

## 5 Resultados

O método proposto foi implementado utilizando a linguagem C++ e OpenGL, além da arquitetura CUDA, realizando o processamento na placa gráfica. Foi desenvolvido um *plugin* para o sistema de visualização de dados sísmicos v3o2. Esse sistema é mantido através de uma parceria entre o laboratório Tecgraf da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e a Petrobras, aliando pesquisa e desenvolvimento para propor novas soluções na área de sísmica.

Nas seções a seguir são apresentados e discutidos os resultados do método proposto. É realizada uma comparação utilizando o visualizador volumétrico do sistema v3o2, o qual realiza a iluminação baseando-se no modelo de Phong. As diferenças entre os efeitos da iluminação gerada nos volumes sendo visualizados são analisadas, mostrando os benefícios que a iluminação global proporciona e, conseqüentemente, a melhoria na qualidade da interpretação dos dados.

A análise da qualidade dos resultados obtidos é realizada na Seção 5.1. A comparação com a visualização volumétrica do sistema v3o2 é discutida na Seção 5.2. Na Seção 5.3 é abordada a influência dos parâmetros utilizados no método proposto. A análise do desempenho computacional do algoritmo implementado é apresentada na Seção 5.4.

### 5.1 Qualidade

As imagens apresentadas nesse capítulo foram renderizadas em uma resolução de 1330 x 930 utilizando buffers com precisão de 32 bits. Cada raio foi discretizado por 1000 amostras, com o intervalo de oclusão de uma unidade. Com isso, para cada amostra na trajetória do raio era atualizado o valor da oclusão.

Os resultados apresentados foram gerados através de volumes sísmicos com até 700 megabytes, mas já foram realizados testes com volume acima de 1 gigabyte. Devido a necessidade de se alocar todo o volume na placa gráfica, as dimensões do volume visualizado dependem da capacidade da placa de vídeo.

Como pode ser observado, a geometria do dado sísmico é bem delineada na Figura 5.1, onde são identificadas superfícies que indicam a presença de horizontes sísmicos. Nesse dado há pouca presença de ruído e as superfícies são bem definidas. A grade regular de inline, crossline e tempo apresenta dimensões de 101, 201 e 176 voxels, respectivamente. Foi utilizado um ângulo de abertura de influência à oclusão de 65 graus.

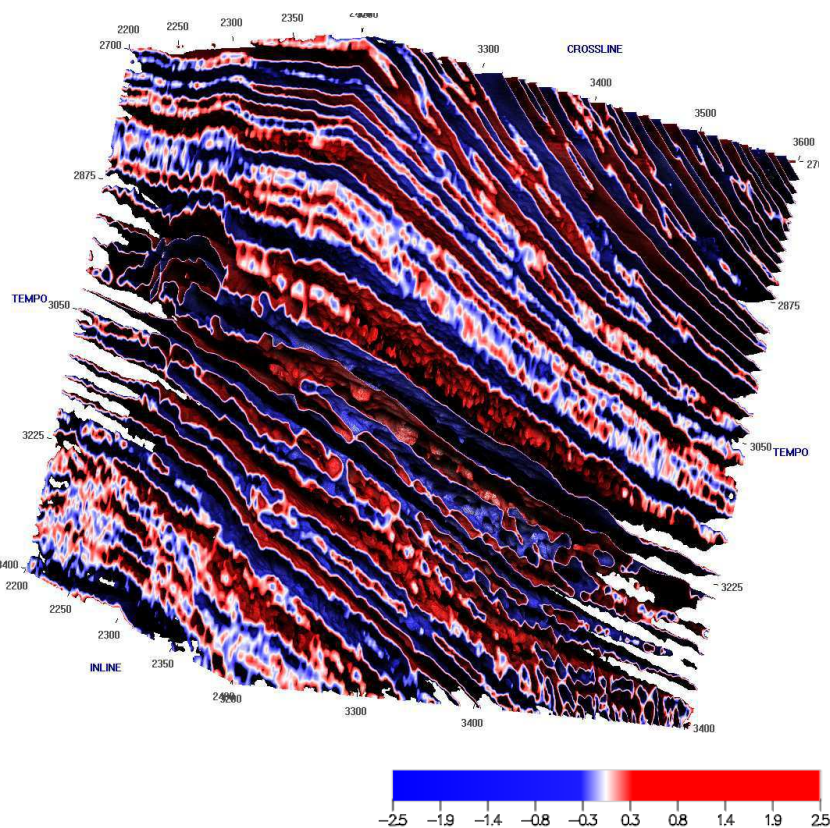


Figura 5.1: Dado sísmico onde as regiões de amplitudes positivas são representadas em vermelho, e as de amplitudes negativas pela cor azul.

Na Figura 5.2 é visualizado o mesmo dado, com os valores quantizados e representados por 8 bits. Além disso, a função de transferência foi definida de forma a representar a cor verde na maior parte da faixa dos valores visíveis no volume. Nessa figura são realçadas as concavidades no dado, com uma cor mais escura do que as superfícies expostas à luz, devido ao efeito de sombra causado pelos elementos opacos na trajetória da luz ambiente. Dessa forma, são evidenciadas ainda as curvas e rugosidades nas superfícies, indicadas pela tonalidade diferente da cor, afetada em razão dos diferentes níveis de penumbra. Para gerar a iluminação nesse modelo foi utilizada a abertura do cone de influência da oclusão de 75 graus, usando o intervalo de oclusão de 2 amostras.

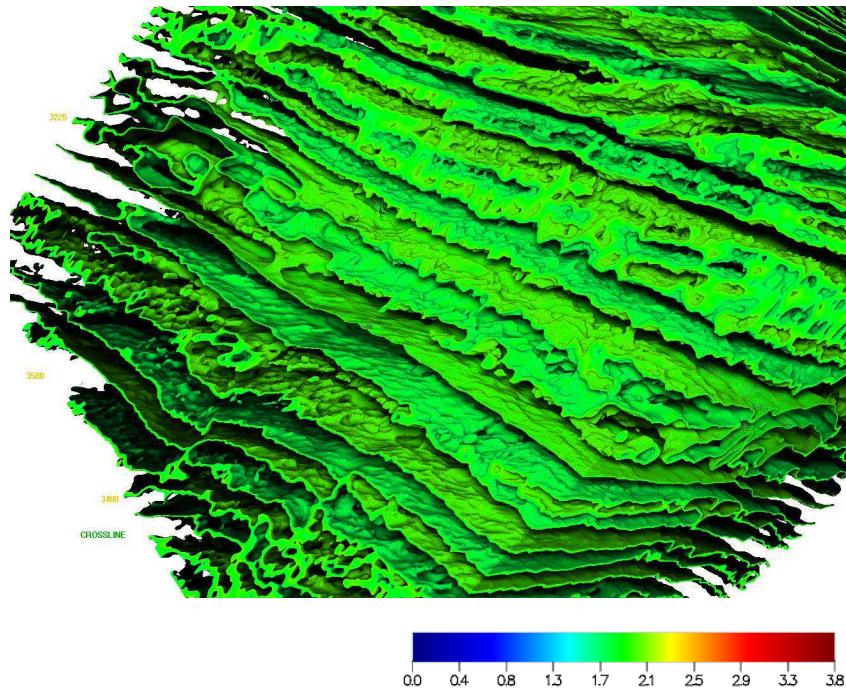


Figura 5.2: Visualização aproximada destacando as concavidades no dado.

Na Figura 5.3, é visualizado com precisão de 32 bits, o dado que possui as maiores dimensões entre os resultados apresentados. De acordo com a função de transferência definida, são destacadas regiões de alta amplitude. Diferentemente do primeiro dado, neste as superfícies são mais horizontais, possuindo uma ondulação maior apenas no lado inferior esquerdo da figura. Para gerar essa iluminação a abertura do cone de influência da oclusão foi de 75 graus com intervalo de oclusão de 1 amostra.

