

## 5

### Resultados da extração de isosuperfícies

Neste capítulo apresentaremos os resultados do método de oclusão implícita aplicada na extração de isosuperfícies.

Um dos objetivos principais do método de oclusão implícita é reduzir o número de faces geradas e renderizadas de uma isosuperfície, buscando também reduzir o tempo total na visualização. Assim, nos resultados obtidos apresentaremos esses dados e discutiremos o custo/benefício em cada caso. Em particular, a oclusão implícita envolve três custos que devem ser avaliados:

1. Construção da região de oclusão.
2. Teste de visibilidade.
3. Geração e renderização.

**Construção da região de oclusão** - Na geração do ocluder, devemos selecionar qual a profundidade da octree que será utilizada. Quanto menor a profundidade selecionada, mais rápido a região de oclusão é construída, com economia de tempo. Por outro lado, menor será a área coberta, com consequente redução na qualidade do ocluder. Para isosuperfícies muito refinadas, a utilização de ocluders de maior profundidade pode resultar em uma boa performance, como veremos nos exemplos. Comparamos os tempos para octrees de profundidades 5, 6 e 7.

**Teste de visibilidade** - Assim como na geração do ocluder, podemos também selecionar o nível máximo de profundidade para o teste de visibilidade (capítulo 4, seção 4.3), o que pode significar também uma economia de tempo. Isto ocorre porque muitas vezes o teste de visibilidade até a máxima profundidade pode ser mais caro do que calcular e renderizar um número adicional de faces invisíveis. Nos exemplos a seguir comparamos tempos para profundidades do nível 5 até a profundidade máxima.

**Cálculo e renderização** - Para cada nó classificado como visível, é feita a geração e rendering da isosuperfície deste nó via Marching Cubes. A princípio as faces geradas não são armazenadas na memória para futuros

acessos, reduzindo o consumo de memória. Também, alterando-se o isovalor não há necessidade de remontarmos a octree, já que os valores máximo e mínimo são os mesmos, bastando apenas verificar o sinal dos nós da octree.

Comparamos os tempos para alguns dados volumétricos com ocluder e sem ocluder. O caso sem ocluder corresponde ao algoritmo proposto por Wilhelms e Van Gelder (14).

Explicamos o tempo de cada etapa do algoritmo: construção da região de oclusão, teste de visibilidade do nó e tempo de renderização via Marching Cubes.

Para cada exemplo exibimos a região de oclusão para diferentes profundidades. Como resultado final exibimos a isosuperfície obtida, bem como a comparação entre uma silhueta renderizada com o algoritmo de Marching Lines com/sem ocluder.

Implementamos nosso trabalho em C++, e como biblioteca gráfica, utilizamos o OpenGL. Nossos resultados foram obtidos em um equipamento com processador Pentium D, 3.0 Ghz, 3,25 GB de RAM e placa de vídeo NVIDIA GFORCE FX 7800.

Neste trabalho estamos utilizando exemplos de dados volumétricos que na maior parte foram obtidos no site [www.volvis.org](http://www.volvis.org).

## 5.1 Stent

O dado volumétrico stent (174 x 512 x 512) foi extraído de uma tomografia computadorizada do abdômen e pélvis. Inicialmente escolhemos a isosuperfície de nível  $w = 600$  com originalmente 2.624.244 faces.

A tabela a seguir exibe os resultados obtidos para o exemplo da figura 5.1 com uma octree de profundidade 7.

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,187	
Teste de visibilidade:	0,140	
Marching Cubes:	2,734	9,421
Total:	3,062	9,421
Número de faces renderizadas:	780.408	2.624.244
Redução do tempo total:	67%	
Redução do número de faces:	71%	

Utilizando o método de oclusão implícita para este exemplo, renderizamos apenas 29 % do total de triângulos, de modo que deixamos de calcular 1.843.836 faces para a posição de câmera mencionada na tabela.

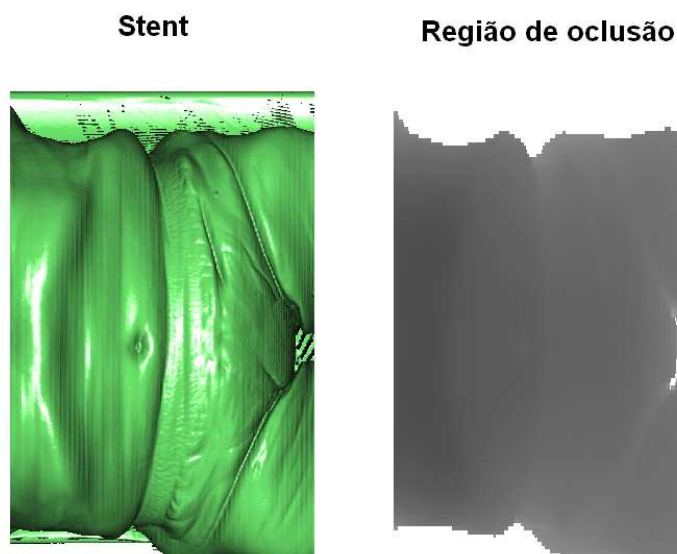


Figura 5.1: Isosuperfície com isovalor 600 e sua respectiva região de oclusão.

A figura 5.2 (a) compara os tempos gastos com/sem ocluder para diferentes posições de câmera do stent. A figura 5.2 (b) exibe o número de triângulos gerados em cada caso.

