INSTITUTO NACIONAL DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA

Sistema Composto para Amostragem e Geração de Luzes a partir de Mapas de Iluminação[1]

Aldo René Zang
zang@impa.br

Luiz Velho
lvelho@impa.br

SIBGRAPI, 2008

[1] Resumo estendido de dissertação de mestrado.

Sumário

1. Equação de Iluminação
2. Mapas de Iluminação
3. Amostragem de mapas de iluminação
4. Método composto
5. Resultados
6. Conclusões

Equação de radiância

$$L_o(p, \omega_o) = L_e(p, \omega_o) + \int_{S^2} f(p, \omega_o, \omega_i) L_d(p, \omega_i) |\cos \theta_i| d\omega_i$$

Equação de radiância

$$L_o(p, \omega_o) = L_e(p, \omega_o) + \int_{S^2} f(p, \omega_o, \omega_i) L_d(p, \omega_i) |\cos \theta_i| d\omega_i$$

No contexto de iluminação direta temos particular interesse em:

$$\int_{S^2} f(p, \omega_o, \omega_i) L_d(p, \omega_i) |cos\theta_i| d\omega_i$$

Equação de radiância

$$L_o(p, \omega_o) = L_e(p, \omega_o) + \int_{S^2} f(p, \omega_o, \omega_i) L_d(p, \omega_i) |\cos \theta_i| d\omega_i$$

No contexto de iluminação direta temos particular interesse em:

$$\int_{S^2} f(p, \omega_o, \omega_i) L_d(p, \omega_i) |cos\theta_i| d\omega_i$$

A integral pode ser quebrada num somatório sobre as fontes de luz

$$\sum_{j=1}^{luzes} \int_{S^2} f(p, \omega_o, \omega_i) L_{d(j)}(p, \omega_i) |\cos \theta_i| d\omega_i$$

Aproximação da equação de radiância

$$\int_{S^2} f(p, \omega_o, \omega_i) L_d(p, \omega_i) |cos\theta_i| d\omega_i$$

Estimativa de Monte Carlo:

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \frac{f(p, \omega_o, \omega_i) L_d(p, \omega_j) |cos\theta_j|}{p(\omega_j)}.$$

Mapeamento Latitude-Longitude

Para um mapa de dimensões $W \times H$, onde $W = 2 \cdot H$, um ponto (u, v) pode ser identificado com uma direção $\overrightarrow{\omega_i} = (\phi, \theta)$ (coordenadas esféricas) tomando

$$(\phi, \theta) = \left(\frac{2u\pi}{W}, \frac{v\pi}{H} \right).$$

Mapeamento Latitude-Longitude

Para um mapa de dimensões $W \times H$, onde $W = 2 \cdot H$, um ponto (u, v) pode ser identificado com uma direção $\overrightarrow{\omega_i} = (\phi, \theta)$ (coordenadas esféricas) tomando

$$(\phi, \theta) = \left(\frac{2u\pi}{W}, \frac{v\pi}{H} \right).$$

Temos que $\overrightarrow{\omega_i}$ em coordenadas retangulares (x, y, z) é:

$$x = sin\theta \cdot cos\phi, \quad y = sin\theta \cdot sin\phi, \quad z = cos\theta. \qquad (1)$$

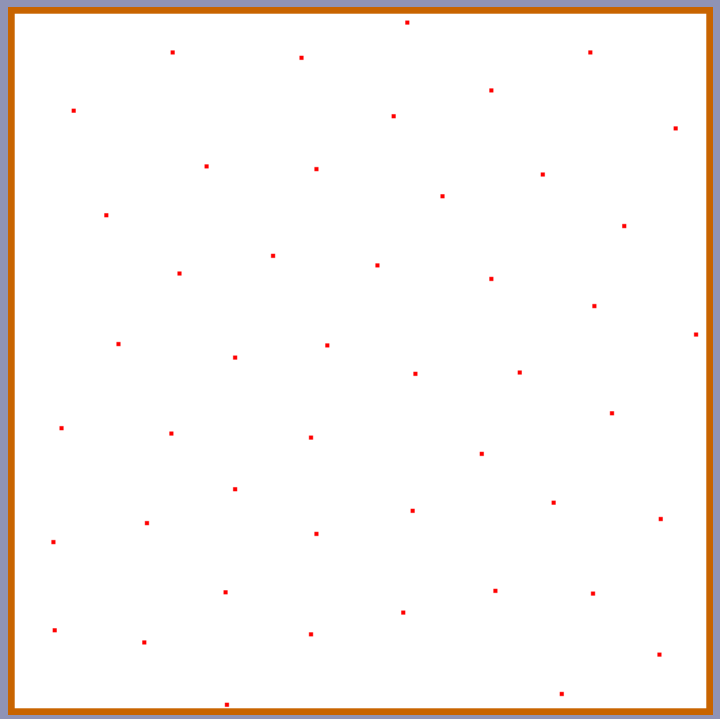
Correção do mapa de luminância

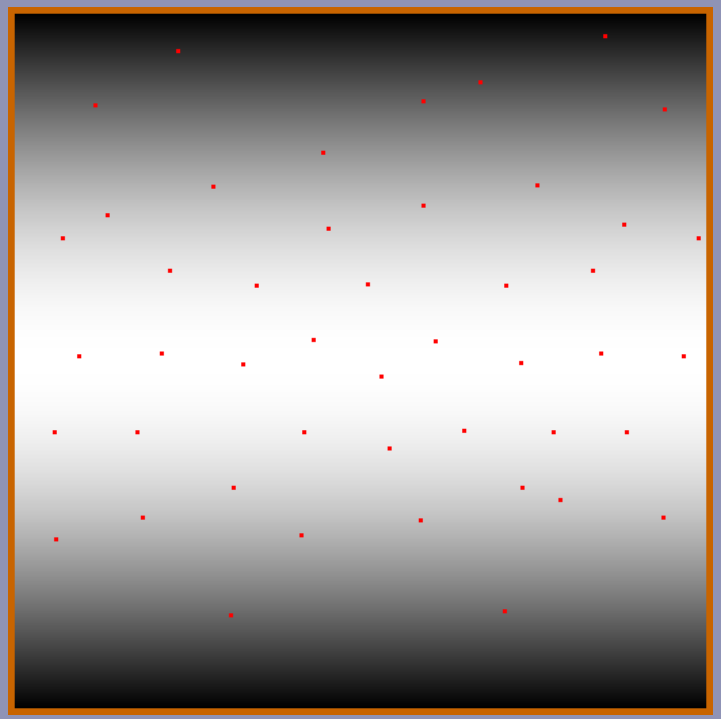
Função de compensação da deformação de área

$$F(u,v) = L(u,v)sin\left(\frac{v}{H}\pi\right) = L(u,v)sin(\theta)$$

onde, (u,v) é a posição no mapa latitude-longitude; $L(u,v)$ é o valor da luminância no ponto (u,v); e $\theta = \frac{v}{H}\pi$ é o ângulo subtendido entre o pólo norte e a direção associada ao ponto (u,v) na esfera unitária (i.e $\theta \in [0,\pi]$).

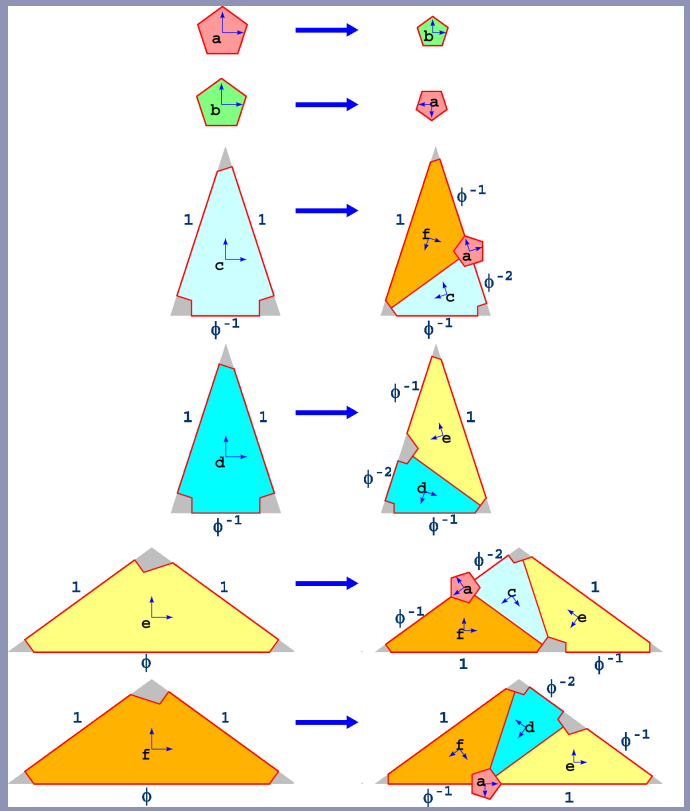
Compensação da deformação de área num mapa homogêneo