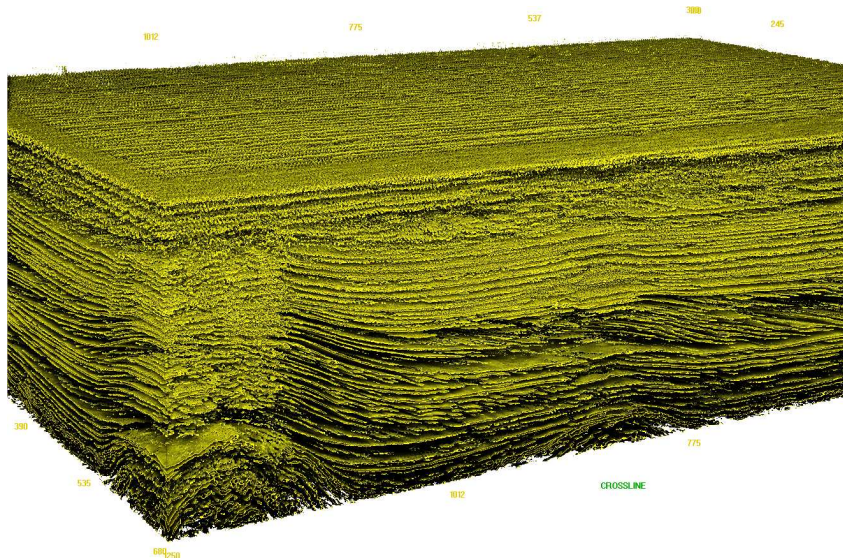


Figura 5.3: Dado sísmico com uma grade de 581 x 951 x 324.

## 5.2

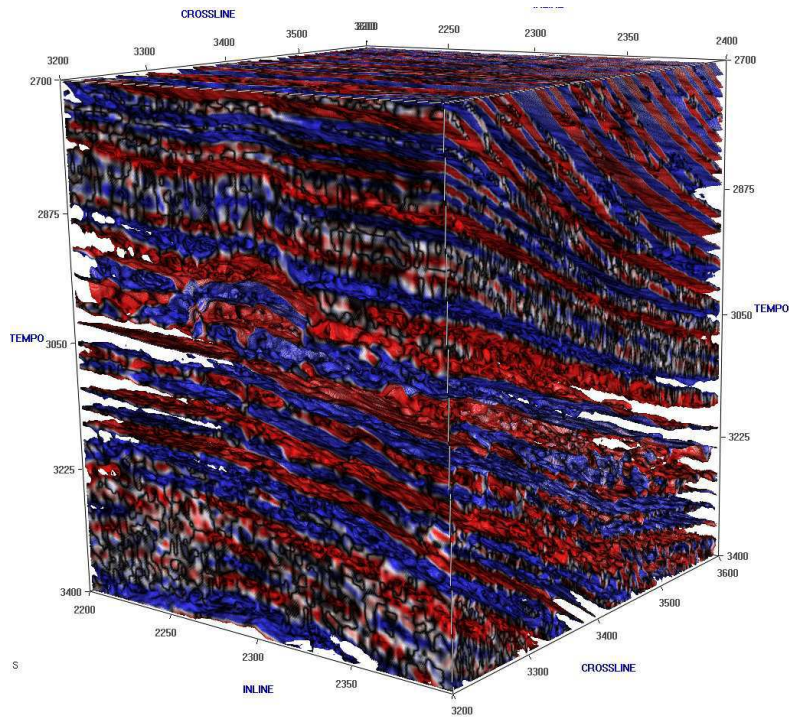
### Comparação

A fim de se verificar os efeitos da utilização de iluminação global na visualização dos dados sísmicos, foi realizada a comparação entre o *plugin* desenvolvido e o visualizador volumétrico do sistema v3o2. Esse visualizador utiliza a abordagem baseada na renderização de fatias e realiza a iluminação segundo o modelo de Phong, utilizando o gradiente da amplitude sísmica para estimar a normal em cada voxel.

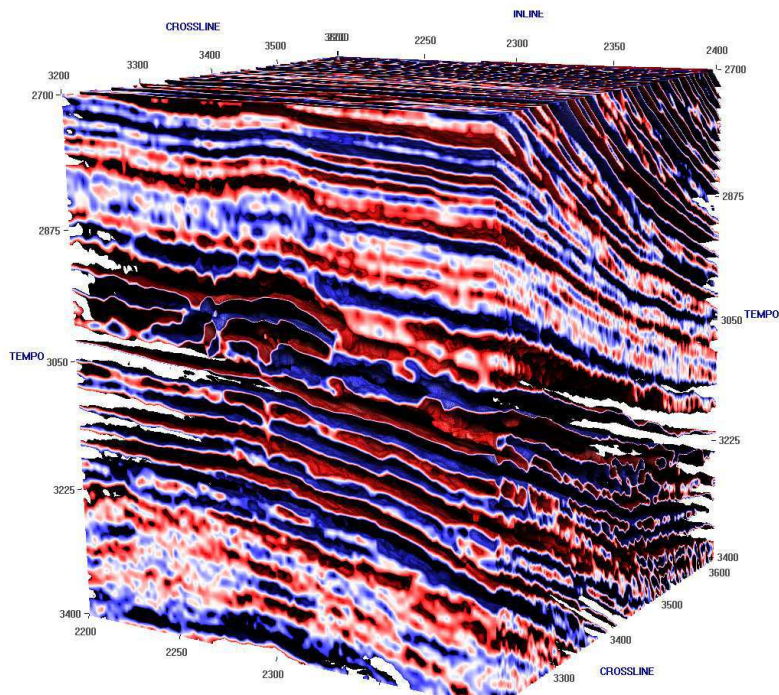
Somente dados com uma representação de 8 bits podem ser visualizados no visualizador volumétrico do sistema v3o2. Dessa forma, a comparação dos dados de 8 bits nos dois visualizadores fornece maiores indicações das melhorias utilizando o método proposto, uma vez que nesse caso, as funções de transferência mapeiam os mesmos valores em ambos os visualizadores. Posteriormente foi utilizada a representação de 32 bits a fim de se ressaltar as melhorias que a precisão adicional proporciona.

Nas Figuras 5.4 e 5.5 são visualizados os volumes em ambos os visualizadores. Em virtude da dificuldade de se estimar o campo de normais no dado sísmico, a visualização utilizando o modelo de iluminação de Phong apresenta muitos artefatos, dificultando a análise do dado. Já para o dado visualizado com o método proposto, não são necessárias normais para realizar a iluminação; somente é calculado o quanto de luz ambiente atinge determinado ponto.

A visualização segundo o método proposto fornece uma boa representação das camadas presentes no dado, além de conseguir definir mais precisamente os detalhes na geometria da superfície, sem a necessidade de inserir elementos à visualização, proveniente de estimativas. Foi utilizado um ângulo de abertura do cone de influência à oclusão de 65 graus, com intervalo de oclusão de 1 e 1000 amostras para discretizar o raio que avalia a integral do modelo de iluminação.



(a)



(b)

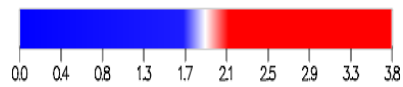
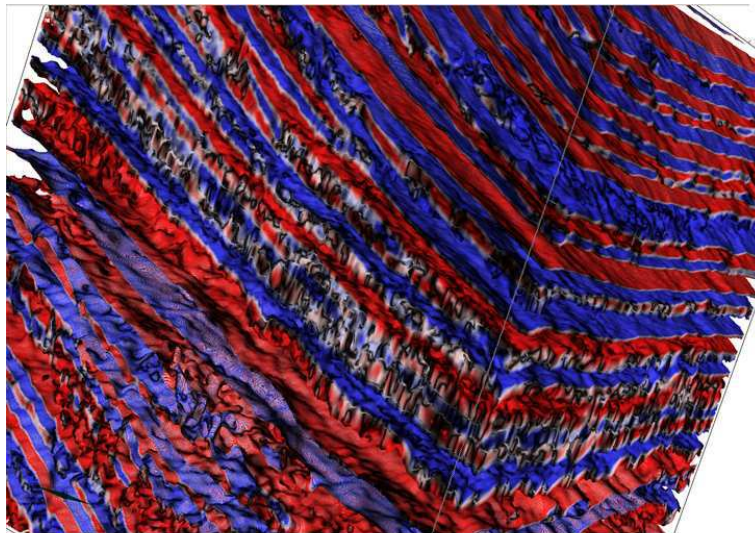
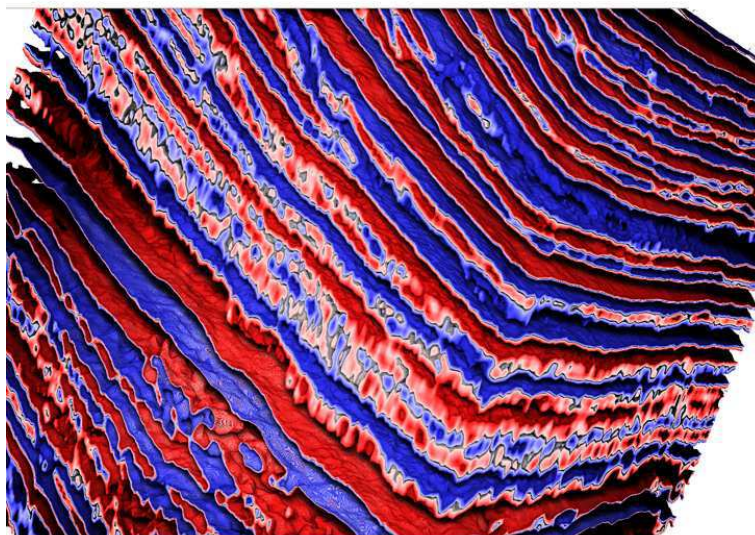


Figura 5.4: Visualização utilizando a) iluminação segundo o modelo de Phong; b) método proposto.