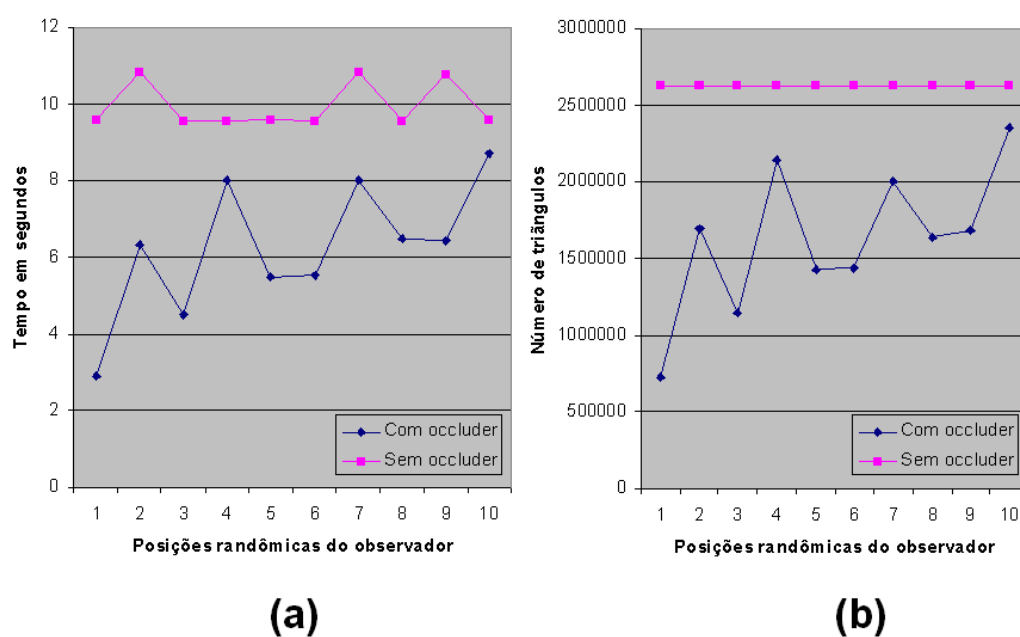


Figura 5.2: Gráficos do dado volumétrico Stent de profundidade 7 e isolevel 600. (a) Comparação dos tempos totais com/sem ocluder. (b) Comparação do número de triângulos com/sem ocluder.

A figura 5.3 apresenta a composição do tempo usando a oclusão implícita nas três partes: geração do ocluder, teste de visibilidade e geração/rendering.

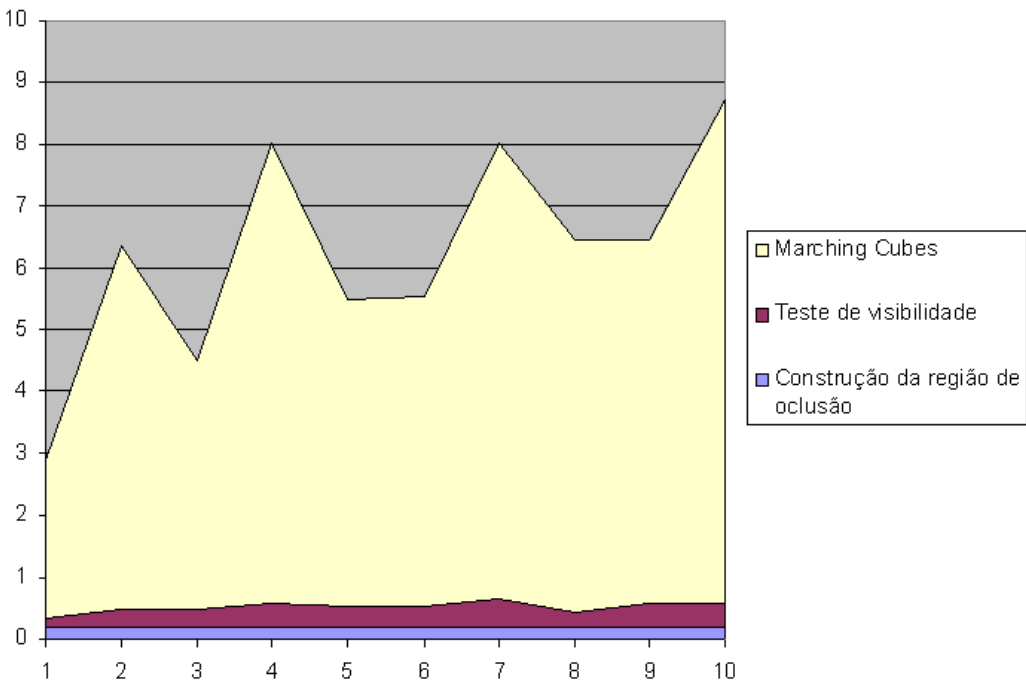


Figura 5.3: Gráfico do dado volumétrico Stent de profundidade 7 e isolevel 600. Comparações dos tempos de criação da região de oclusão, teste de visibilidade e tempo de renderização.

A tabela a seguir exhibe os resultados obtidos para mapas de oclusão gerados com profundidade 7 e 6 e testes de visibilidade de 5 até a profundidade máxima.

Para o exemplo do stent, obtivemos o melhor tempo de renderização numa octree de profundidade 7 com verificação da visibilidade até o último nível da octree, que foi de 3,062 segundos, conforme nos mostra a tabela 5.1.