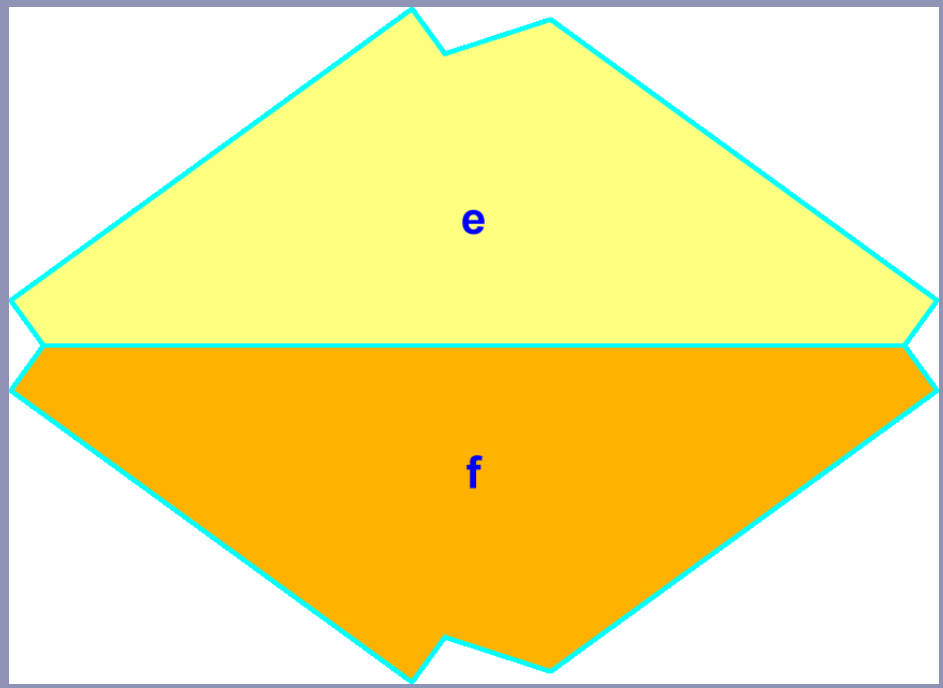




Métodos para amostragem de mapas

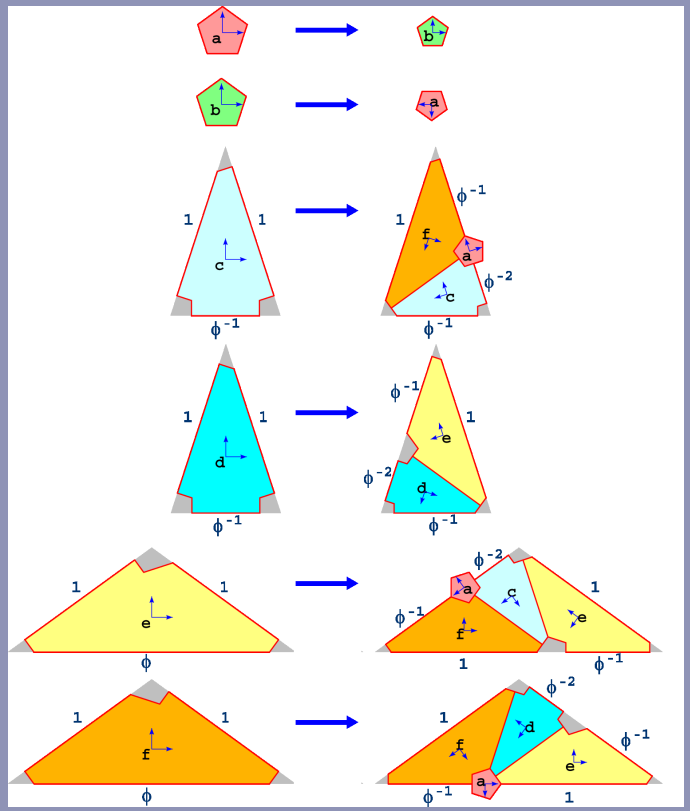
- **FHIS:** Victor Ostromoukhov et al., 2004. Baseado no Mosaico de Penrose.

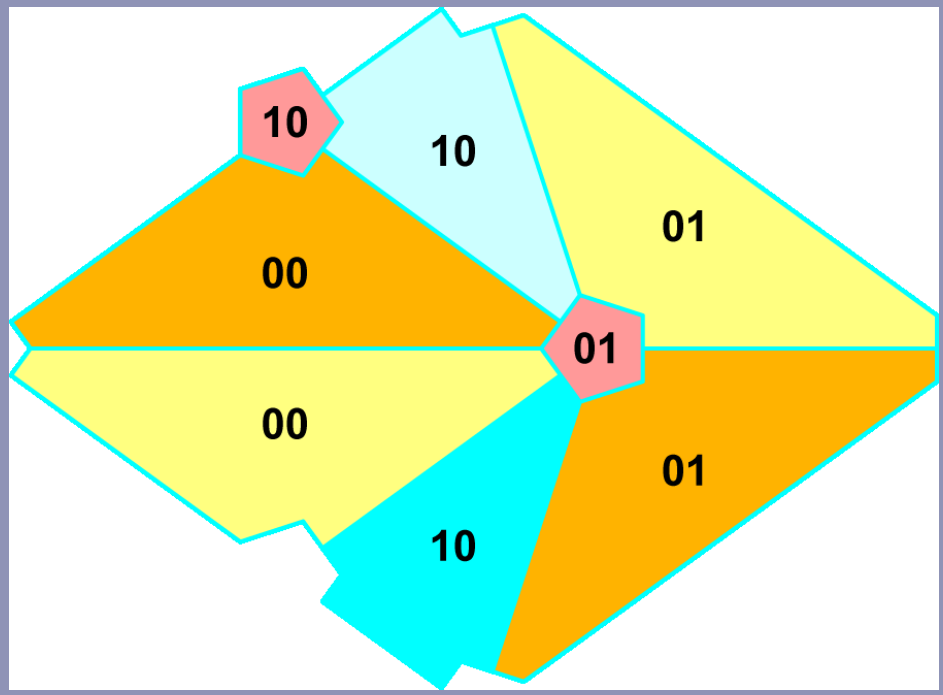




Métodos para amostragem de mapas

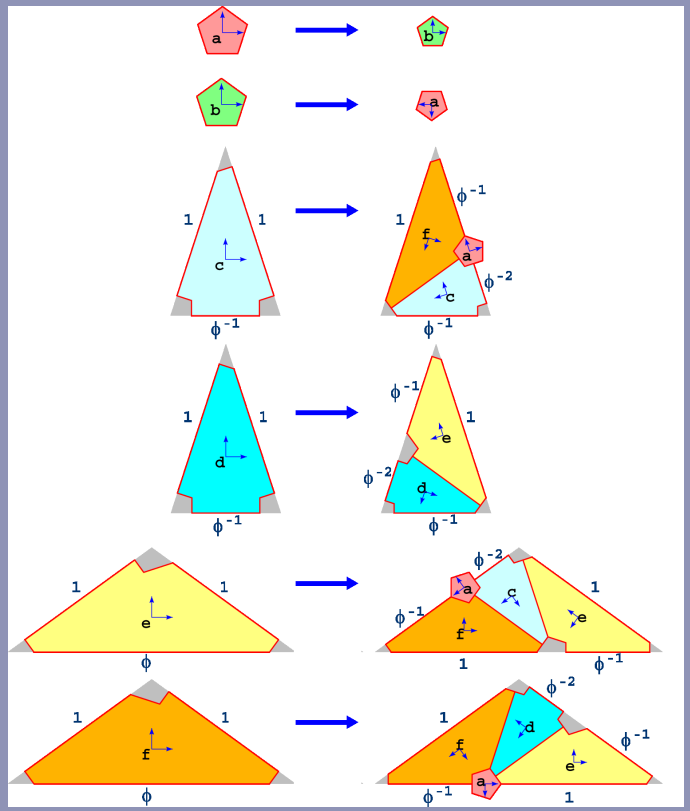
- **FHIS:** Victor Ostromoukhov et al., 2004. Baseado no Mosaico de Penrose.

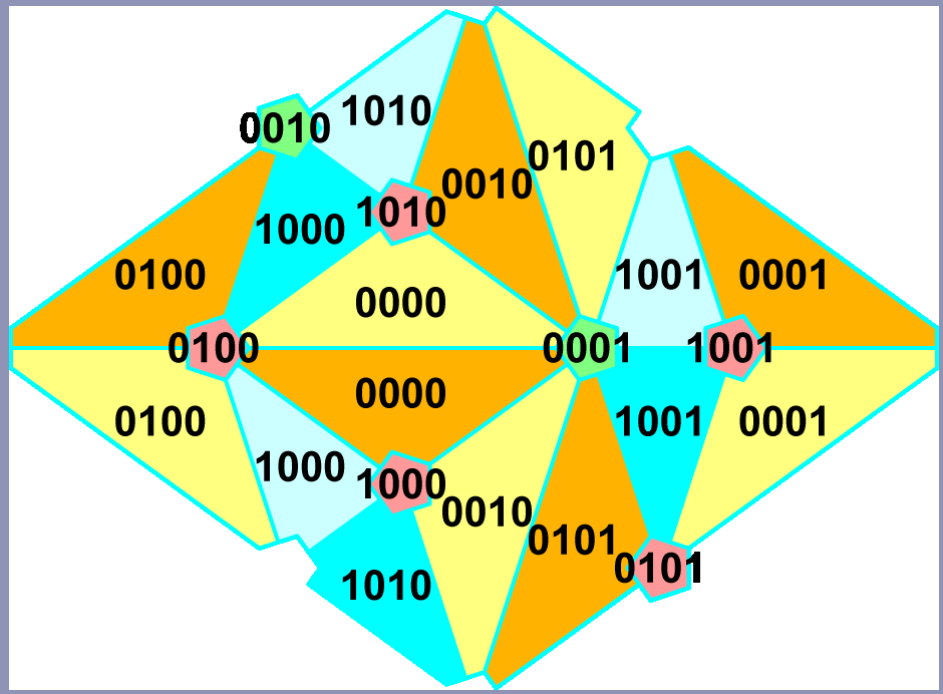




Métodos para amostragem de mapas

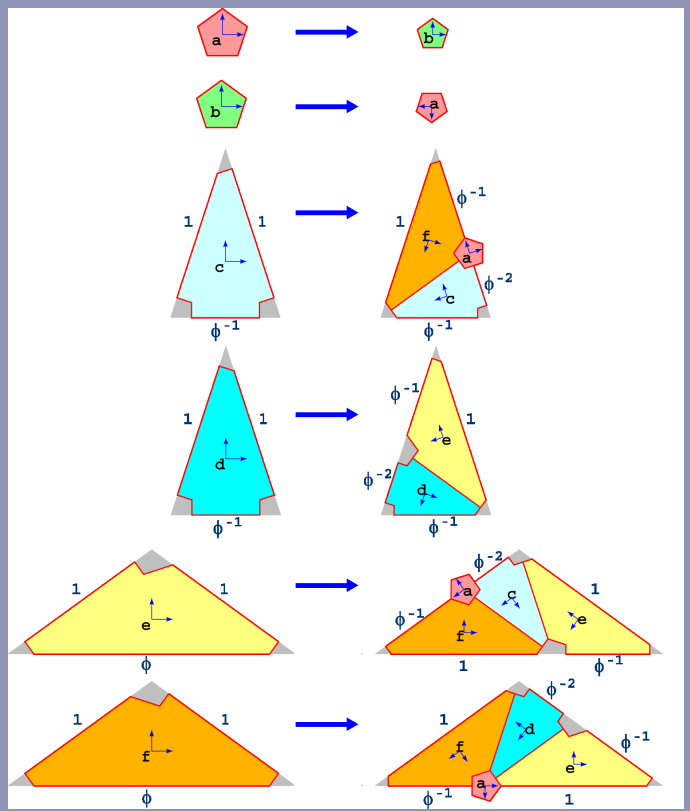
- **FHIS:** Victor Ostromoukhov et al., 2004. Baseado no Mosaico de Penrose.