(a)



(b)

Figura 5.5: Visualização aproximada do dado utilizando a) iluminação de Phong; b) método proposto.

Na Figura 5.6 é mostrado o mesmo dado, mas com uma representação por 32 bits. São utilizadas as mesmas configurações de parâmetros que na visualização do dado com 8 bits, diferenciando apenas os valores mapeados pela função de transferência.

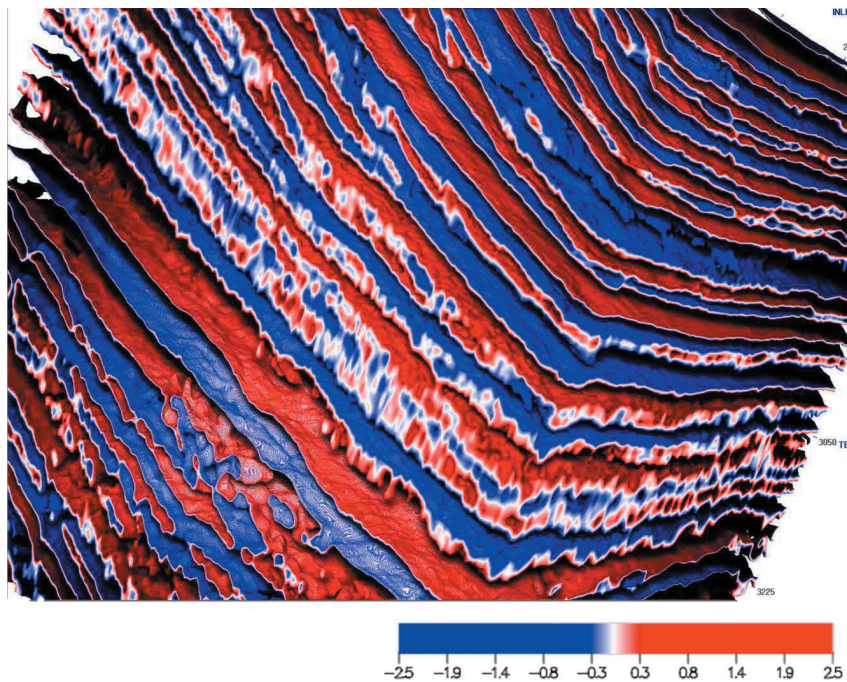


Figura 5.6: Dado representado por 32 bits sendo iluminado segundo o método proposto.

Por fim, para comparar as características dos dois modelos de iluminação atuando em uma superfície isolada, foi escolhida uma configuração para a função de transferência de forma a se visualizar apenas uma região de baixa amplitude.

As Figuras 5.7 e 5.8 mostram que a visualização segundo o modelo de Phong se adapta melhor a esse tipo de situação do que no caso anterior, conseguindo fornecer uma boa representação da orientação da superfície, apesar de não conseguir dar uma boa noção de espaço nas duas superfícies sobrepostas. Além disso, observa-se que o método proposto consegue realçar bem a geometria da superfície, o que pode ser melhor visualizado na representação por 32 bits na Figura 5.9. As imagens geradas segundo o método proposto foram parametrizadas com os valores de 80 graus para o ângulo de abertura do cone de influência à oclusão, intervalo de oclusão de 1 e 1000 amostras para discretizar o raio que avalia a integral do modelo de iluminação.

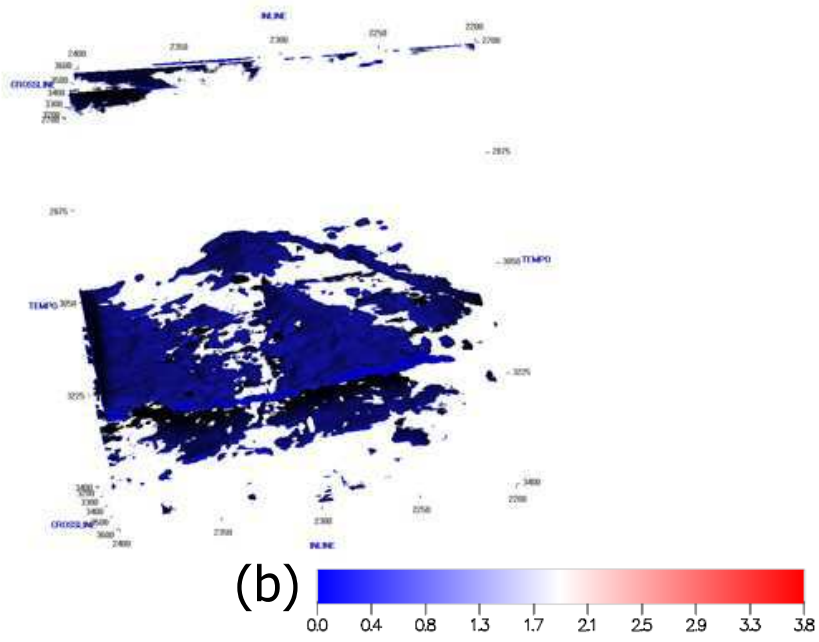
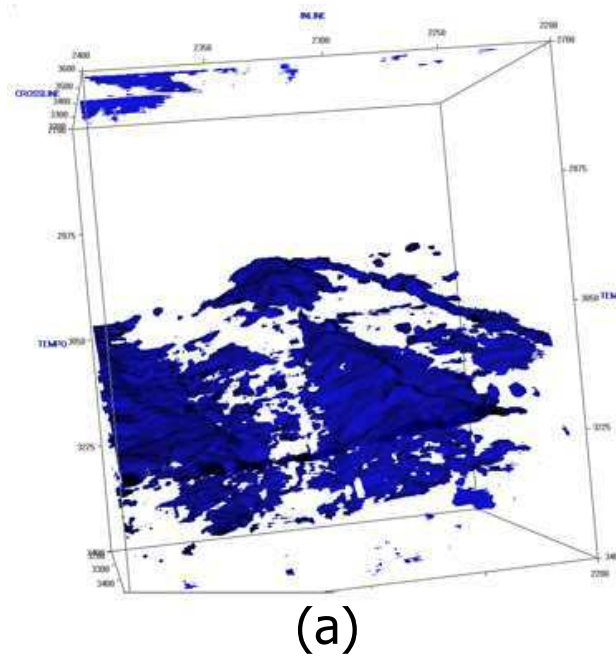


Figura 5.7: Visualização utilizando a) iluminação segundo o modelo de Phong; b) método proposto.