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,187	0,187	0,187
Teste de visibilidade:	0,140	0,078	0,032
Marching Cubes:	2,734	3,187	4,186
Total:	<b>3,062</b>	3,453	4,406
Triângulos:	780.408	912.041	1.198.859
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,046	0,046	
Teste de visibilidade:	0,047	0,016	
Marching Cubes:	3,562	4,531	
Total:	3,655	4,592	
Triângulos:	953.495	1.222.965	

Tabela 5.1: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Stent

A figura 5.4 exibe os mapas de oclusão para diferentes profundidades.

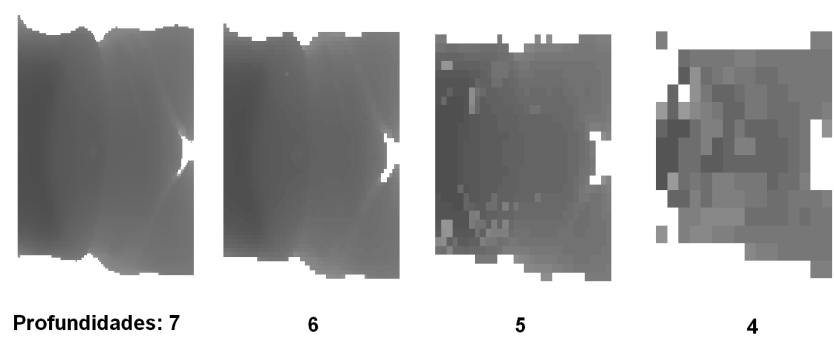


Figura 5.4: Regiões de oclusão do Stent para as profundidades 7,6,5 e 4.

Conforme mencionado anteriormente, uma das vantagens de utilizarmos o método da oclusão implícita, é o fato de que podemos visualizar um dado com diferentes isovalores, sem a necessidade de remontarmos a octree. Na figura 5.5 temos a imagem do Stent com 2 isovalores: 600 e 1300. No entanto, o occluder não se mostra eficiente no isovalor 1300, pois não há quase região de oclusão. A tabela seguinte exibe os resultados obtidos neste caso.

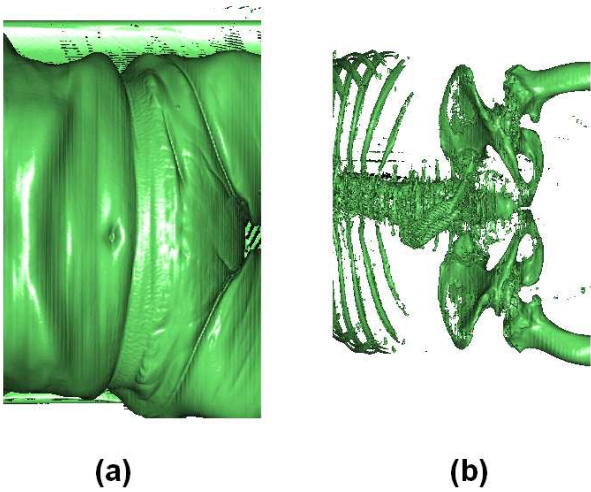


Figura 5.5: Stent16.raw: (a) com isovalor 600 referente à pele (b) isovalor 1300 referente aos ossos.

Stent com isovalor 1300	Região de oclusão
tempo com occluder	4,421
tempo sem occluder	4,250
n ° de faces sem occluder	1.198.084
n ° de faces com occluder	1.198.084

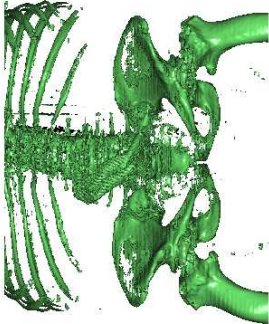

Stent com isovalor 1300	Região de oclusão
	
tempo com occluder	4,421
tempo sem occluder	4,250
nº de faces sem occluder	1.198.084
nº de faces com occluder	1.198.084

Figura 5.6: Para o isovalor 1300, a quantidade de faces com/sem occluder é a mesma.

5.2  
Visible Woman

O dado volumétrico da Visible Woman é extenso e tem 887 MB. Neste dataset é possível visualizar pele e ossos dependendo do valor da isosuperfície. Observe nas tabelas a seguir as imagens da Visible Woman, a região de oclusão gerada e seus respectivos tempos de renderização.

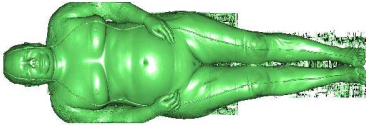

Figura	Região de oclusão
	
Arquivo:	Visible_woman.raw
Dimensão:	1734x512x512
Câmera:	-450,450,90
Profundidade:	7
Isolevel:	600

Figura 5.7: Dados da Visible Woman

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,187	
Teste de visibilidade:	0,219	
Marching Cubes:	17,889	59,00
Total:	18,297	59,00
Número de faces renderizadas:	4.801.044	15.514.608
Redução do tempo total:		31%
Redução do número de faces:		31%

Para este exemplo, foram renderizados apenas 4.801.044 de faces, que correspondem 31% do total de faces para a posição de câmera mencionada na tabela. Note que 10.713.564 de triângulos deixaram de ser renderizados com o método da oclusão implícita.

Obtivemos o melhor tempo de renderização de 18,297 segundos com uma octree de profundidade 7, verificando a visibilidade dos nós até o último nível, conforme nos mostra a tabela 5.2.