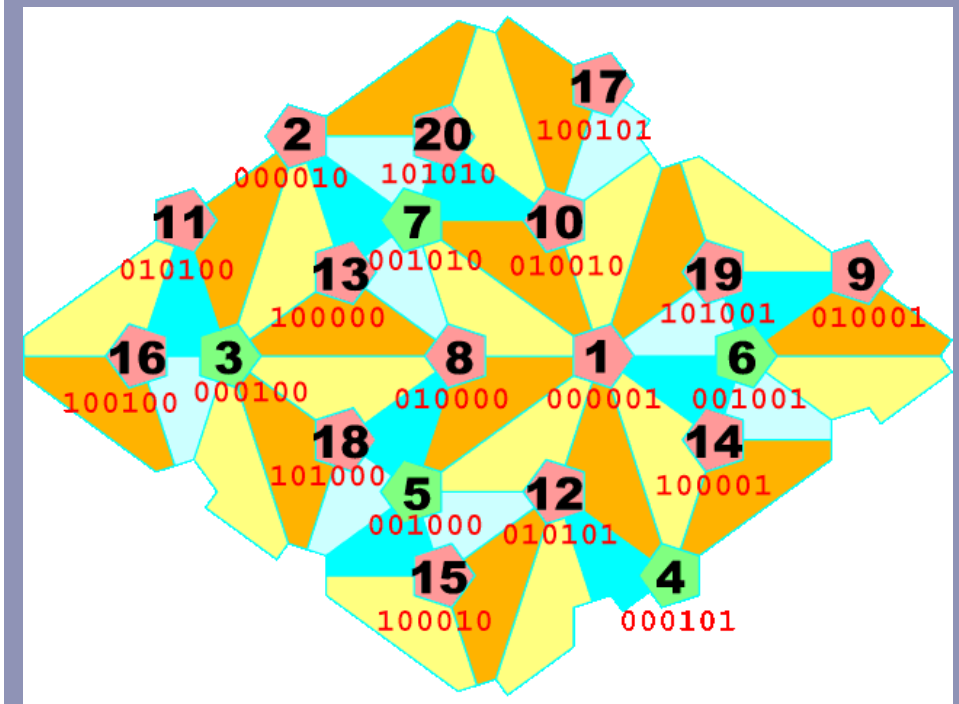




Métodos para amostragem de mapas

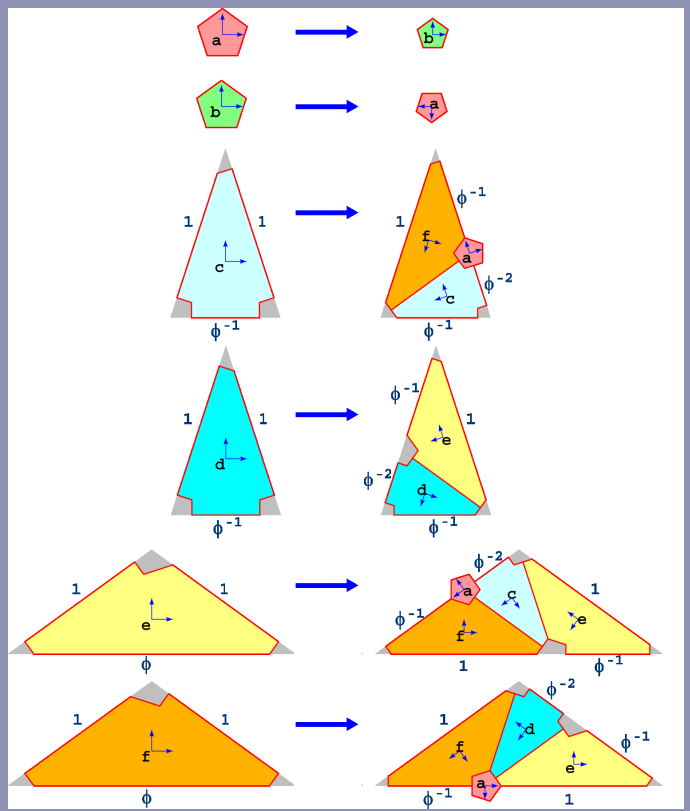
- **FHIS:** Victor Ostromoukhov et al., 2004. Baseado no Mosaico de Penrose.

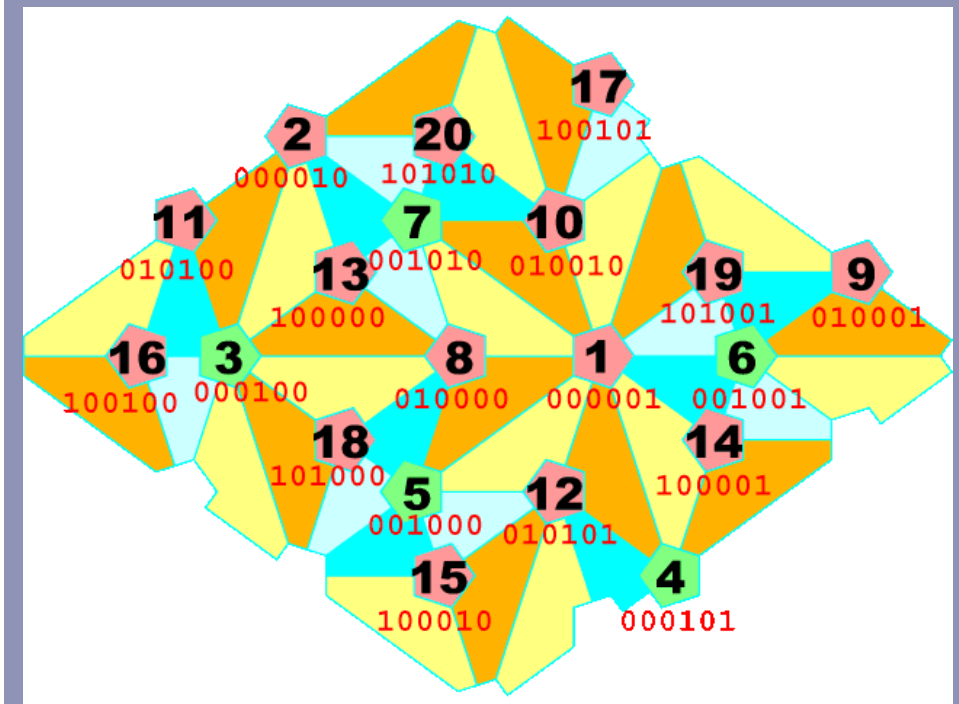




Métodos para amostragem de mapas

- **FHIS:** Victor Ostromoukhov et al., 2004. Baseado no Mosaico de Penrose.





Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.

Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.

Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.

Métodos para amostragem de mapas

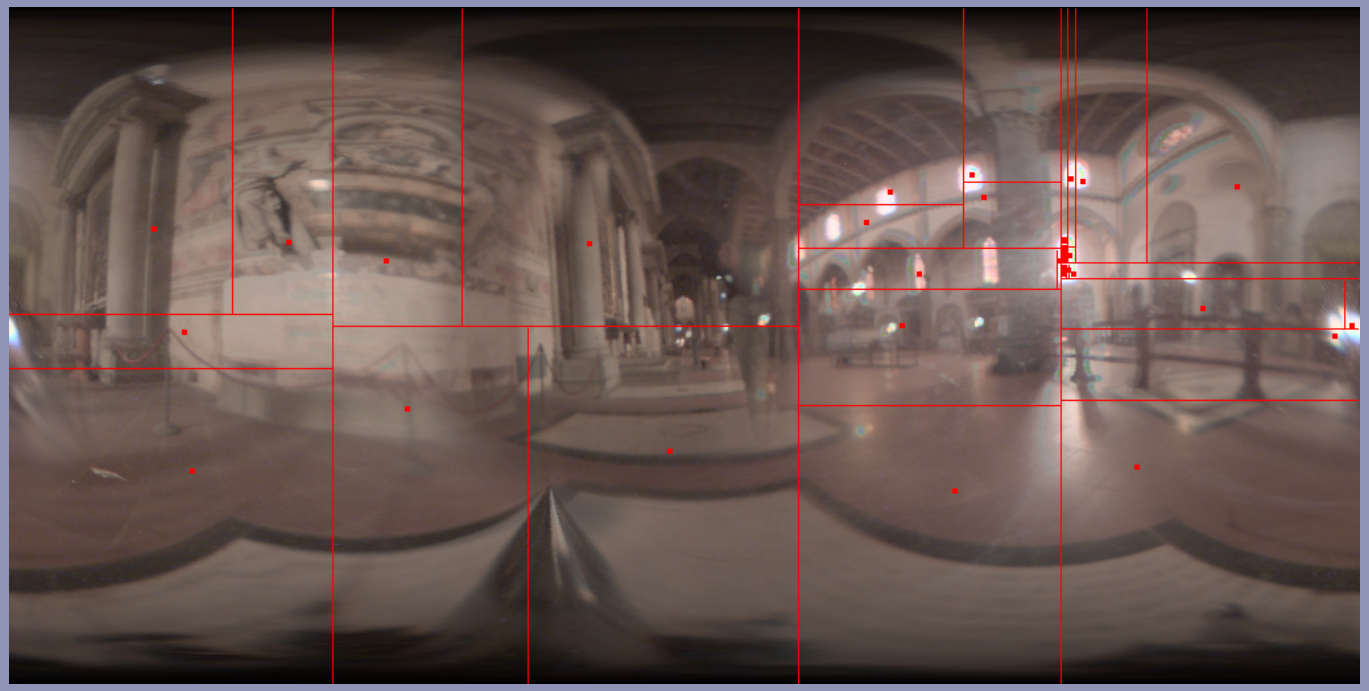
- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.

Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.