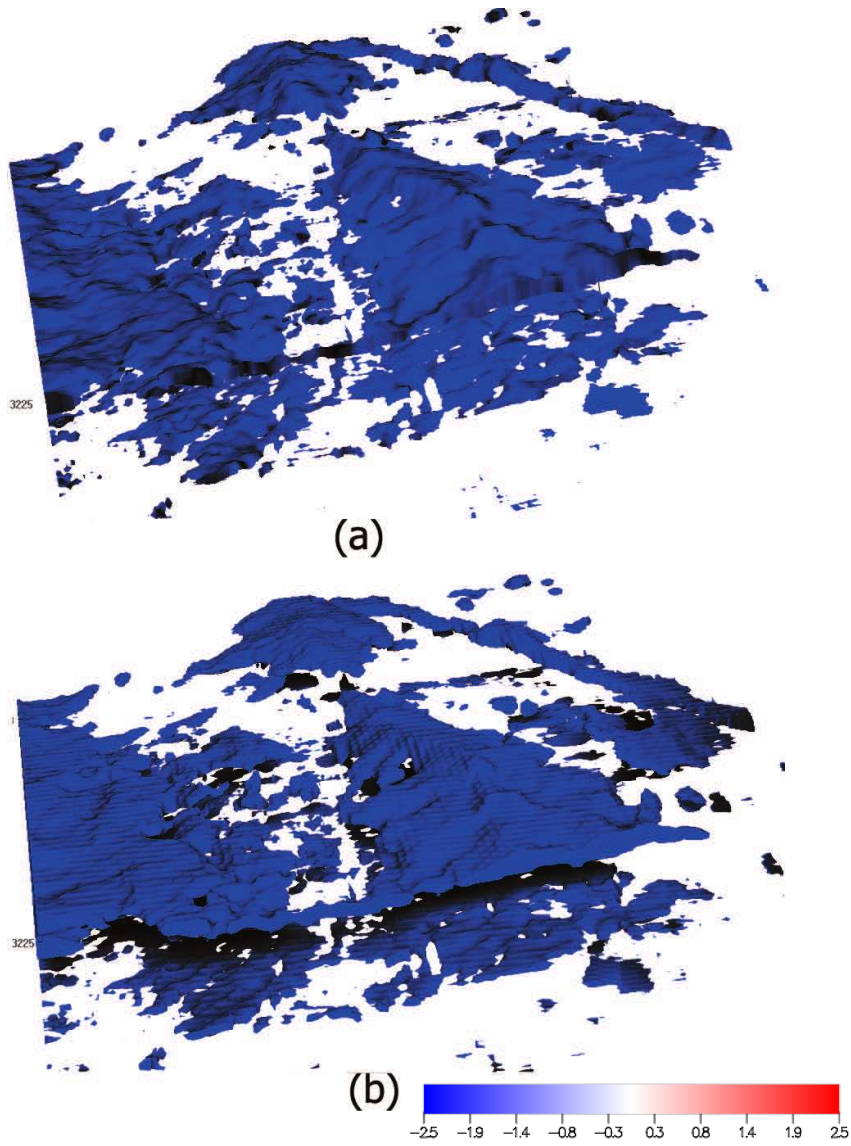


Figura 5.8: Zoom no modelo, iluminado em a) segundo o modelo de Phong; b) com o método proposto.

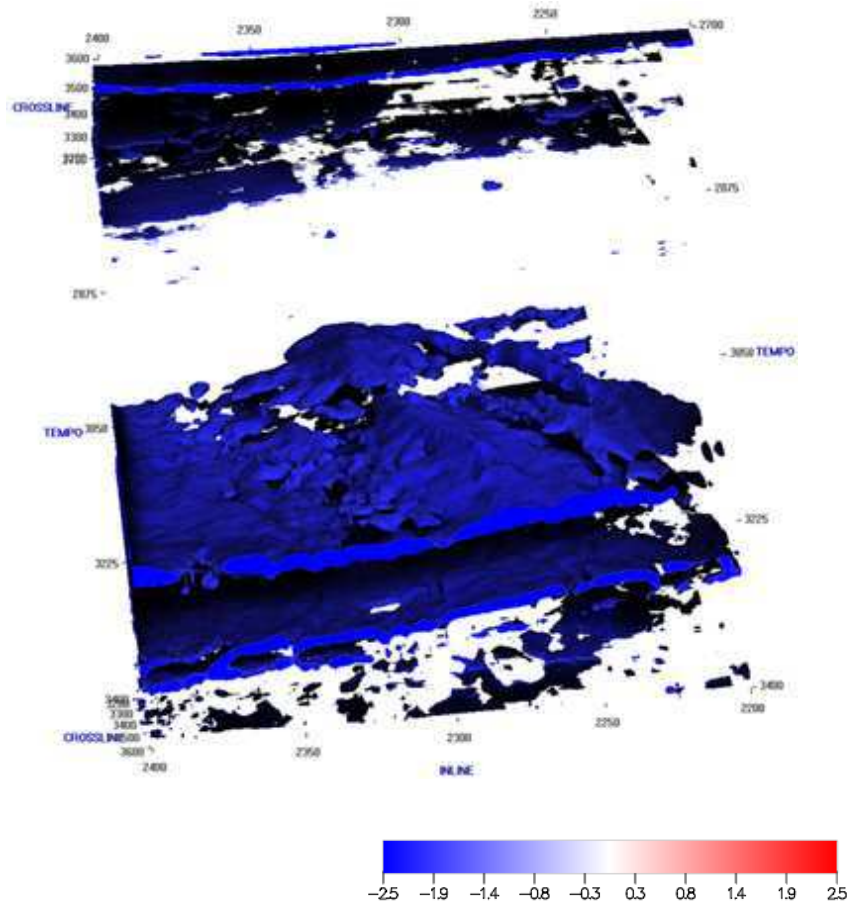
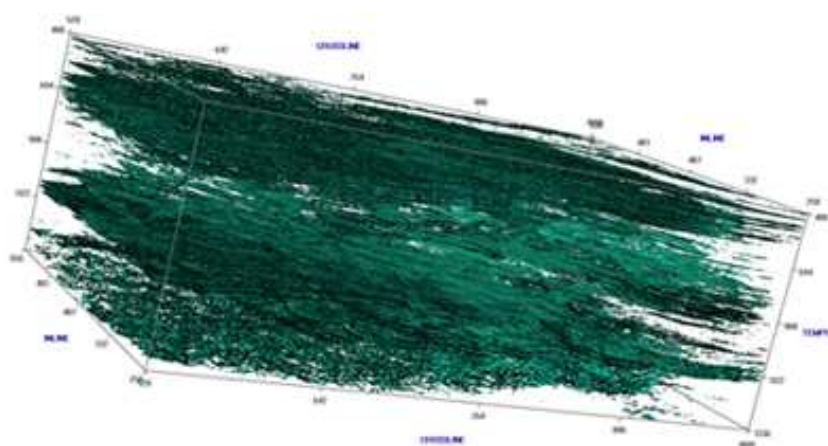


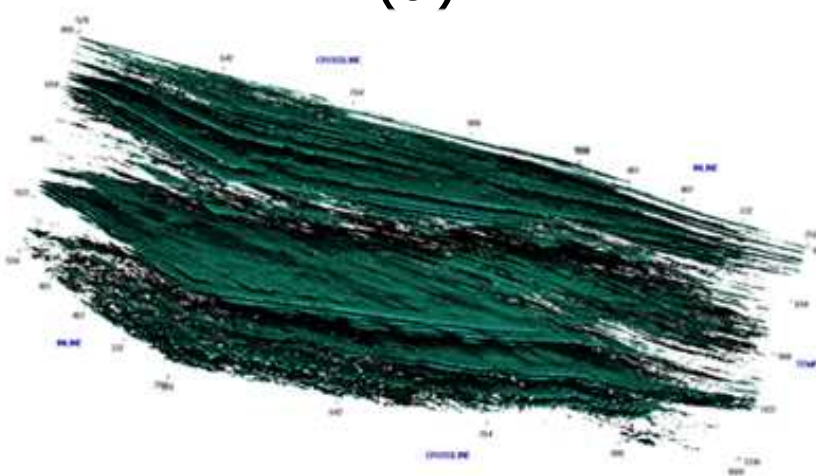
Figura 5.9: Dado representado por 32 bits sendo iluminado segundo o método proposto.

A combinação de técnicas de iluminação global com o modelo de iluminação de Phong já foi bem sucedida em outros domínios de estudo. A junção dessas duas técnicas poderia ser explorada em sismica utilizando o recente trabalho de Martins et al [11], o qual calcula como passo intermediário de sua técnica um campo de normais gerado a partir de atributos sísmicos, estimando de forma mais precisa a normal para cada voxel do volume.

O modelo visualizado nas Figuras 5.10 e 5.11 possui dimensões de 299x490x215 voxels. Devido a grande presença de ruído, nesse modelo se torna bastante difícil a extração de uma superfície isolada, sendo ainda mais vidente as melhorias que a iluminação global proporciona em relação a iluminação de Phong. Os parâmetros utilizados foram 65 graus para o ângulo de abertura do cone, intervalo de 1 amostra para atualizar o buffer de oclusão e 1000 amostra por raio a serem avaliadas a integral do modelo de iluminação.



(a)



(b)

Figura 5.10: Visualização utilizando a) iluminação segundo o modelo de Phong; b) método proposto.