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,187	0,172	0,187
Teste de visibilidade:	0,219	0,078	0,031
Marching Cubes:	17,889	20,187	25,485
Total:	<b>18,297</b>	20,437	25,702
Triângulos:	4.801.044	5.420.342	6.906.328
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,047	0,047	
Teste de visibilidade:	0,031	0,015	
Marching Cubes:	25,406	31,656	
Total:	25,485	31,733	
Triângulos:	6.041.543	7.662.143	

Tabela 5.2: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade da Visible Woman

Na figura 5.8 são apresentados os tempos gastos com/sem ocluder para diferentes isovalores da Visible Woman. Observe que a partir do isolevel 900, os tempos com/sem ocluder começam a coincidir, devido à redução da região de oclusão.

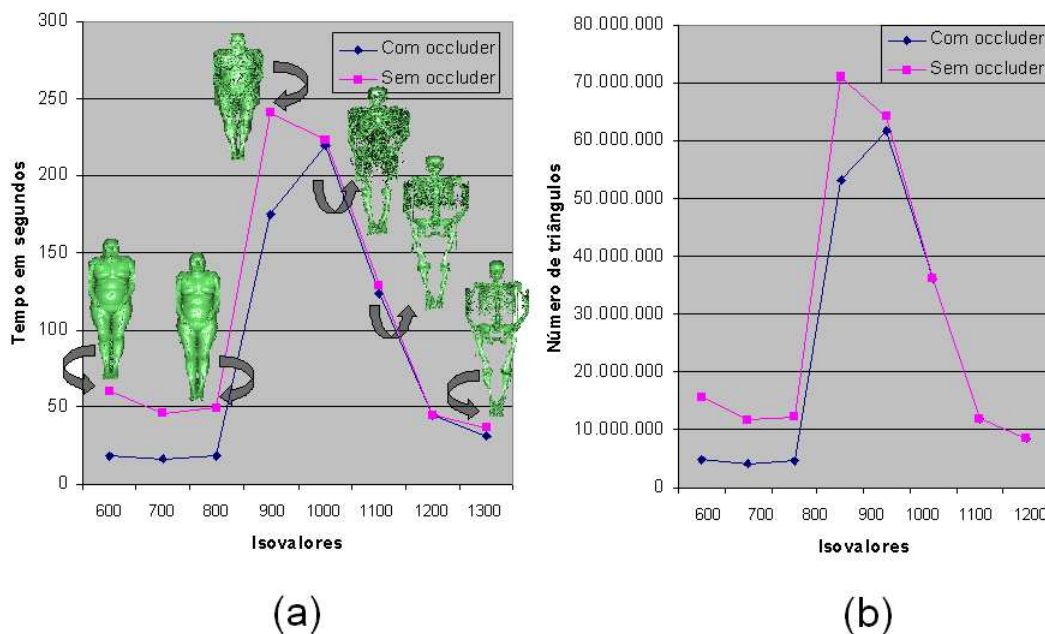


Figura 5.8: (a) gráfico com os tempos em segundos da renderização da Visible Woman para diferentes isovalores. (b) gráfico do número de faces renderizadas para diferentes isovalores.

### 5.3 Engine

Imagem de dois cilindros de um bloco de motor. No arquivo Engine fixamos uma determinada posição de câmera e obtivemos uma redução de 392.854 faces, sendo renderizados apenas 40% do total de faces.

Com occluder		Sem occluder
Construção da reg. de ocl.:	0,172	
Teste de visibilidade:	0,141	
Marching Cubes:	0,936	2,342
Total:	1,25	2,342
Número de faces renderizadas:	256.726	643.580
Redução do tempo total:		60%
Redução do número de faces:		60%

A figura 5.10 nos mostra os tempos gastos com/sem occluder para diferentes posições de câmera do engine, bem como o número de faces renderizadas. Observe também na figura 5.11 os tempos gastos para cada etapa do algoritmo: criação da região de oclusão, teste de visibilidade e render.

O melhor tempo de renderização foi obtido numa octree de profundidade 7, verificando a visibilidade dos nós até o último nível, conforme nos mostra a



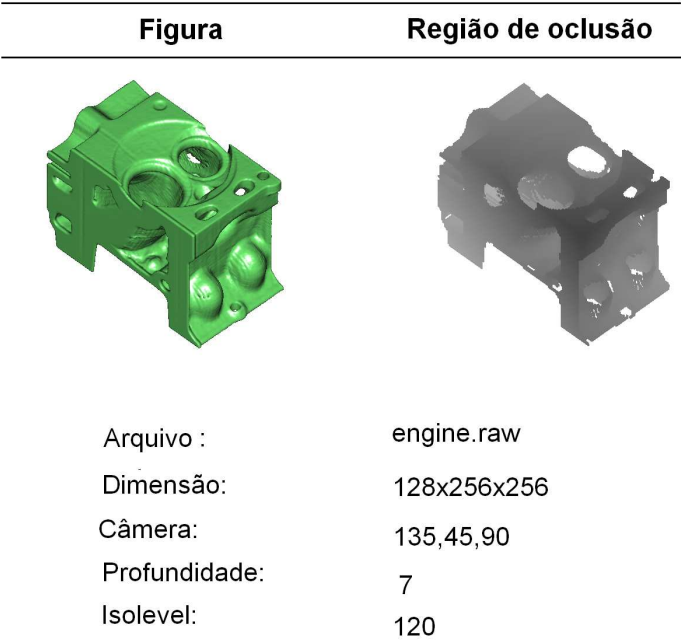


Figura 5.9: Dados do Engine.