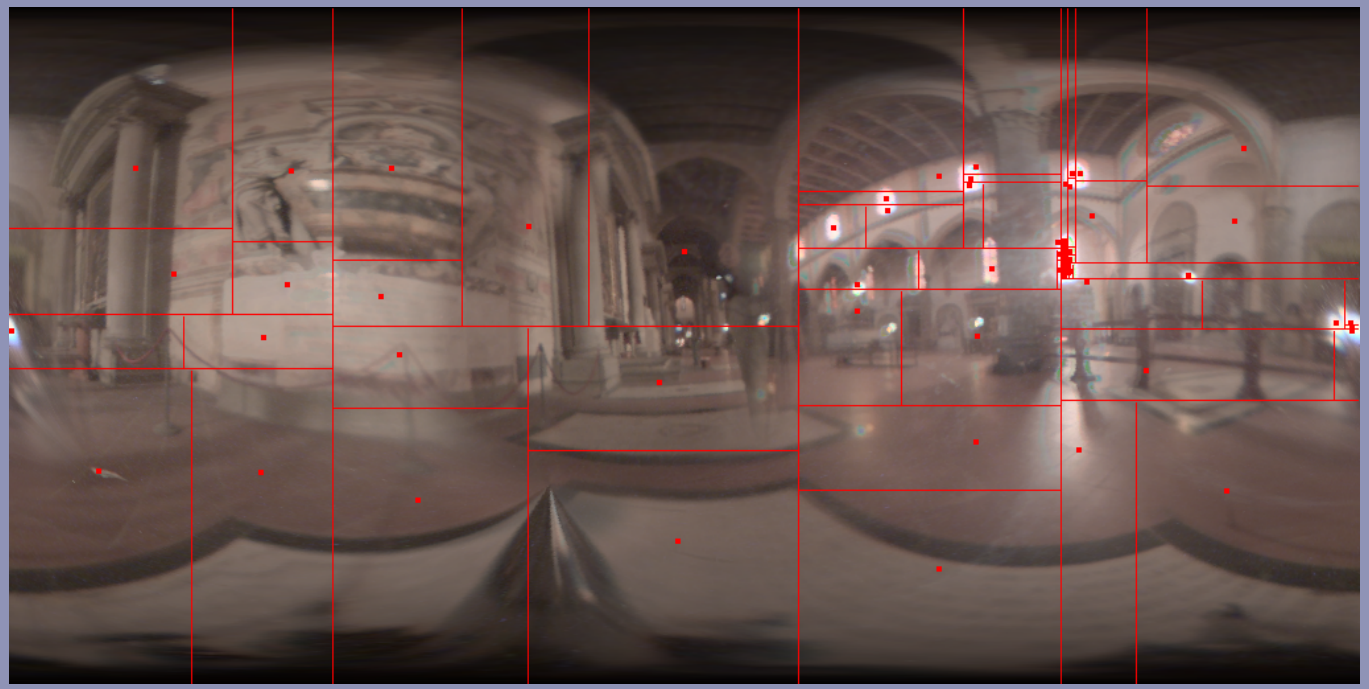
Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.



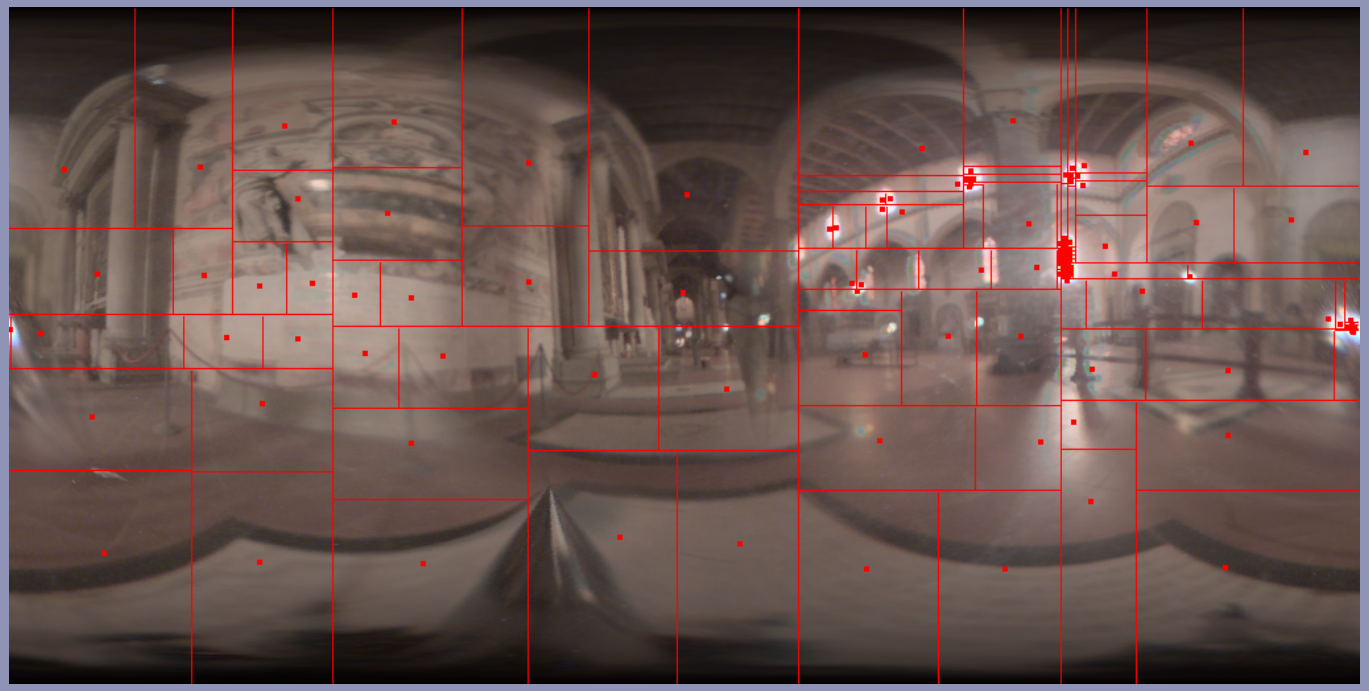
Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.



Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.



Métodos para amostragem de mapas

- **Median Cut:** Paul Debevec, 2005 Baseado no algoritmo de quantização mediancut.

Abordagem híbrida

Passos do algoritmo:

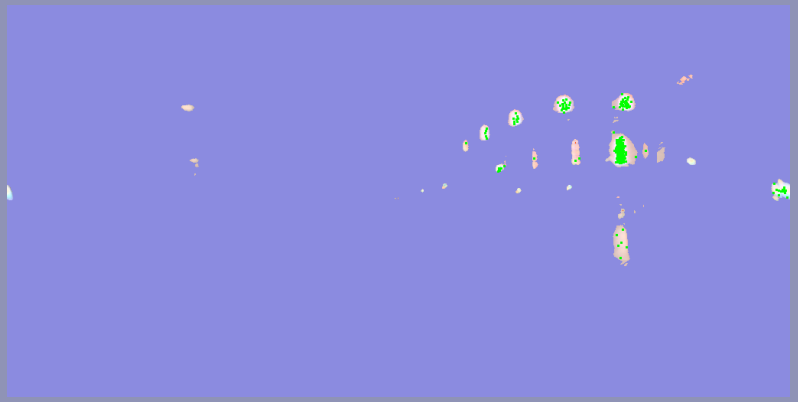
1. Utilizando a função de distribuição de luminância, particionar o mapa de iluminação em duas regiões A e B:
   - Região A contendo $X\%$ da luminância total do mapa, proveniente das zonas mais brilhantes.
   - Região $B = MAPA - A$ contendo $(100 - X)\%$ da luminância restante do mapa.
2. Amostrar a região A e converter amostras em luzes direcionais
3. Aplicar amostragem à região B para gerar mapa pre-amostrado ou guardar diretamente.
4. Aplicar clusterização quando a condensação de amostras é grande nas regiões.