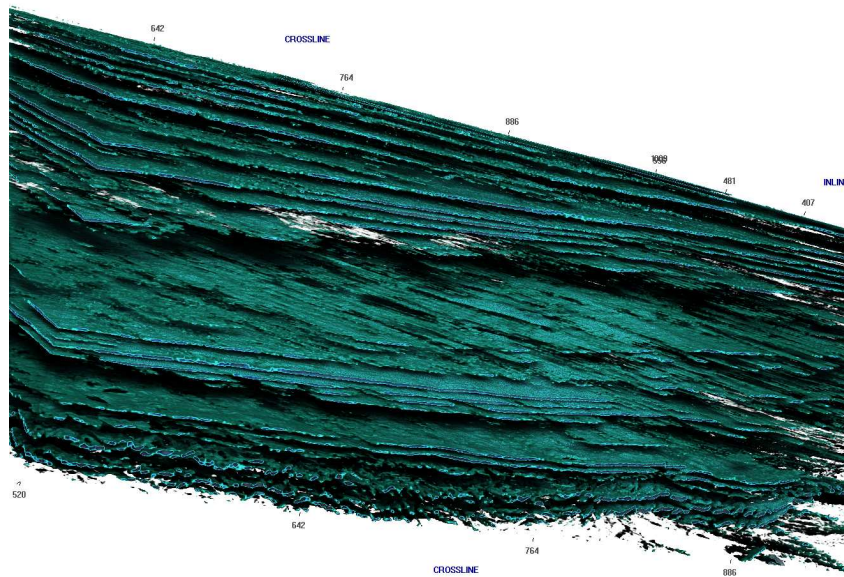


Figura 5.11: Detalhes na geometria do dado, representado por 32 bits e iluminado segundo o método proposto.

### 5.3 Influência dos parâmetros

Nesta seção serão apresentados e discutidos os efeitos resultantes da manipulação dos parâmetros do método proposto, detalhados no capítulo anterior. Serão exibidas figuras que mostram apenas a oclusão acumulada no buffer de oclusão, após todos os raios atravessarem o volume, mostrando a atuação direta dos parâmetros na oclusão.

#### 5.3.1 Função de transferência

Na Figura 5.12, são visualizadas discontinuidades na superfície, que indicam a presença de falhas no dado sísmico. Através da manipulação da função de transferência associada a esse dado, alterando a opacidade dos elementos para apenas mostrar os valores de baixa amplitude, pode-se obter a visualização ilustrada na Figura 5.13. Essas figuras foram obtidas a partir da visualização aproximada do modelo da Figura 5.3, utilizando 1000 amostra para discretizar o raio de avaliação da integral do modelo de iluminação, intervalo de atualização da oclusão de 1 e ângulo de abertura do cone de influência à oclusão de 75 graus para a primeira imagem e 45 graus para a segunda.

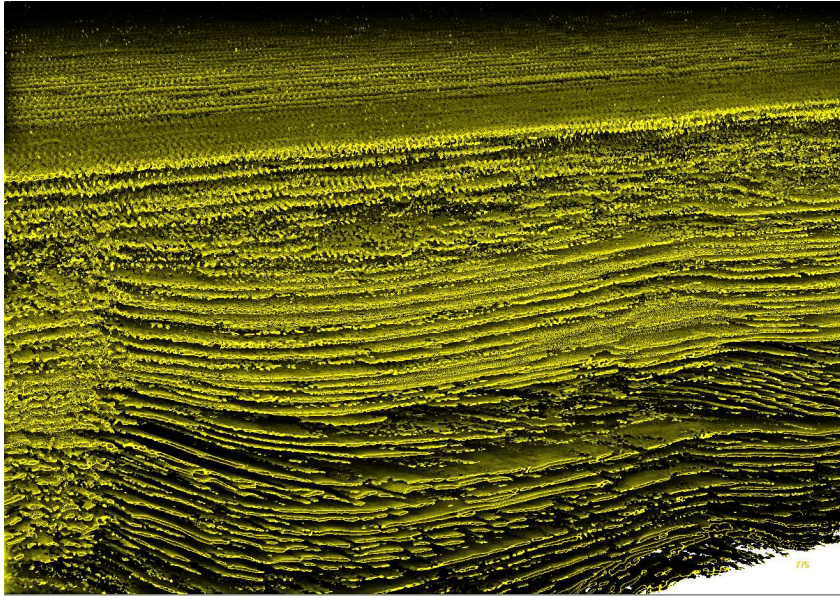


Figura 5.12: Visualização de falhas e buracos nas superfícies.

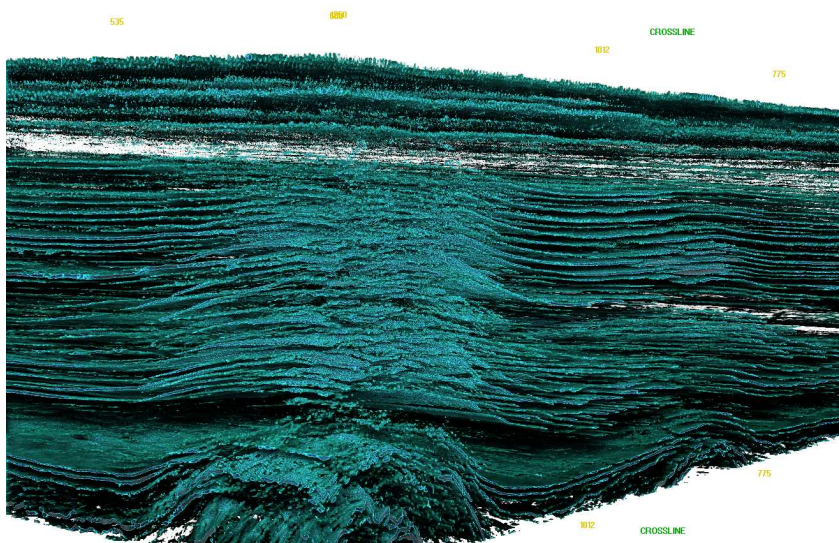


Figura 5.13: Função de transferência definida de forma a se visualizar regiões de baixa amplitude no dado.

### 5.3.2

#### Intervalo de atualização da oclusão

O intervalo em que o buffer de oclusão deve ser atualizado permite que seja aproximada a oclusão no modelo de forma mais eficiente. Utilizando-se um intervalo maior que um, apenas a primeira amostra no intervalo de oclusão terá sua estimativa realizada de forma correta, e as demais amostras no intervalo vão possuir o mesmo fator de visibilidade calculado para a primeira.

As Figura 5.14 mostra os efeitos causados segundo a variação do intervalo de oclusão, em (a) é utilizado intervalo igual a 1, calculando a oclusão para cada amostra do raio, em (b) o intervalo é de 2 amostras, em (c) 5 amostras e em (d) a atualização é realizada de 10 em 10 amostras. As oclusões acumuladas relativa a esses mesmos modelos são apresentadas na Figura 5.15. Para gerar essa iluminação a abertura do cone de influência da oclusão foi de 70 graus, utilizando 1000 amostras por raio.