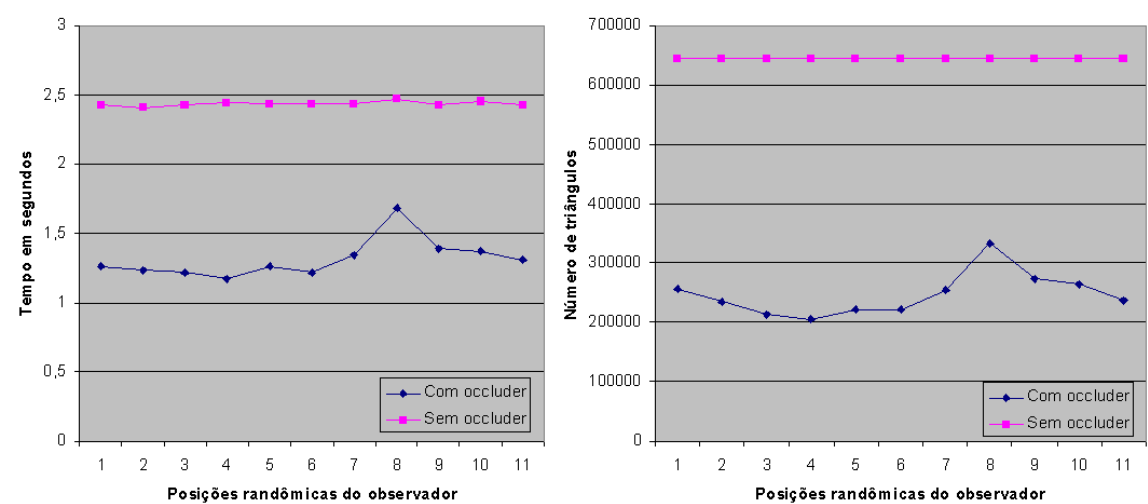


Figura 5.10: Gráficos do dado volumétrico Engine de profundidade 7 e isolevel 120. (a) Comparação dos tempos totais com/sem occluder. (b) Comparação do número de triângulos com/sem occluder.

tabela 5.3.

5.4  
Foot

Imagem de um pé humano obtido através de uma radiografia. Tecidos e ossos estão presentes no dataset.

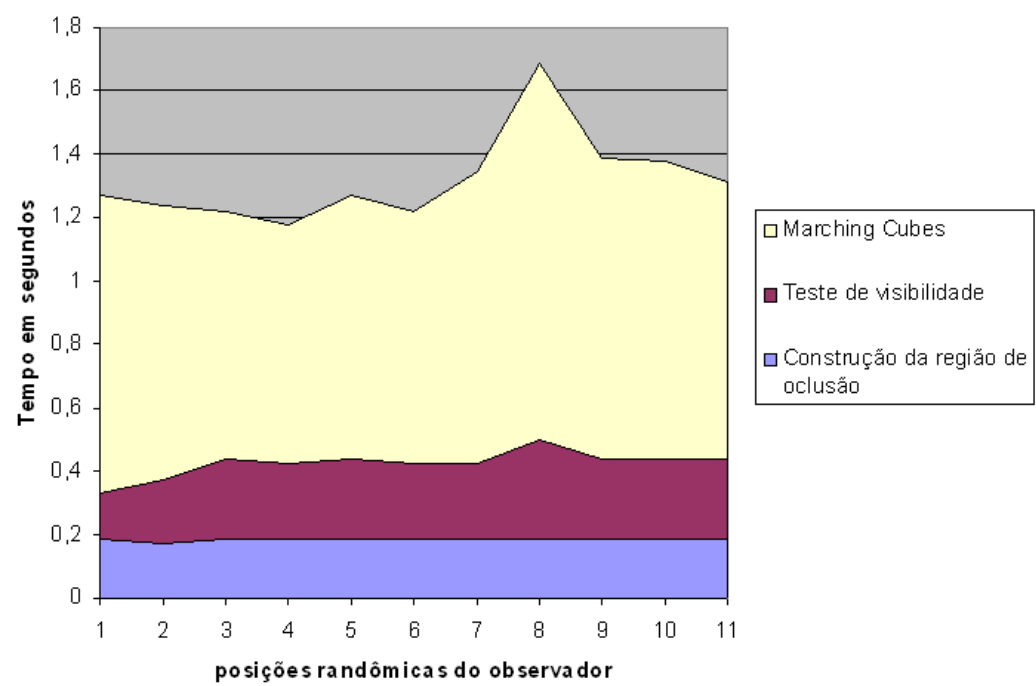


Figura 5.11: Gráfico do dado volumétrico engine de profundidade 7 e isolevel 120. Comparações dos tempos de criação da região de oclusão, teste de visibilidade, tempo de renderização.

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,172	0,174	0,172
Teste de visibilidade:	0,141	0,093	0,046
Marching Cubes:	0,936	1,11	1,485
Total:	1,25	1,375	1,702
Triângulos:	256.726	321.182	426.191
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,031	0,031	
Teste de visibilidade:	0,047	0,032	
Marching Cubes:	1,672	1,983	
Total:	1,75	2,046	
Triângulos:	468.549	556.783	

Tabela 5.3: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Engine.