Método Composto

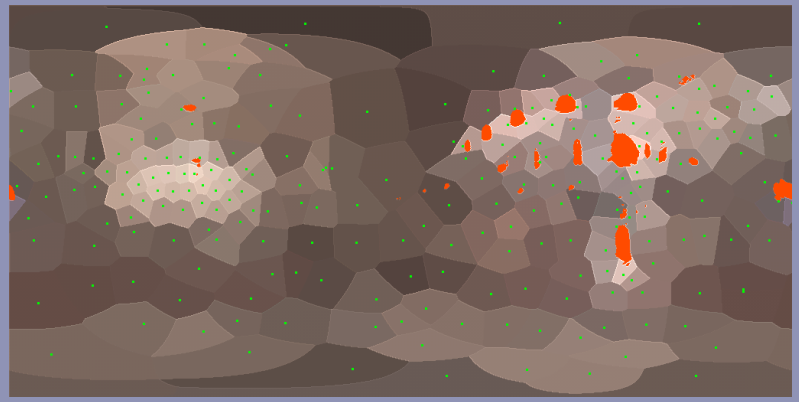
Região *A*

Região *B*

Amostragem de *A*

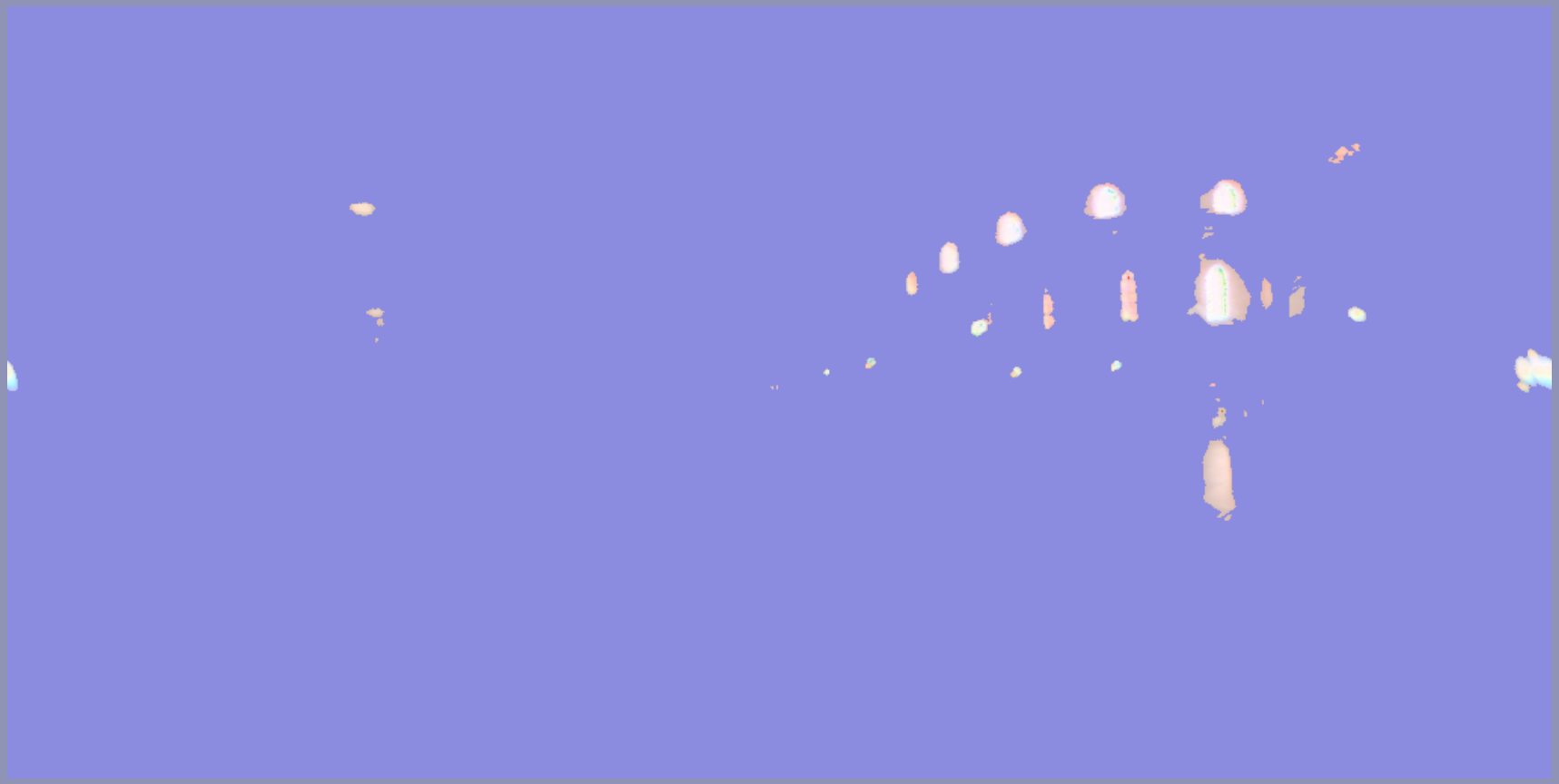


Amostragem de B



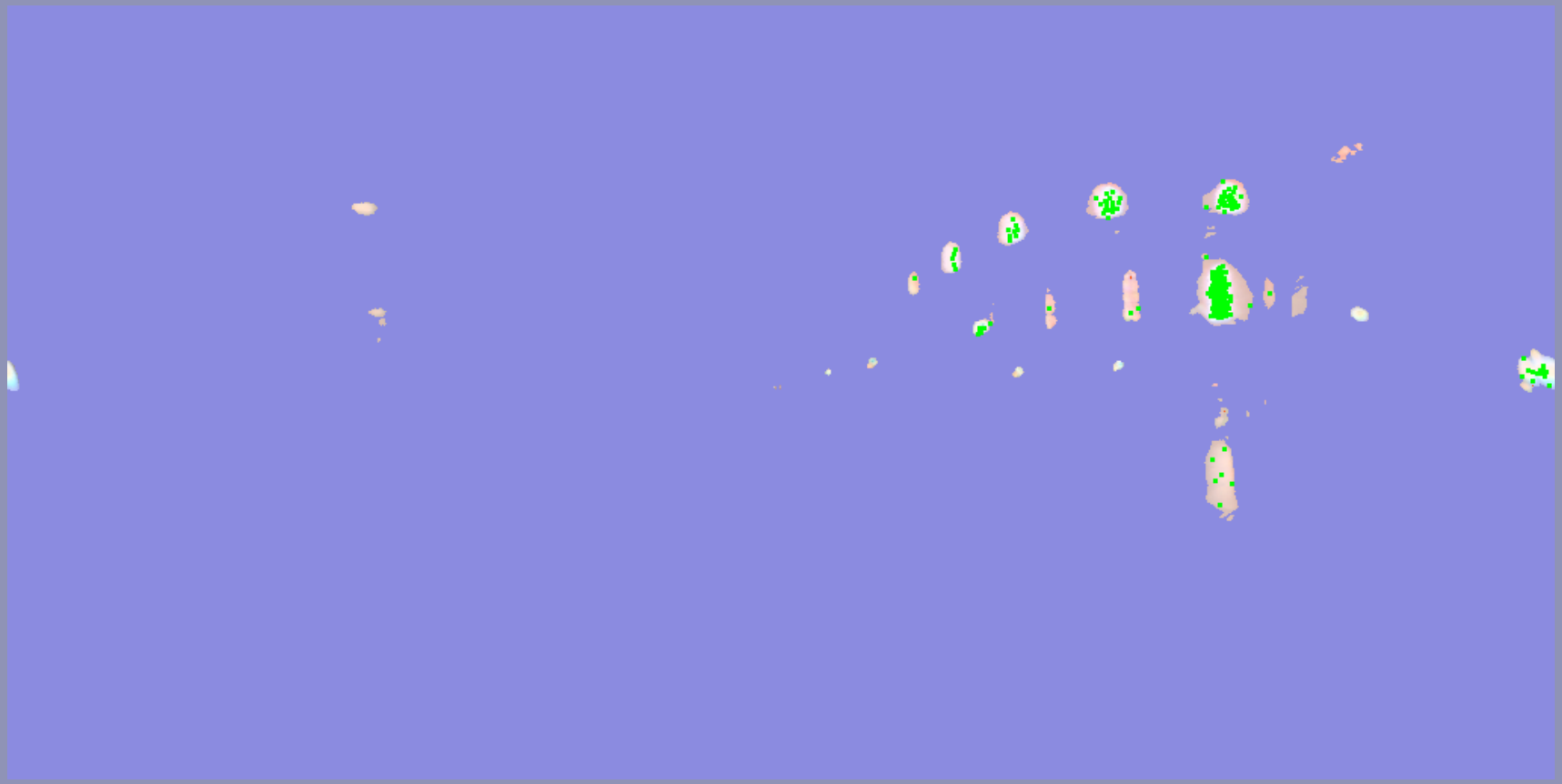
Método Composto

Região *A*



Método Composto

Amostragem de A



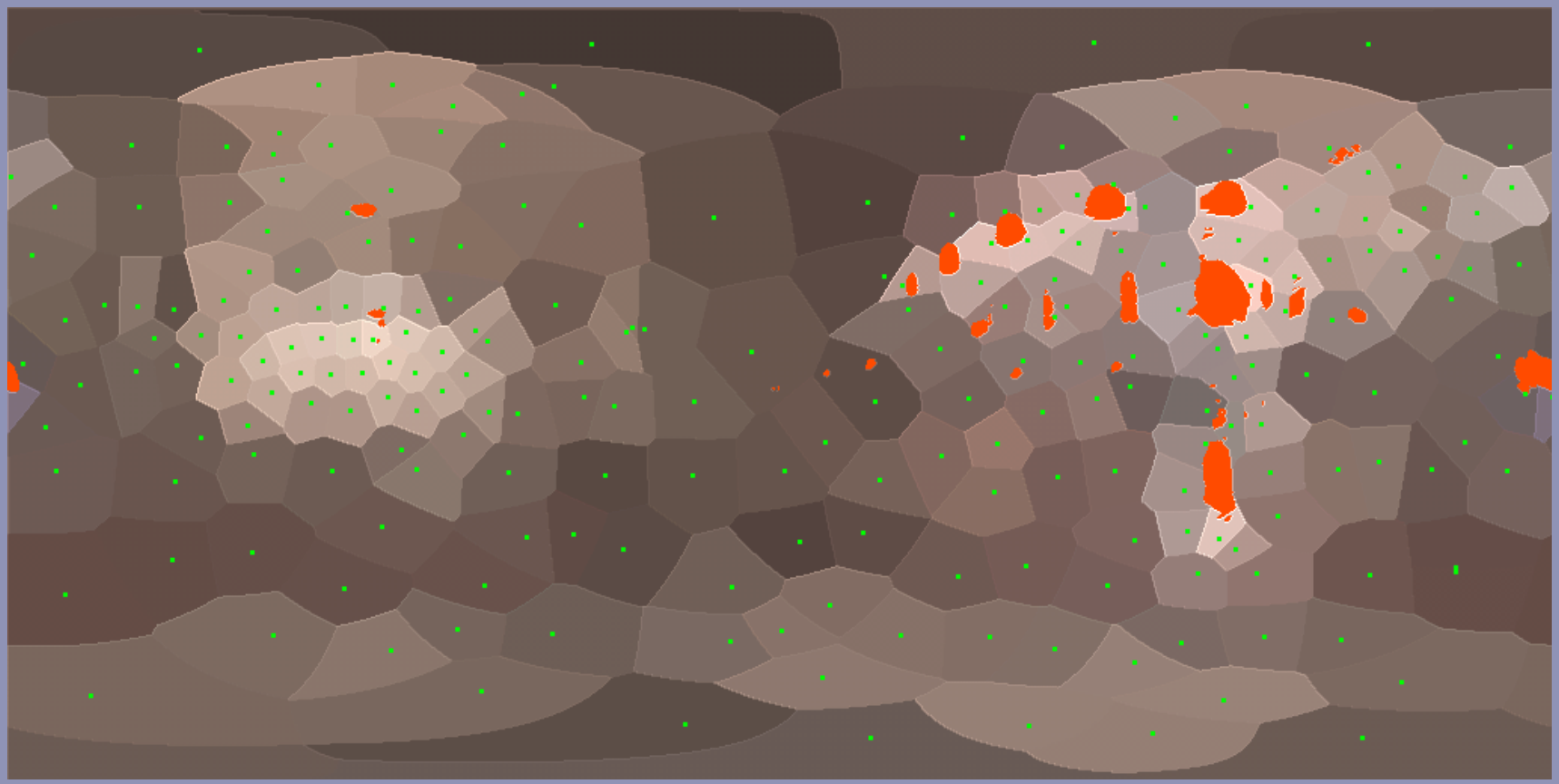
Continuar

Método Composto

Região *B*

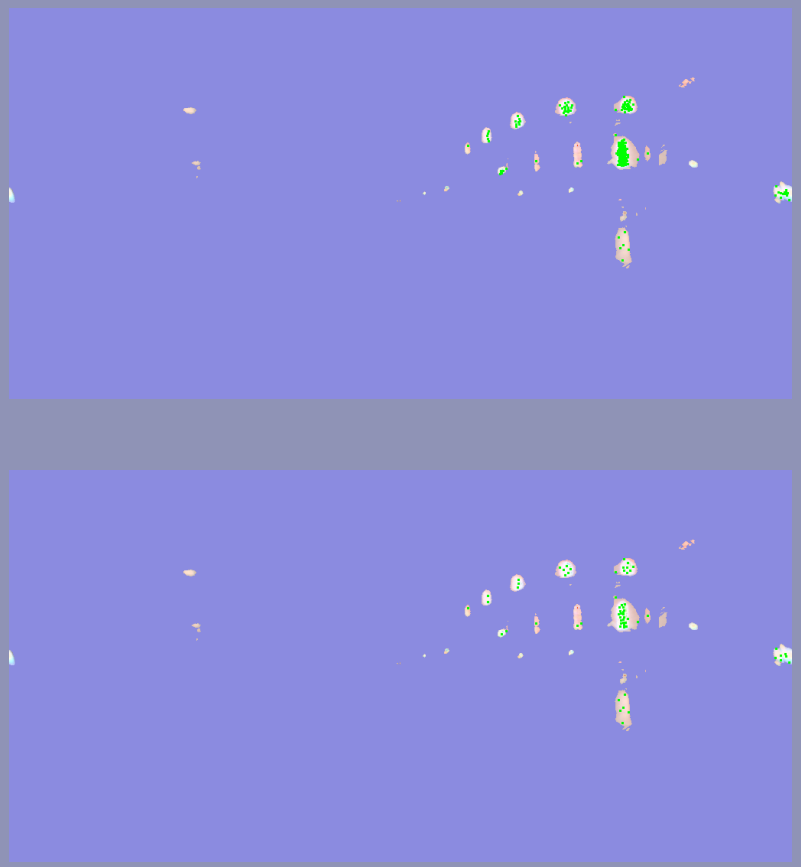
Método Composto

Amostragem de B

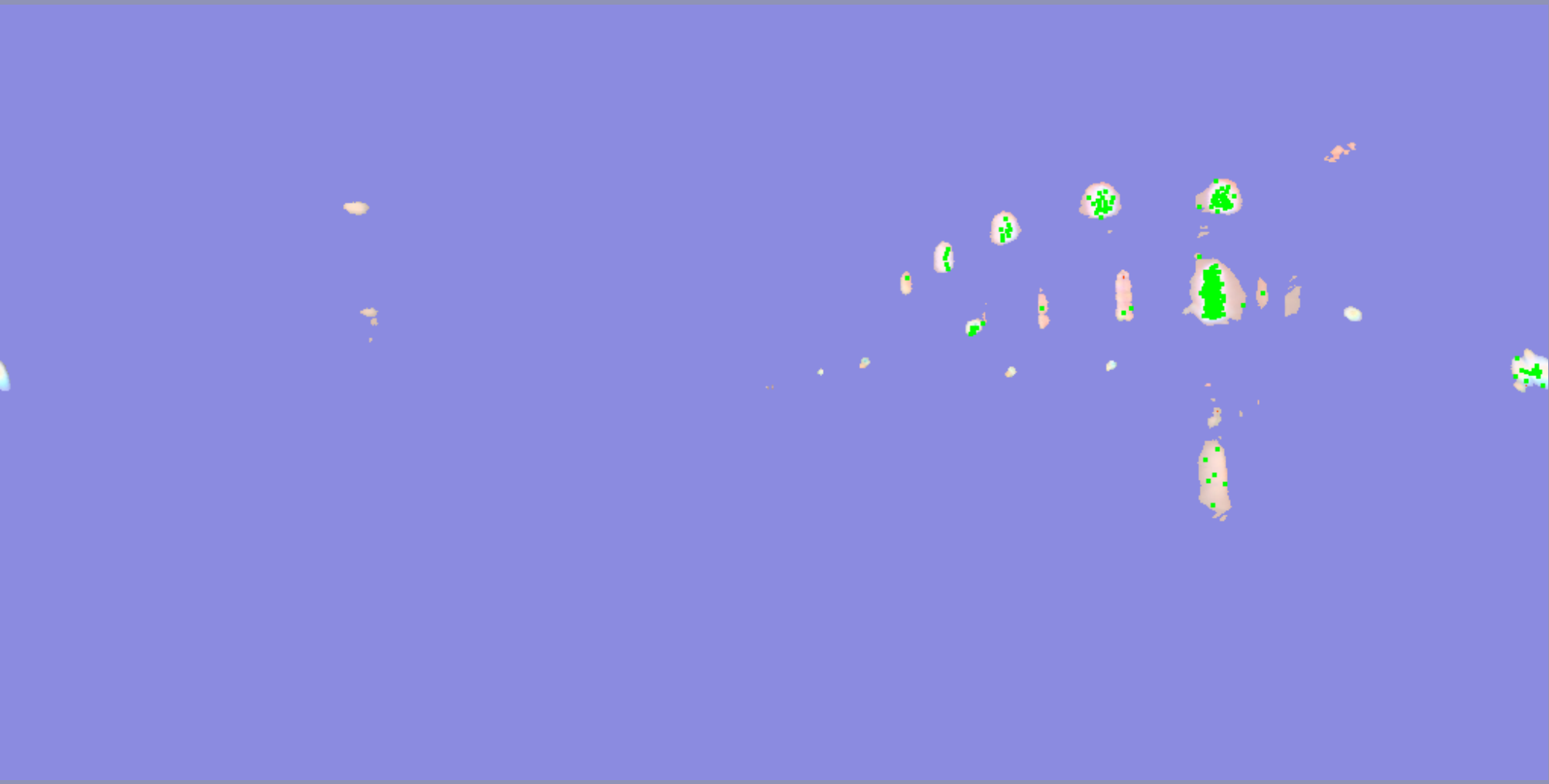


Clusterização