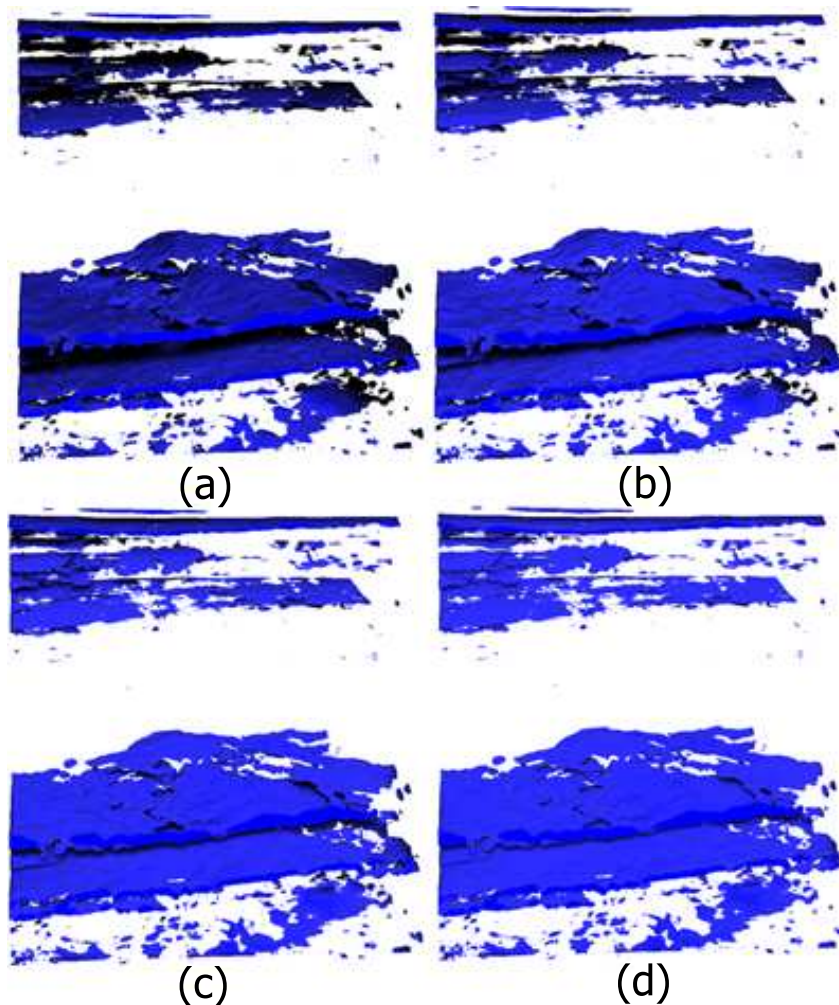


Figura 5.14: Efeitos causados segundo a variação do intervalo de oclusão, utilizando em a) intervalo igual a 1; b) intervalo de 2 amostras; c) intervalo de 5 amostras; d) intervalo de 10 amostras.

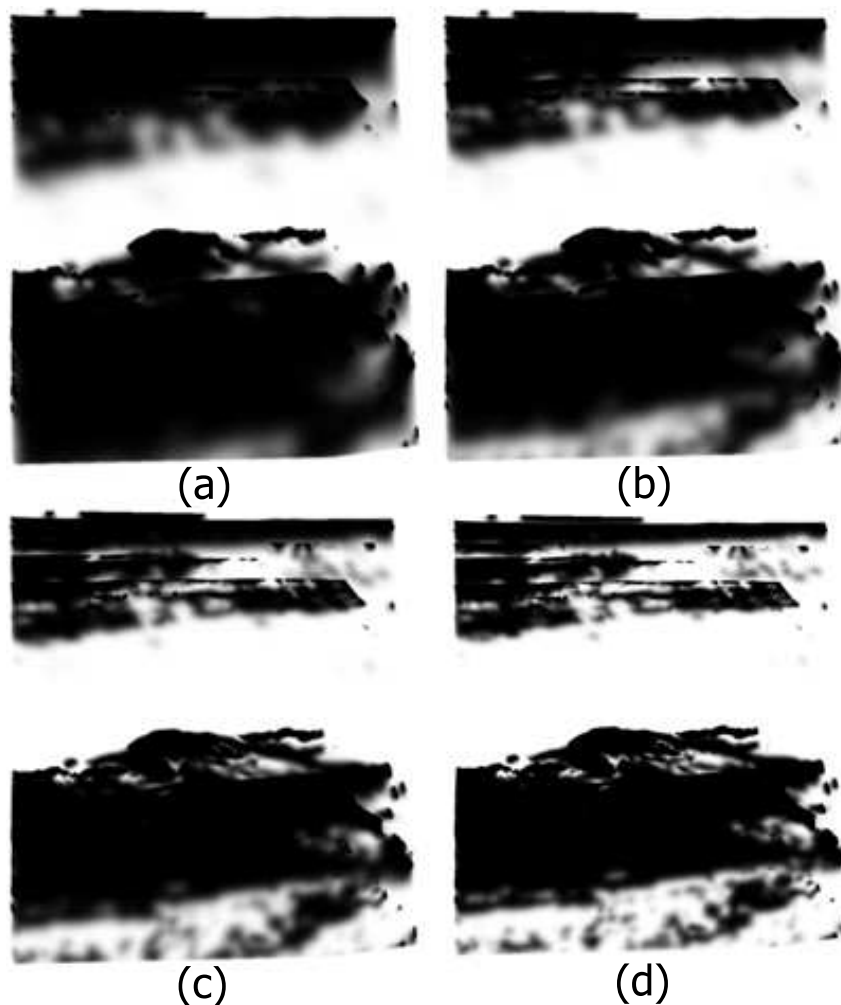


Figura 5.15: Efeitos causados ao buffer de oclusão segundo a variação do intervalo de oclusão, utilizando em a) intervalo igual a 1; b) intervalo de duas amostras; c) intervalo de 5 amostras; d) intervalo de 10 amostras.

### 5.3.3

#### Cone de avaliação da oclusão

O cone de avaliação da oclusão expressa o tamanho da vizinhança em que serão amostrados os elementos no buffer de oclusão na hora da acumulação do fator de visibilidade. Dessa forma, esse parâmetro permite que sejam utilizadas características mais locais ou mais gerais para se estimar a oclusão. Essa região é definida utilizando o ângulo de abertura ( $\theta$ ) da função de fase cônica. Para valores grandes de  $\theta$ , serão amostrados valores mais distantes, causadno uma maior variação na visualização, ocorrendo o inverso para valores pequenos de  $\theta$ .

A Figura 5.16 mostra um dado sísmico com ângulos de abertura de 45 e 85 graus. São exibidos tanto o volume sob efeito da iluminação quanto a

oclusão acumulada no buffer de oclusão. Foram utilizadas 1000 amostras por raio e intervalo de oclusão igual a 1.

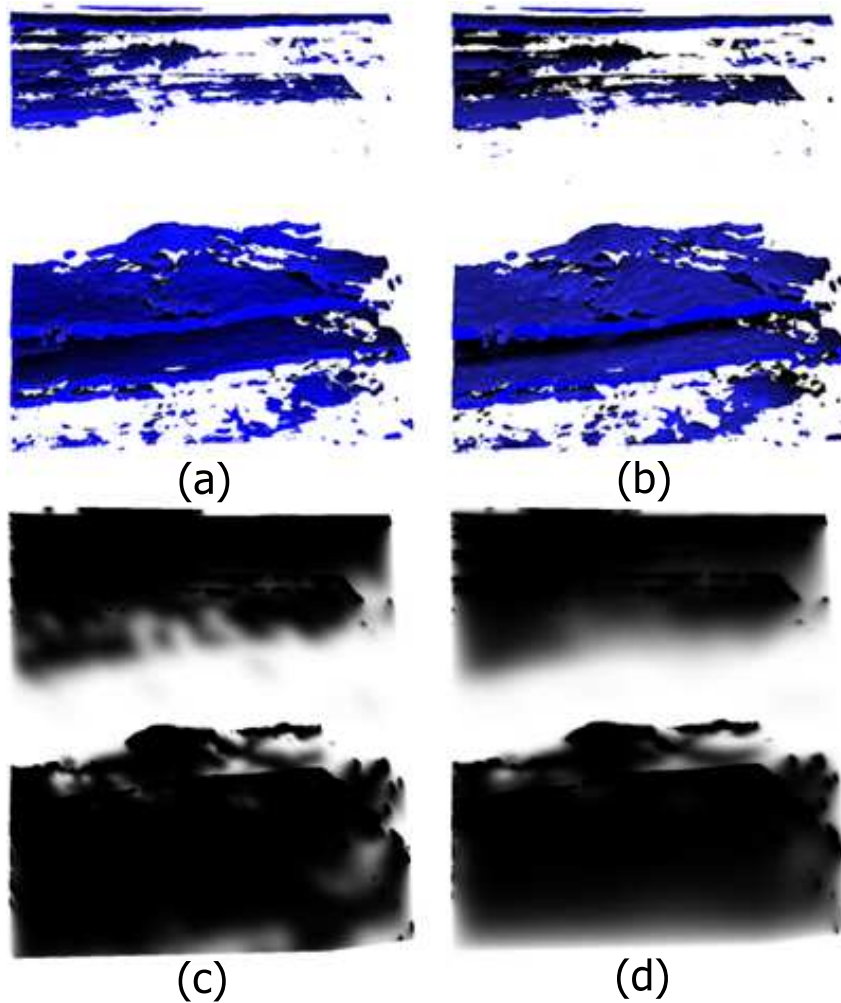


Figura 5.16: Efeitos causados através da manipulação do ângulo de abertura do cone de influência na oclusão. Em (a) e (b) são exibidas a iluminação utilizando  $\theta = 45^\circ$  e  $\theta = 85^\circ$ , respectivamente. Em (c) e (d) é visualizado são visualizados os efeitos desse parâmetro ao buffer de oclusão.