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,296	
Teste de visibilidade:	0,141	
Marching Cubes:	6,311	9,312
Total:	6,75	9,312
Número de faces renderizadas:	1.864.009	2.577.814
Redução do tempo total:		28%
Redução do número de faces:		28%

Podemos verificar que o melhor tempo de renderização do foot foi obtido

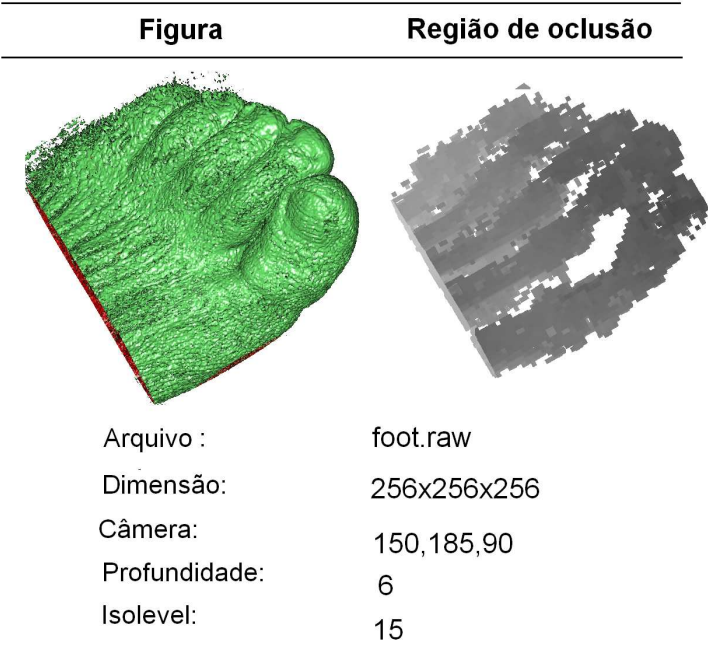


Figura 5.12: Dados do Foot.

numa octree de profundidade 7, verificando a visibilidade até o nível 6, conforme nos mostra a tabela 5.4.

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,296	0,296	0,296
Teste de visibilidade:	0,375	0,141	0,078
Marching Cubes:	6,25	6,311	7,031
Total:	6,921	<b>6,75</b>	7,406
Triângulos:	1.739.143	1.864.009	2.061.062
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,047	0,062	
Teste de visibilidade:	0,078	0,032	
Marching Cubes:	7,453	8,203	
Total:	7,578	8,296	
Triângulos:	2.184.169	2.388.112	

Tabela 5.4: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Foot.

5.5  
Ppm

O dado volumétrico Ppm é extenso e possui 1,179 GB. Utilizamos duas posições de câmera onde podemos visualizar o Ppm de frente e de lado, e mostrar a eficiência do ocluder para este exemplo.

5.5.1  
Frente

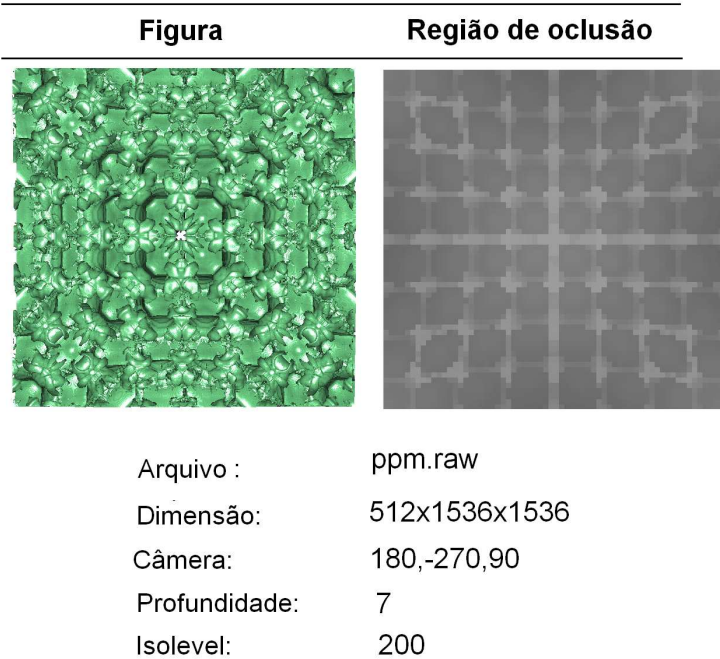


Figura 5.13: Dados do Ppm (frente).

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,391	
Teste de visibilidade:	0,405	
Marching Cubes:	127,235	
Total:	128,031	198,483
Número de faces renderizadas:	30.178.366	49.181.578
Redução do tempo total:	36%	
Redução do número de faces:	39%	

O melhor tempo obtido para este modelo foi numa octree de profundidade 7, verificando a visibilidade até o último nível, conforme nos mostra a tabela 5.5.

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,391	0,391	0,391
Teste de visibilidade:	0,405	0,171	0,109
Marching Cubes:	127,235	151,766	193,656
Total:	<b>128,031</b>	152,328	194,156
Triângulos:	30.178.366	36.205.689	46.560.371
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,078	0,063	
Teste de visibilidade:	0,094	0,031	
Marching Cubes:	200,000	230,906	
Total:	200,172	231,00	
Triângulos:	42.107.976	48.391.508	

Tabela 5.5: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Ppm.