Clusterização de amostras



Clusterização



Clusterização

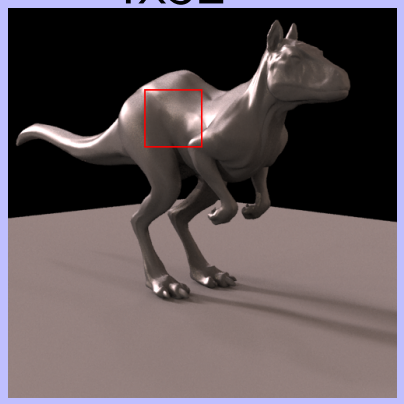
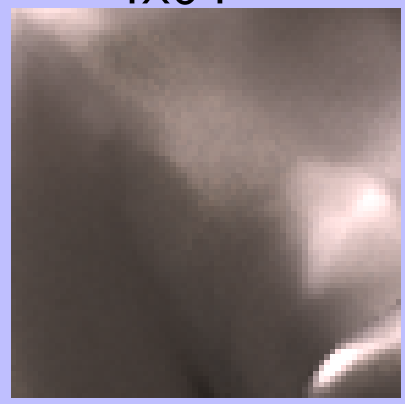
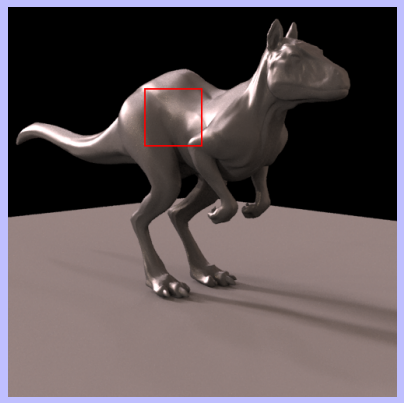
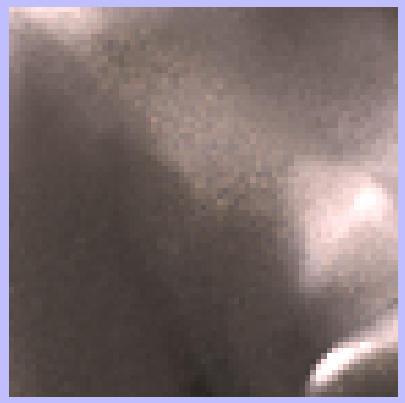
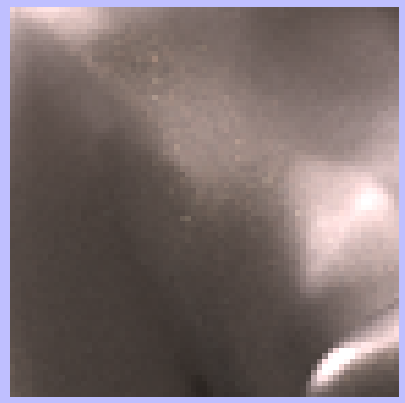
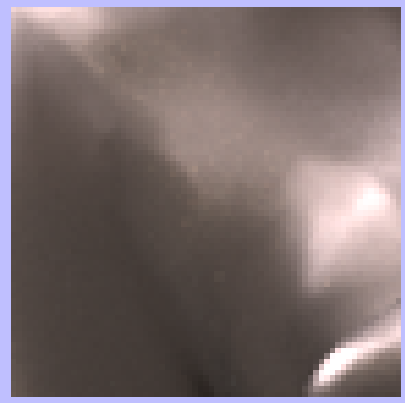
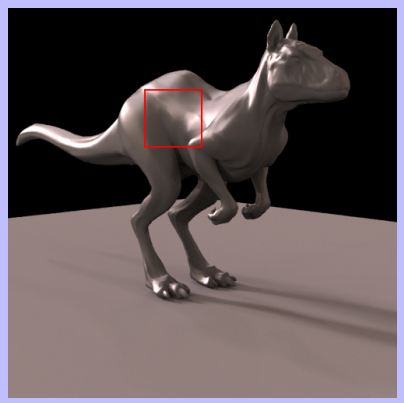
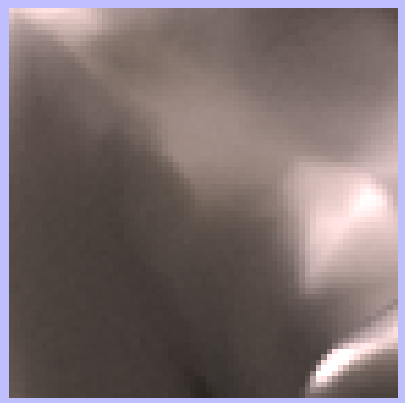
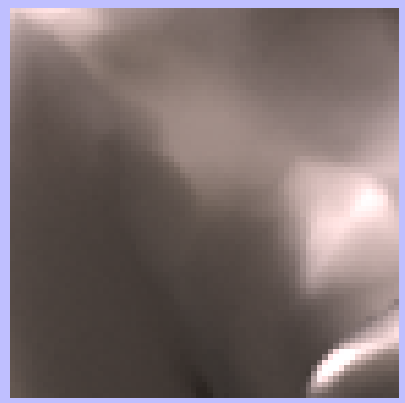
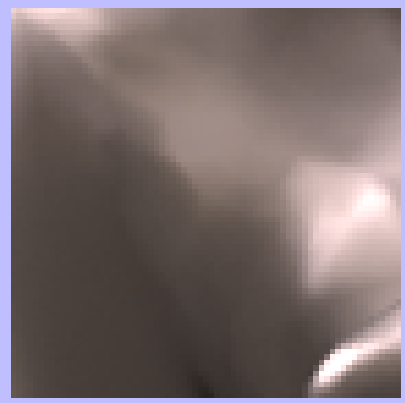
Clusterização