#### 5.3.4

##### Número de amostra por raio

O número de amostras por raio define a discretização da integral que avalia os efeitos da luz nas amostras do volume, permitindo balancear a eficiência e a qualidade visual alterando-se a quantidade de amostras por raio. O valor que agrega maior qualidade depende tanto das dimensões do dado quanto da frequência de seus valores, uma vez que a amostragem regular do dado pode não capturar o valor de todos os voxels.



As Figuras 5.17 e 5.18 representam o mesmo modelo da Figura 5.1 e ilustram a alteração da amostragem do raio em um dado sísmico, variando de 100 amostras em (a), 500 em (b), 697 em (c), que seria a soma das 3 dimensões da resolução e 1000 amostras em (d). São definidas duas funções de transferência diferentes em cada figura. Por ser um parâmetro intrínseco à visualização volumétrica, e não à oclusão, não será exibido o resultado da oclusão acumulada no buffer de oclusão. Para gerar a iluminação nessas figuras, a abertura do cone de influência da oclusão foi de 75 graus, e o intervalo de oclusão igual a 1.

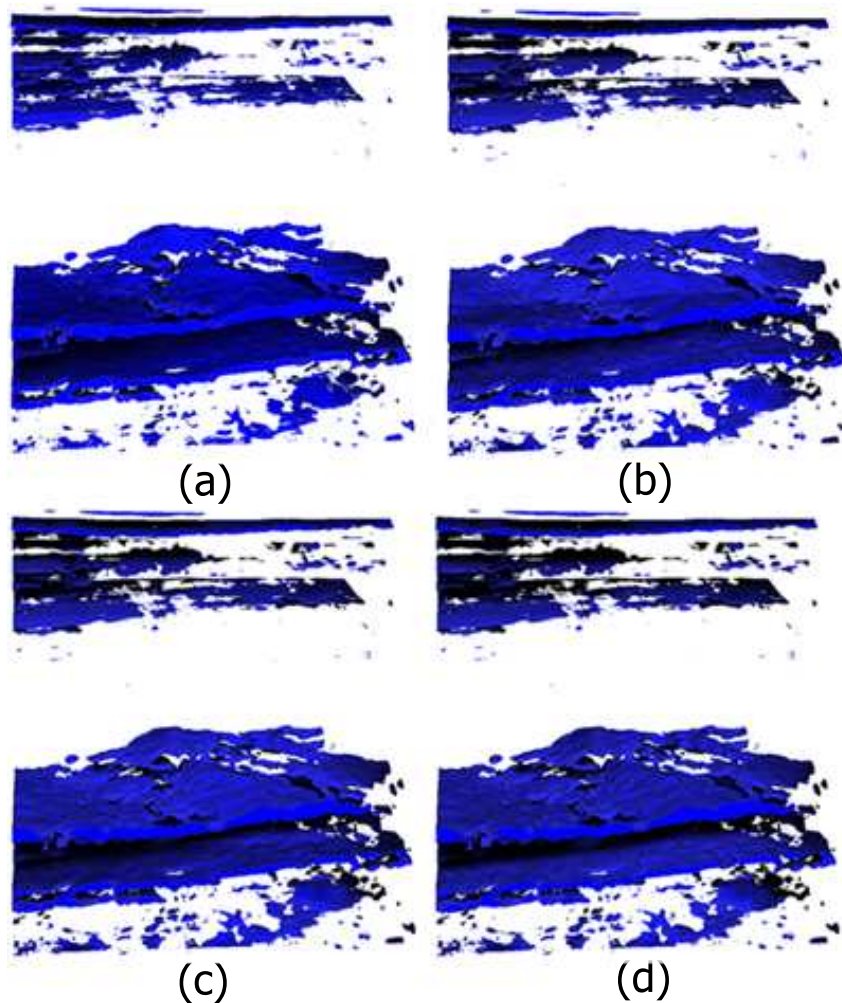


Figura 5.17: Visualização do dado utilizando a discretização da integral que avalia os efeitos da luz com a) 100 amostras; b) 500 amostras; c) 697 amostras; d) 1000 amostras.

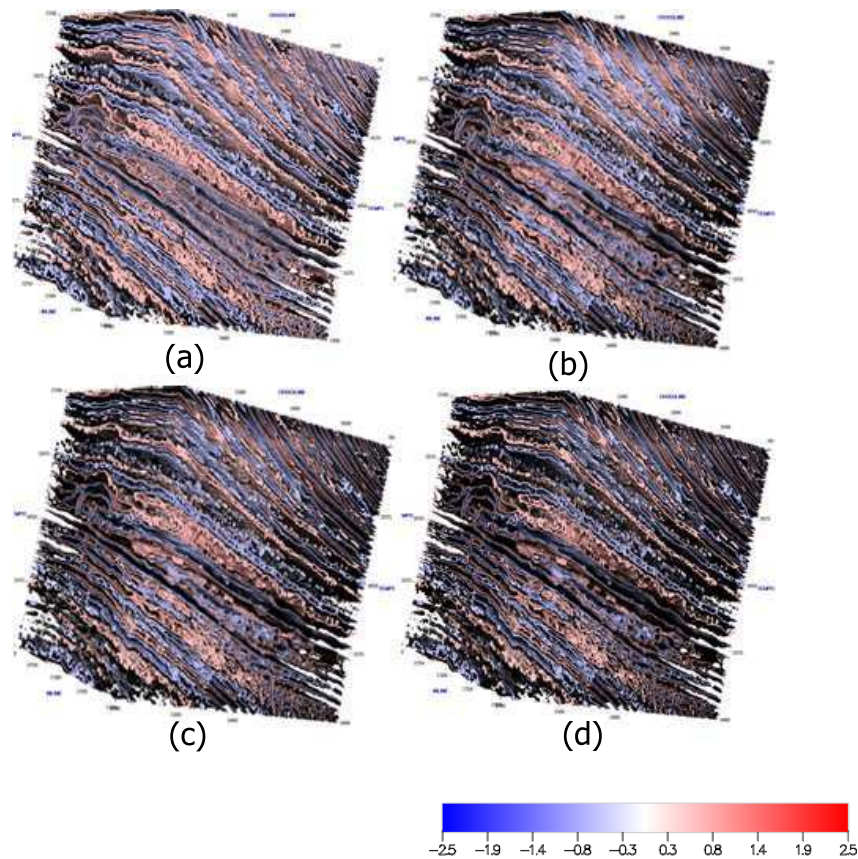


Figura 5.18: Visualização do dado, alterando-se sua função de transferência. A discretização da integral que avalia os efeitos da luz é realizada com a) 100 amostras; b) 500 amostras; c) 697 amostras; d) 1000 amostras.

#### 5.4 Análise de desempenho

A fim de mensurar o custo computacional do algoritmo implementado, foi analisado o desempenho da visualização volumétrica comparando-se tanto a visualização sem o cálculo de oclusão, quanto à visualização considerando o modelo de iluminação por oclusão direcional.

Na Subseção 5.4.1 foi abordada a queda na performance causada pela necessidade de se interromper múltiplas vezes o kernel Cuda, a fim de garantir pontos de sincronismo entre todas as threads. O impacto do cálculo da oclusão, foi apresentado na Subseção 5.4.2. Sendo analisada a utilização de diferentes resoluções de tela na Subseção 5.4.3.

Os testes e medições de tempo das subseções a seguir foram efetuados em uma máquina com processador Intel Core i7 de 3.3 GHz, com 24GB de memória RAM utilizando uma placa de vídeo Nvidia GeForce GTX 580.

### 5.4.1

#### Interrupção do kernel Cuda

Devido à necessidade de se ter pontos de sincronização dos raios (representados pelas threads do Cuda), para se realizar o cálculo dos fatores de visibilidade utilizados na iluminação da cena, foi analisado o impacto que as múltiplas sincronizações causariam ao desempenho.

Para se fazer essa análise foi utilizada a visualização volumétrica sem a oclusão. Para cada raio, mil amostras foram consultadas, atingindo uma performance de 34 quadros por segundos (fps) sem nenhuma interrupção na trajetória do raio. À medida que se aumenta o número de pontos de sincronismo, o desempenho é prejudicado, como mostra a Tabela 5.1.