5.5.2  
Lado

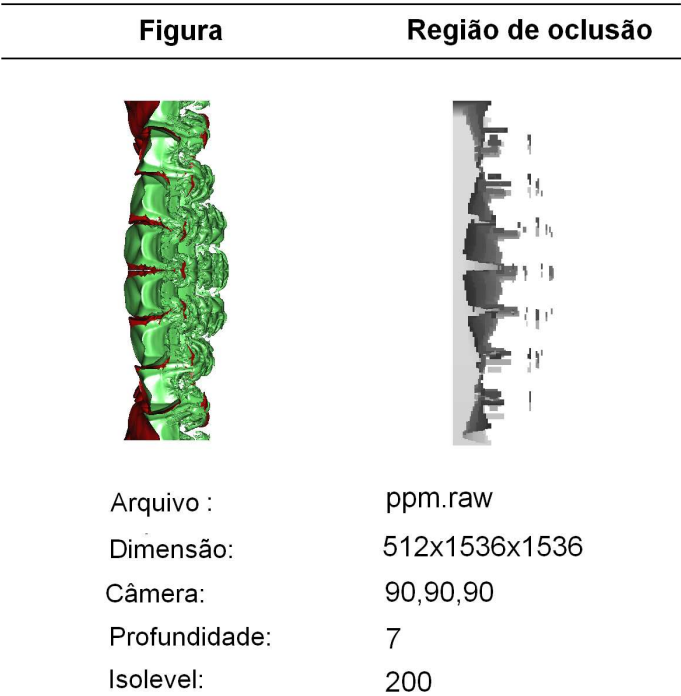


Figura 5.14: Dados do Ppm (Lado).

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,36	
Teste de visibilidade:	0,671	
Marching Cubes:	152,266	198,406
Total:	153,297	198,406
Número de faces renderizadas:	36.855.781	49.181.578
Redução do tempo total:		23%
Redução do número de faces:		26%

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,36	0,359	0,359
Teste de visibilidade:	0,671	0,202	0,093
Marching Cubes:	152,266	169,141	190,860
Total:	<b>153,297</b>	169,702	190,312
Triângulos:	36.855.781	42.956.213	48.420.702
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,062	0,079	
Teste de visibilidade:	0,109	0,046	
Marching Cubes:	213,610	220,563	
Total:	213,781	220,688	
Triângulos:	47.375.548	48.887.798	

Tabela 5.6: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Ppm (lado).

## 5.6

### Teddy Bear

Imagem de um urso de pelúcia com dimensões 64 x 128 x 128.

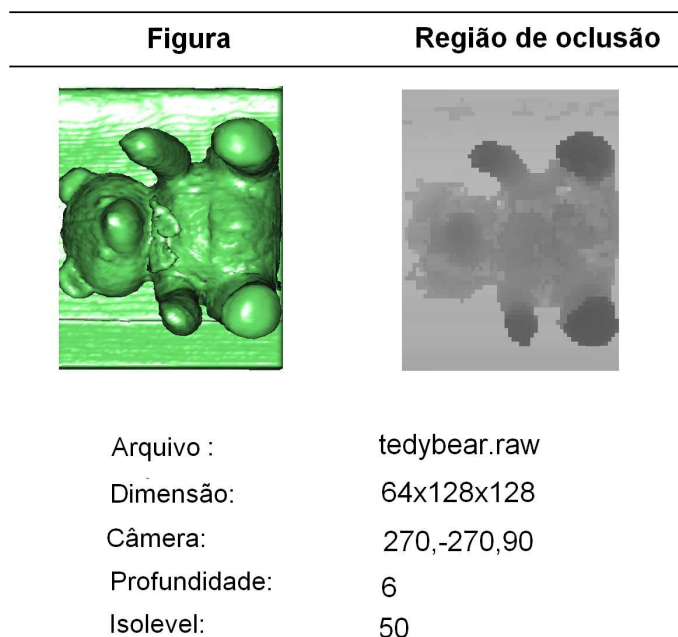


Figura 5.15: Dados do Teddy Bear.

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,032	
Teste de visibilidade:	0,031	
Marching Cubes:	0,515	0,639
Total:	0,579	0,639
Número de faces renderizadas:	127.604	168.904
Redução do tempo total:	10%	
Redução do número de faces:	24%	

Note que para a profundidade 7, o tempo gasto no Marching Cubes com/sem ocluder foi de 0,469 e 0,828 respectivamente. No entanto, o tempo gasto na região de oclusão e no teste de visibilidade, fez com que o tempo total com ocluder ficasse maior do que o tempo sem ocluder. Na tabela 5.7, podemos verificar que o melhor tempo de renderização do TeddyBear foi obtido numa octree de profundidade 6, verificando a visibilidade até o nível 5.

Podemos notar pela figura 5.16 que já na profundidade 6 temos uma boa região de oclusão, não sendo necessário refinar o ocluder.

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,204	0,217	0,202
Teste de visibilidade:	0,264	0,094	0,063
Marching Cubes:	0,469	0,500	0,561
Total:	0,938	0,811	0,828
Triângulos:	95.841	106.104	122.210
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,047	0,032	
Teste de visibilidade:	0,078	0,031	
Marching Cubes:	0,469	0,515	
Total:	0,593	<b>0,579</b>	
Triângulos:	116.603	127.604	

Tabela 5.7: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Teddy Bear.

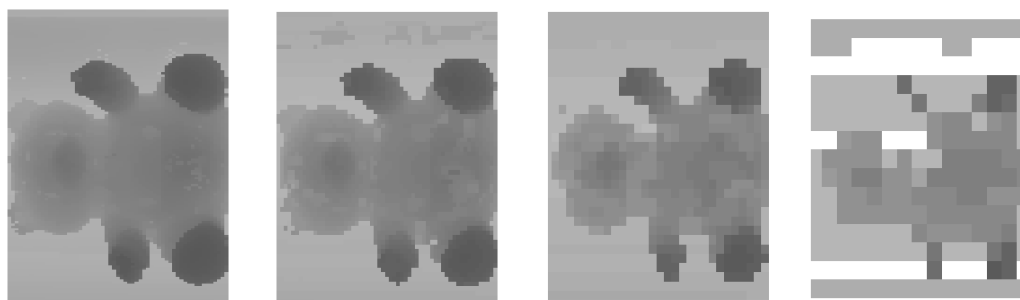


Figura 5.16: Regiões de oclusão para os níveis 7,6,5 e 4 respectivamente.