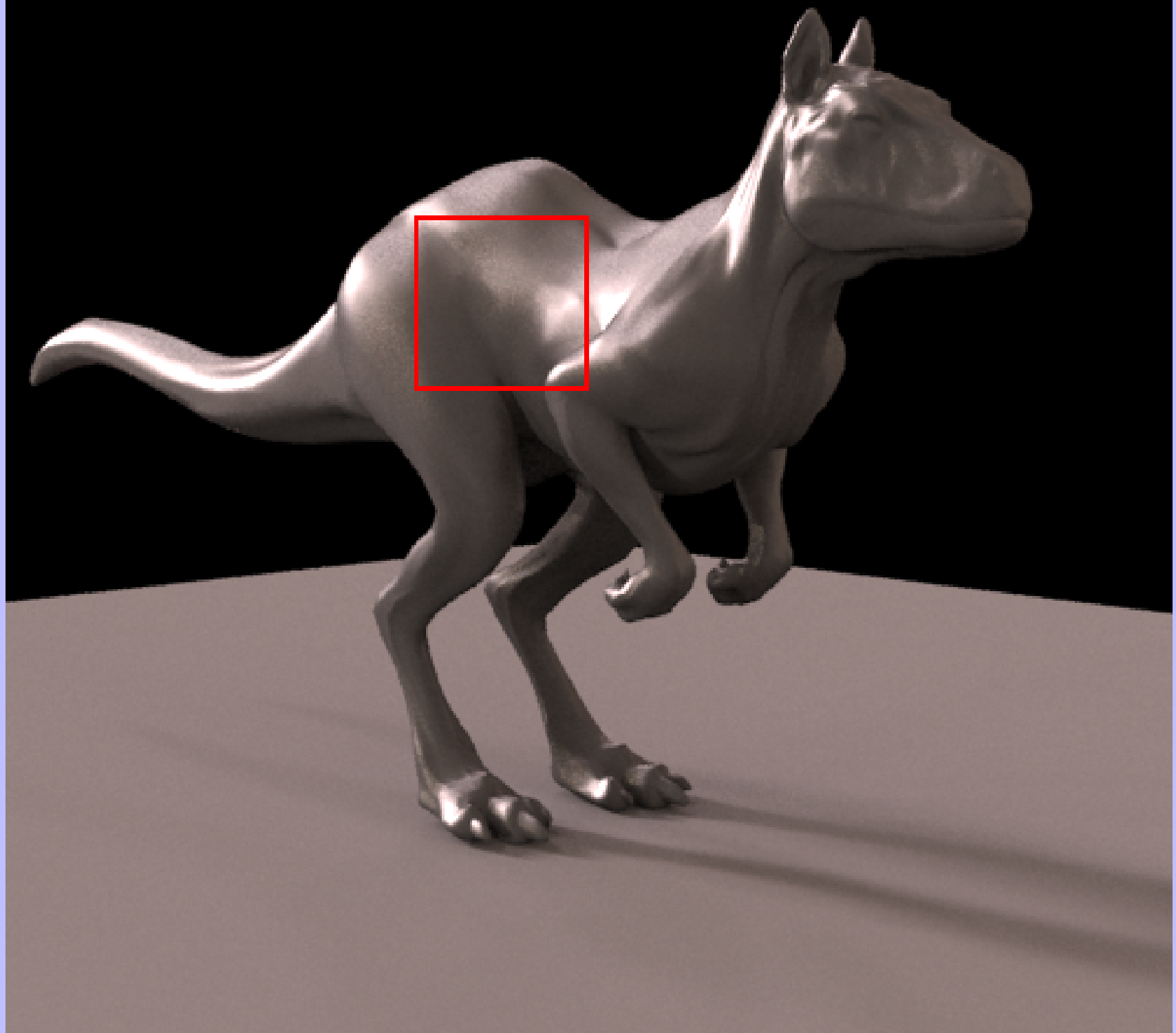
Dado um cluster com dois elementos $K = \{c_i, c_j\}$, o nível de quantização ótima utilizando a métrica do quadrado da distância geodésica sobre a esfera é:

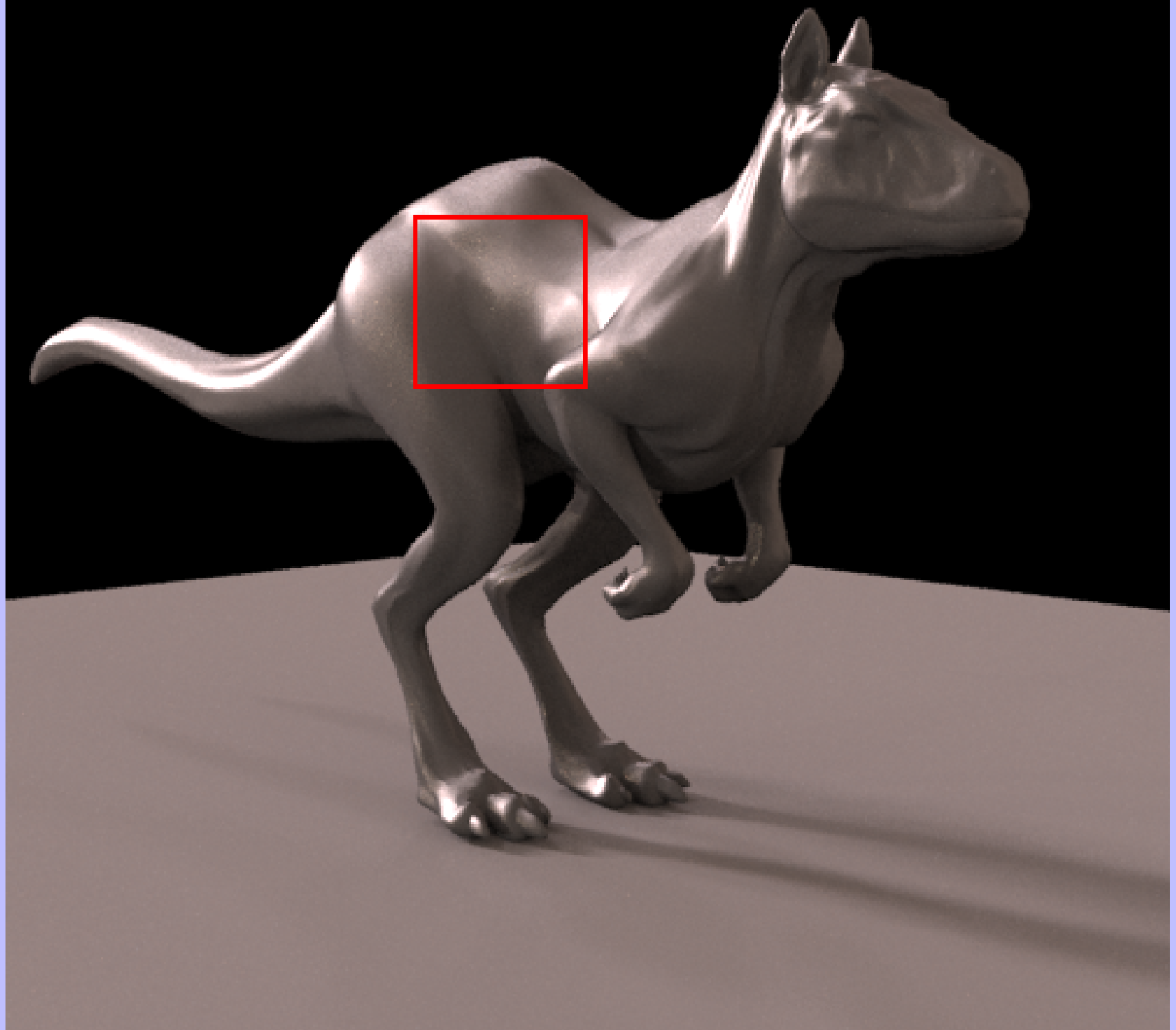
$$c = \frac{F_i}{F_i+F_j} c_i + \frac{F_j}{F_i+F_j} c_j, \qquad E(c_i c_j) = \frac{F_i F_j^2 + F_j F_i^2}{(F_i+F_j)^2} ||acos(c_i \cdot c_j)||^2,$$