Pontos de interrupção	FPS
1	34
100	28
200	24
250	22
1000	8,5

Tabela 5.1: Análise do impacto da interrupção do kernel Cuda.

Essa queda ocorre devido à finalização do kernel de threads após todas terem terminado (ponto de sincronização), com o posterior relançamento do kernel.

### 5.4.2

#### Computação da oclusão

Para a análise do impacto do cálculo de oclusão à visualização volumétrica, foram mensurados os tempos de execução da visualização com e sem a oclusão ativada. Além disso foram manipulados os parâmetros da visualização obtendo-se uma relação entre a qualidade visual e desempenho computacional do algoritmo.

Consideraram-se três diferentes configurações de qualidade, podendo ser classificadas como baixa qualidade, onde 697 amostras do volume foram consultadas para cada raio, sendo realizado o cálculo da oclusão de 10 em 10 amostras ( $\Delta b = 10$ ), Figura 5.19; média qualidade, com 1000 amostras para cada raio, e o mesmo intervalo de atualização da oclusão ( $\Delta b = 10$ ), Figura 5.20; e a configuração de alta qualidade, também com 1000 amostras por raio, mas com a oclusão sendo atualizada de duas em duas amostras ( $\Delta b = 2$ ), Figura 5.21.

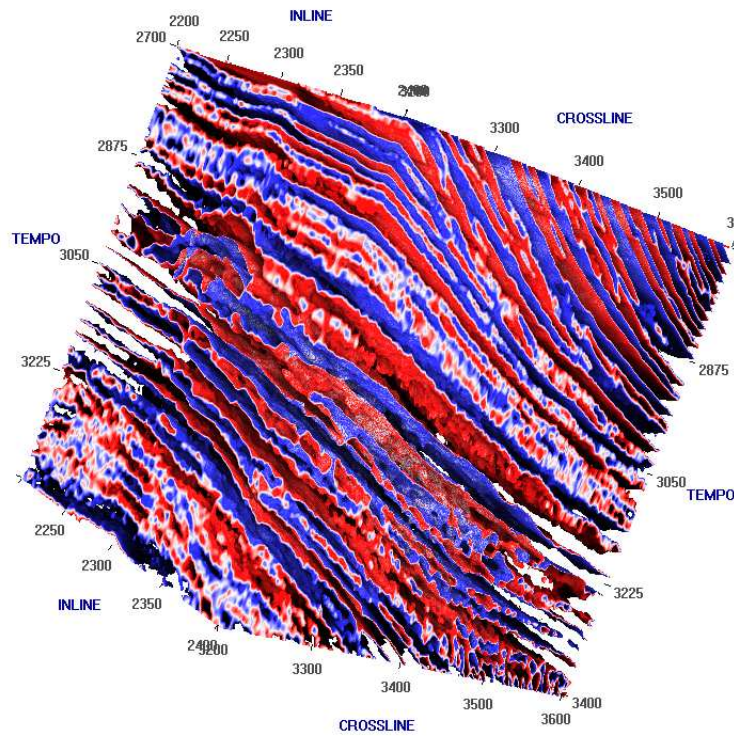


Figura 5.19: Visualização com a configuração de baixa qualidade do dado sísmico.

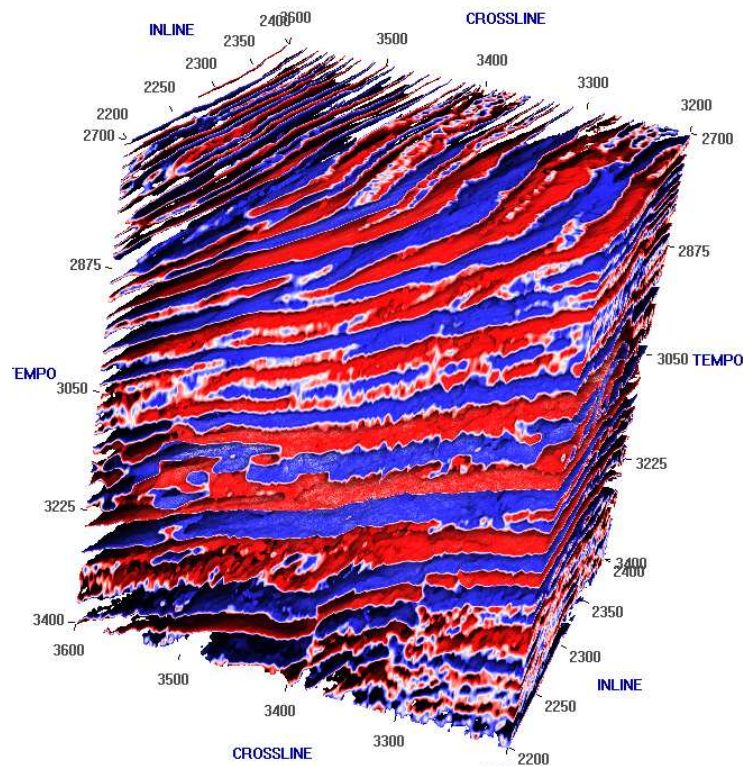


Figura 5.20: Visualização com a configuração de média qualidade do dado sísmico.

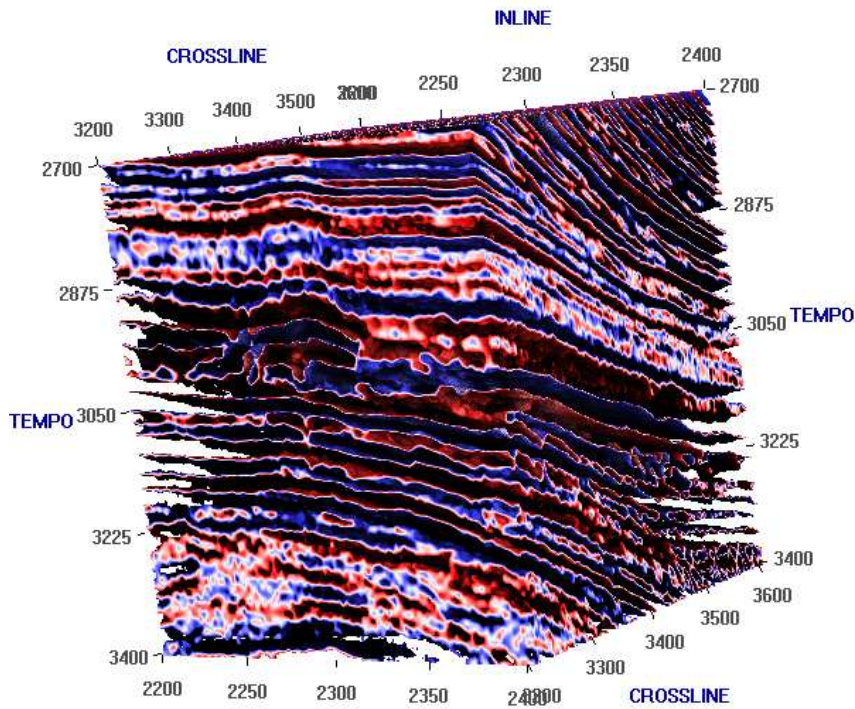


Figura 5.21: Visualização com a configuração de alta qualidade do dado sísmico.

Os tempos de execução, com e sem o cálculo da oclusão, podem ser visto na Tabela 5.2, para cada configuração de qualidade definida.

	Qualidade	Amostragem	$\Delta b$	FPS (C/ Oclusão)	FPS (S/ Oclusão)
f	Baixa	697	10	17	47
	Média	1000	10	10	28
	Alta	1000	2	5	14

Tabela 5.2: Análise do impacto da oclusão à visualização.

### 5.4.3 Resolução da tela

Devido à característica do algoritmo de lançar um raio para cada pixel da tela, quanto maior a resolução, mais raios serão lançados e consequentemente o desempenho será prejudicado.

A fim de se analisar o impacto da alteração da resolução, foi executado o algoritmo em duas resoluções de tela diferentes, uma de 702 x 745 pixels, considerada média; e outra de 1330 x 930 considerada uma resolução alta. Os tempo medidos, variando-se o intervalo de atualização da oclusão ( $\Delta b$ ), pode ser visto na Tabela 5.3.

$\Delta b$	FPS (Média)	FPS (Alta)
2	5	3
5	7,5	6,5
10	12	10

Tabela 5.3: Análise do impacto da alteração da resolução.