## 5.7

### Skull

Imagem gerada através da radiografia de um crânio humano.

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,250	
Teste de visibilidade:	0,375	
Marching Cubes:	6,578	7,282
Total:	7,203	7,282
Número de faces renderizadas:	1.812.836	1.990.867
Redução do tempo total:		2%
Redução do número de faces:		9%

Neste caso, o ocluder obtido na profundidade 7 não é de boa qualidade e a redução das faces foi mínima. Já na profundidade 6, não há região de oclusão e na tabela 5.8 podemos verificar que a quantidade de triângulos renderizados



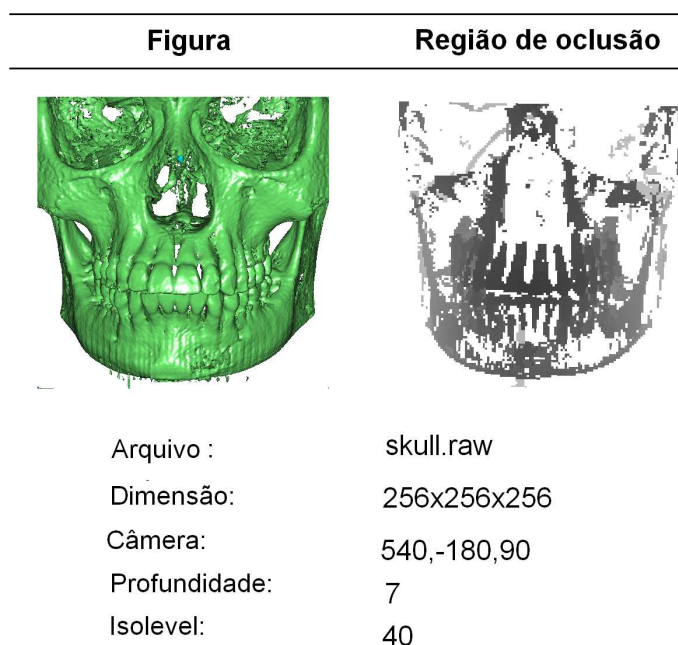


Figura 5.17: Dados do Skull

é exatamente o total de faces.

Mapa de oclusão		Teste de visibilidade	
Profundidade 7	Nível 7	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,25	0,25	0,234
Teste de visibilidade:	0,375	0,171	0,094
Marching Cubes:	6,578	7,079	7,203
Total:	<b>7,203</b>	7,5	7,531
Triângulos:	1.812.836	1.954.789	1.989.478
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5	
Construção da reg. de ocl.:	0,047	0,047	
Teste de visibilidade:	0,078	0,046	
Marching Cubes:	7,203	7,188	
Total:	7,328	7,281	
Triângulos:	1.990.867	1.990.867	

Tabela 5.8: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Skull.

## 5.8

### Neghip

Imagem de uma simulação da distribuição espacial dos elétrons numa molécula de proteína.

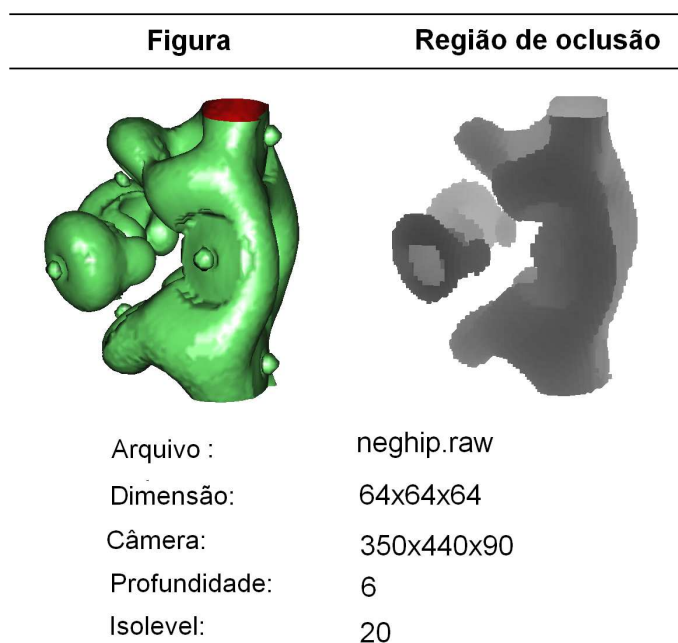


Figura 5.18: Dados do Neghip

Com ocluder		Sem ocluder
Construção da reg. de ocl.:	0,047	
Teste de visibilidade:	0,016	
Marching Cubes:	0,125	0,18
Total:	0,202	0,18
Número de faces renderizadas:	33.392	44.520

Mapa de oclusão	Teste de visibilidade	
Profundidade 6	Nível 6	Nível 5
Construção da reg. de ocl.:	0,032	0,047
Teste de visibilidade:	0,062	0,016
Marching Cubes:	0,141	0,125
Total:	0,235	<b>0,202</b>
Triângulos:	29.521	33.392

Tabela 5.9: Comparação dos tempos para diferentes níveis de visibilidade do Neghip.

Para este exemplo, obtivemos o melhor tempo numa octree de profundidade 6, verificando a visibilidade até o nível 5, no entanto, este tempo foi maior do que sem ocluder. Devido ao tamanho do dado e à pouca região de

oclusão, os tempos de construção da região de oclusão e do teste de visibilidade oneraram o tempo total com ocluder.