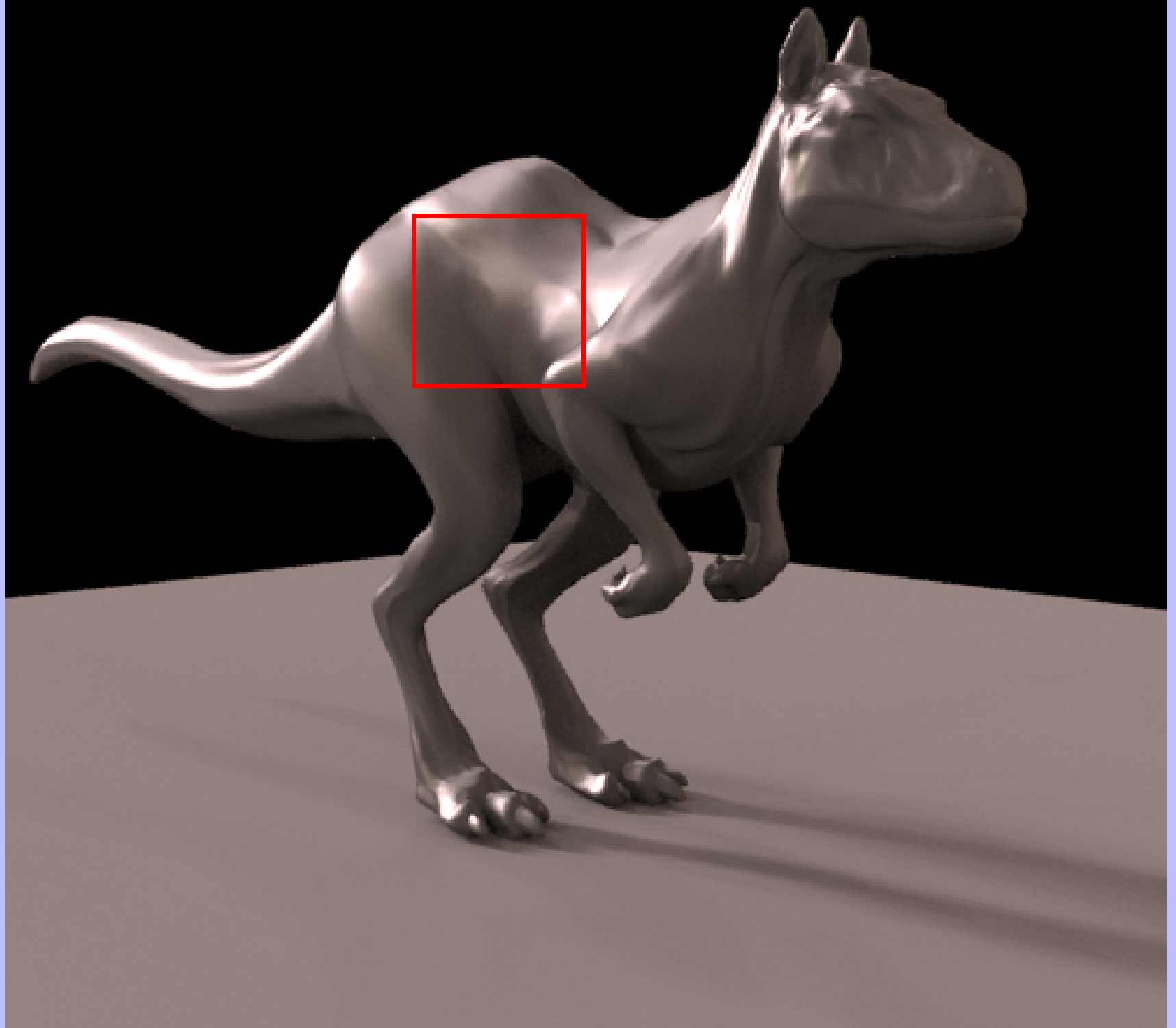
onde as opções para F_i são

- $F_i = 1$,
- $F_i = \int_{Vor(c_i)} L(x)dx$,
- $F_i = \frac{\int_{Vor(c_i)} L(x)dx}{\acute{A}rea \quad Vor(c_i)}$,

Samp.	4x32	4x16	4x32	4x64
IS				
FHIS				
HDB				

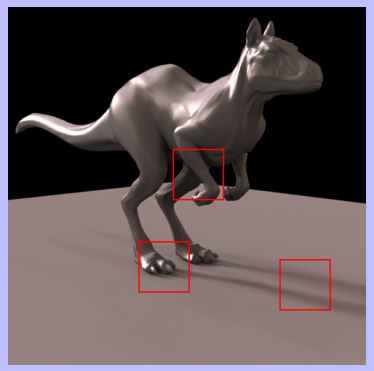
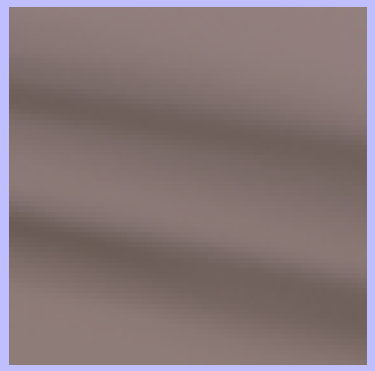




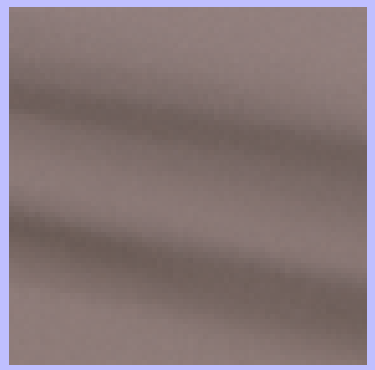


Comparações

IS

IS



HDB

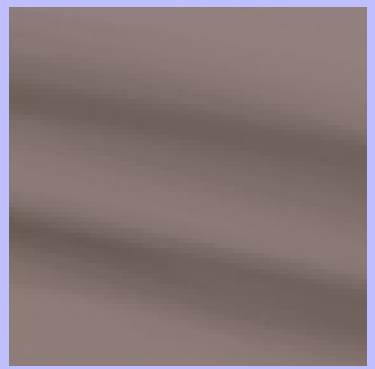
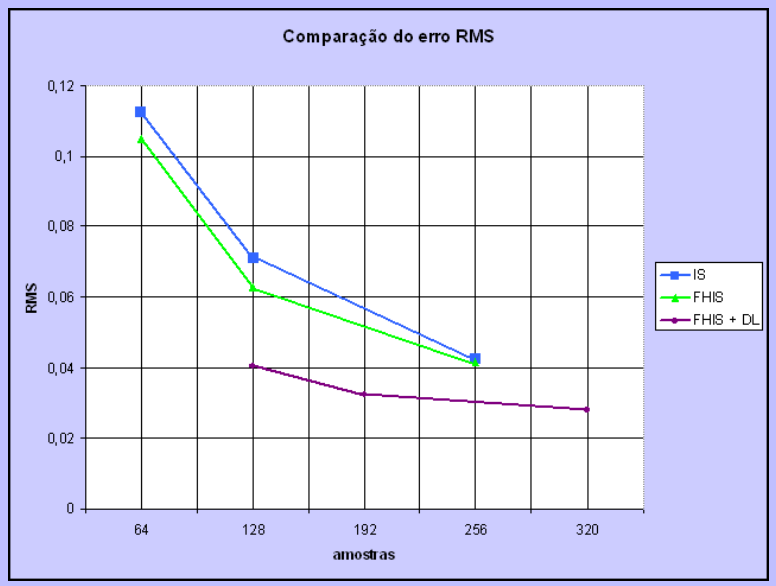
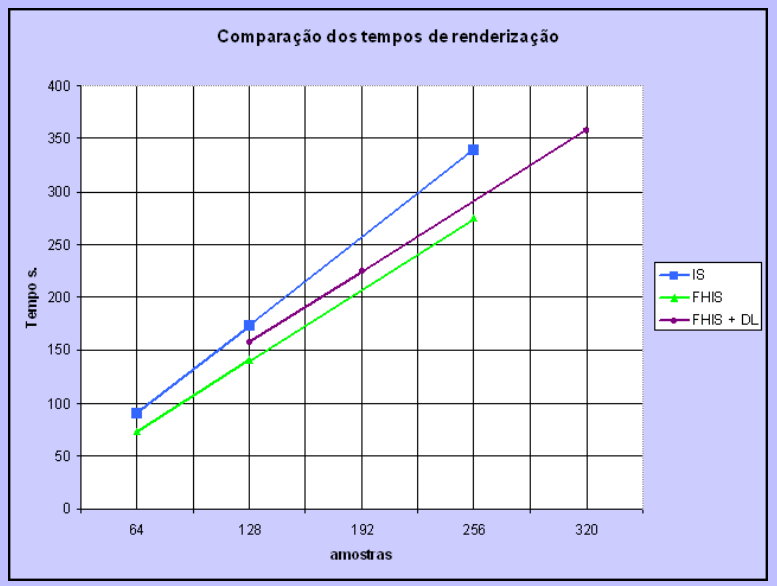


Tabela: Comparação entre renderizações. A Imagem de referência foi renderizada com *IS* no PBRT, com 4096 (8x512) amostras . (AMD64 3000, 2Gb RAM).

Método	Amostras por pixel	Erro RMS	Tempo
IS	64 (4x16)	0.112324	90.0s
IS	128 (4x32)	0.070817	173.1s
IS	256 (4x64)	0.049604	339.5s
FHIS	64 (4x16)	0.104842	73.2s
FHIS	128 (4x32)	0.062812	141.3s
FHIS	256 (4x64)	0.043516	275.3s
FHIS + D.L.(OS)	128 (4x16 + 64)	0.041018	157.6s
FHIS + D.L.(OS)	192 (4x32 + 64)	0.032888	224.0s
FHIS + D.L.(OS)	320 (4x64 + 64)	0.028287	357.8s
FHIS + D.L.(OS)	128 (4x16 + 64)	0.040586	156.6s
FHIS + D.L.(OS)	192 (4x32 + 64)	0.032419	225.0s
D.L.(OS)	128 (4x + 128)	0.088624	173.6s
D.L.(OS)	256 (4x + 256)	0.036659	337.6s
D.L.(MC)	256 (4x + 256)	0.049800	334.2s

Desempenho e erro RMS





Conclusões

Vantagens:

- Rapidez, proveniente dos métodos de amostragem utilizados.
- Liberdade de escolha de parâmetros.
- Eliminação de redundância superamostragem utilizando clustering.

Conclusões

Vantagens:

- Rapidez, proveniente dos métodos de amostragem utilizados.
- Liberdade de escolha de parâmetros.
- Eliminação de redundância superamostragem utilizando clustering.

Trabalhos Futuros:

- Cálculo automático do limiar ótimo para separação de regiões, em função da quantidade de luzes desejadas.
- Testar com novos algoritmos de amostragem: sampling with polyominoes (Ostromoukhov)
- Portabilidade para diversos softwares de renderização.
- Estender para amostragem bidirecional.

OBRIGADO!