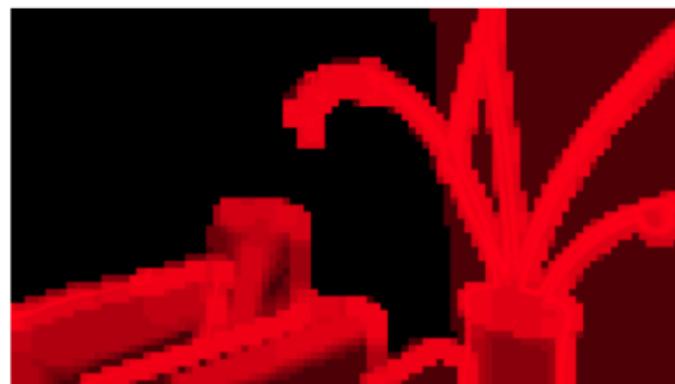
Comparação de técnicas para semi-transparências em silhuetas de objetos em primeiro plano:  
(a) referência, (b) ray tracing, (c) pós-processamento, (d) híbrido

# Máscara de Raios Adaptativa

$$x_f = \text{saturate}(x_n + \sigma^2 \cdot 100000) \cdot m \quad (4)$$



(a)  $\sigma^2 \cdot 100000$



(b)  $x_f$

Figure 4: Comparison of variance with no. of rays shot.

Comparação entre (a) variância ( $\sigma^2 \cdot 100000$ ) e (b) máscara de raios final ( $x_f$ )

# Renderização Híbrida para Cenas Dinâmicas

- Separamos a cena em componentes estáticos e dinâmicos.
- O transporte de luz é: cena estática + diferença causada por objetos dinâmicos.
- A diferença do transporte de luz é esparsa, possibilitando amostragem adaptativa.

$$L = L_s + (L_+ - L_-) \cdot s_i = s_t \cdot \frac{\text{Var}(L_{\Delta,i}) + |L_{\Delta,i}|}{\sum(\text{Var}(L_{\Delta,j}) + |L_{\Delta,j}|)}$$

# Interação da Luz com Objetos Dinâmicos

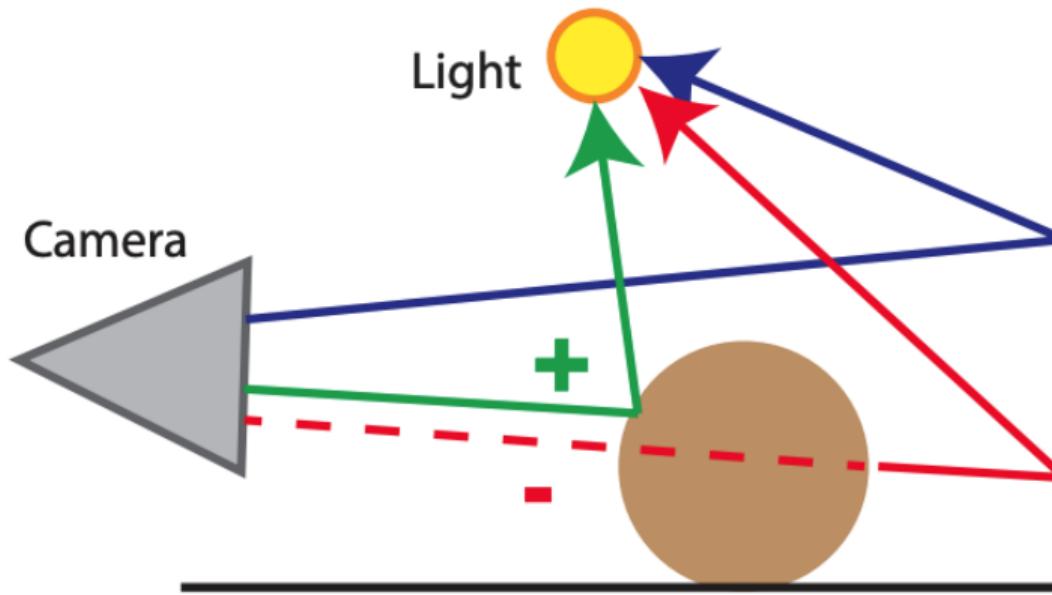


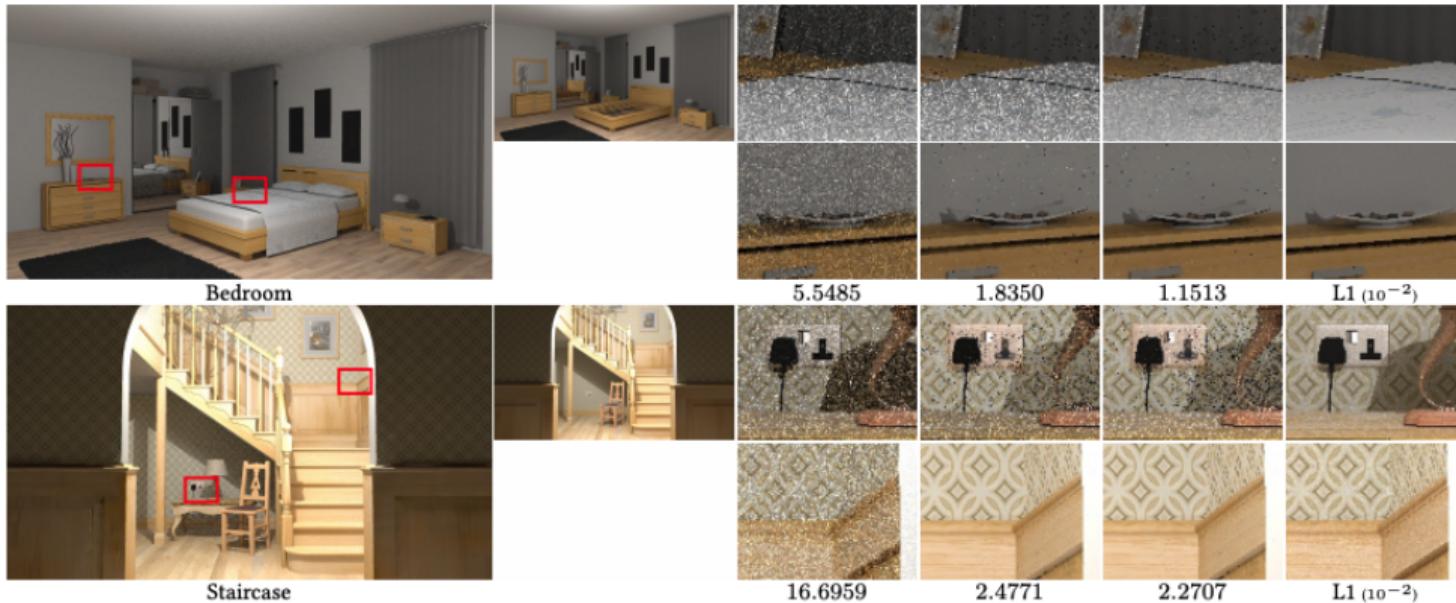
Diagrama mostrando a interação da luz com objetos dinâmicos na cena

# Inserção de Objetos Dinâmicos



Processo de inserção de objetos dinâmicos: cena estática + transporte de luz aditivo - transporte de luz subtrativo = resultado final

# Comparação com Path Tracing



Comparação de convergência e qualidade visual entre diferentes técnicas de renderização

# Illuminação Global: Surfels para Resultados Dinâmicos

- Surfels calculam iluminação indireta difusa sem pré-computação.
- Surfels são alocados dinamicamente, baseados em cobertura e área dos pixels.
- A irradiância é calculada por path tracing e acumulação temporal.

$$x_{n+1} = \text{lerp}(x_n, x_{n+1}, k)$$

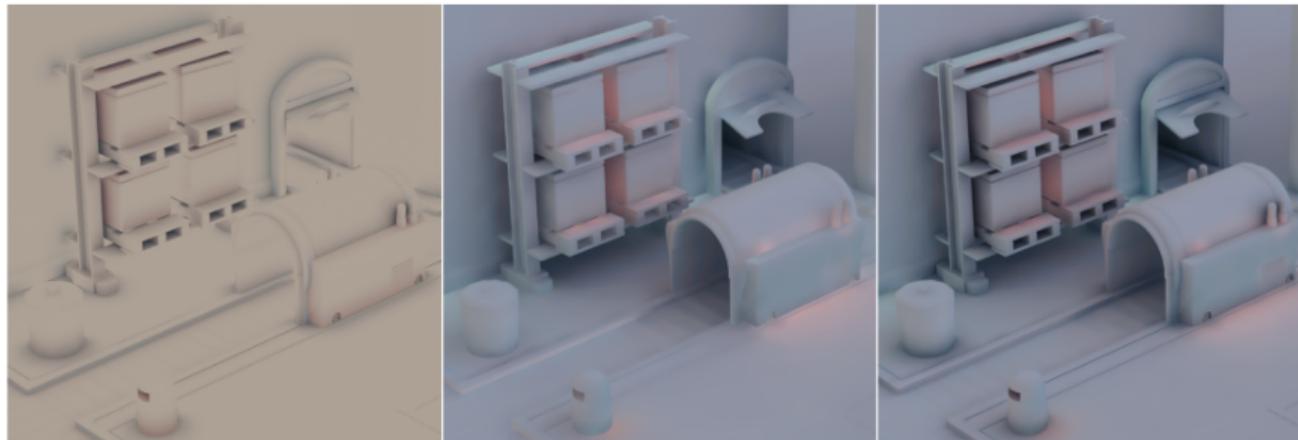
# Interreflexão Difusa Baseada em Surfels



**Figure 26:** Surfel-based diffuse interreflection.

Demonstração de interreflexão difusa usando surfels: iluminação direta (esquerda) vs. iluminação global com surfels (direita)

# Comparação de Técnicas de Iluminação Global



**Figure 29:** Left: colored GTAO. Center: surfel GI. Right: surfel GI with colored GTAO.

Comparação: GTAO colorido (esquerda), iluminação global com surfels (centro), e combinação de surfels com GTAO colorido (direita)

# Desempenho e Qualidade Visual

- A renderização híbrida aumenta o desempenho com melhor qualidade visual.
- A qualidade visual se aproxima do ray tracing, com menor custo computacional.
- Atinge qualidade de path tracing offline em tempo real com alocação inteligente de raios.
- **Destaque:** A renderização híbrida pode ter um desempenho até 6x superior ao path tracing tradicional.

[Tabelas: Métricas de Desempenho]

# Conclusão: O Futuro da Renderização Híbrida

- A renderização híbrida oferece qualidade visual aprimorada e desempenho otimizado.
- Há grande potencial para futuras aplicações e melhorias.
- A renderização híbrida é o futuro da renderização em tempo real.

[Imagem: Visão Futurística]

# Referências