

1

Introdução

Este trabalho dá continuidade a uma série de temas de teses e dissertações desenvolvidos no Laboratório Tecgraf/PUC-Rio. Na área de visualização de dados volumétricos cabe destacar a tese de Roberto de Beauclair Seixas que foi pioneiro na investigação de grades de computadores para implementar algoritmos de visualização volumétrica direta (Seixas, 1997) e a tese de Ana Elisa Ferreira Schmidt que investigou a técnica de *shear-warping* para a visualização combinada de dados volumétricos com superfícies poligonais (Schmidt, 2000). Os trabalhos de Sísmica no Tecgraf/PUC-Rio começaram com a dissertação de Mestrado de André Gerhardt que identificou a não adequação das técnicas de visualização volumétrica tradicionais ao problema de iluminação de horizontes sísmicos (Gerhardt, 1998). A dissertação de Marcos Machado experimentou a utilização de espaços de escala para segmentar este tipo de estruturas (Machado, 2000). Esta tese dá seqüência a estes trabalhos sobre algoritmos de visualização volumétrica aplicados à sísmica e de segmentação de horizontes.

Durante o desenvolvimento da pesquisa o autor publicou e colaborou com os seguintes trabalhos:

SILVA, P. M.; MACHADO, M.; GATTASS, M. **3D Seismic Volume Visualization**, In: Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, VIII, 2003 Rio de Janeiro, *Proceedings*.

GERHARDT, A. et al. **Two-Dimensional Opacity Functions for Improved Volume Rendering of Seismic Data**. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, VII, 2001 Salvador, *Proceedings*.

GERHARDT, A. et al. **Towards an Accurate and Robust Volume Visualization of 3D Seismic Data**. Submetido para: EAGE (2004).

SILVA, P. M. et al. **Seismic Horizon Tracking: An Optimization Approach**. Submetido para: SIBGRAPI (2004).

Em Gerhardt et al. (2001) sugerimos a aplicação da técnica de opacidade 2D em dados sísmicos este assunto está detalhado no capítulo 3. Em Silva et al. (2003) discutimos a utilização da fase desenrolada na opacidade 2D e apresentamos nossa abordagem de iluminação para dados sísmicos, estes assuntos estão detalhados nos capítulos 3 e 4, respectivamente. A utilização da fase desenrolada na opacidade 2D apresentada em Gerhardt et al (2004) é uma extensão natural do trabalho Silva et al. (2003), esse assunto está detalhado no capítulo 3. No capítulo 5 detalhamos o rastreamento de horizontes sísmicos apresentado em Silva et al. (2004).

1.1. Objetivos

O objetivo principal desta tese é analisar a aplicação das técnicas de visualização volumétrica a dados sísmicos tridimensionais. A visualização volumétrica é um processo de síntese de imagens que trabalha com modelos descritos implicitamente. Estes modelos, chamados de *dados volumétricos* ou simplesmente *volumes*, apresentam-se como amostras de um campo escalar obtidas em uma grade regular. Os dados obtidos por tomografia computadorizada e ressonância magnética são exemplos de volumes, sendo utilizados principalmente em medicina. Os dados volumétricos também são originados como resultado de simulações de fenômenos físicos. Para os dados desta natureza os algoritmos de visualização volumétrica conhecidos hoje em dia são capazes de produzir imagens bastante informativas e com alta qualidade visual.

Os dados sísmicos volumétricos são modelos implícitos da subsuperfície que integram as características estruturais e estratigráficas das subcamadas. A indústria de óleo e gás vem utilizando a visualização volumétrica em volumes sísmicos na área de exploração, tanto para controle de qualidade quanto para auxílio à interpretação, pois ela permite a obtenção de uma visão prévia das feições geológicas contidas no dado de maneira relativamente simples e interativa.

Apesar de os dados sísmicos volumétricos se adequarem ao modelo esperado pelos algoritmos de visualização volumétrica, isto é, serem um conjunto de amostras obtidas do campo escalar de amplitude sísmica em uma

grade regular, vários problemas ocorrem ao se tentar aplicar diretamente as técnicas de visualização volumétrica aos dados de natureza sísmica.

Neste trabalho consideramos problemas que ocorrem nas etapas de classificação e iluminação que integram a maioria dos algoritmos de visualização volumétrica direta. A etapa de classificação consiste na aplicação da função de transferência ao volume. É a função de transferência que determina qual porção do dado estará visível na imagem final e define as propriedades óticas dessa porção, como a cor e a opacidade. Para selecionar regiões de interesse em dados sísmicos, isto é, os eventos sísmicos, sugerimos a utilização de funções de transferência multidimensionais. Analisando a natureza oscilatória do dado sísmico, propomos funções de transferência bidimensionais, definidas nas dimensões de amplitude (dimensão original) e fase instantânea (atributo sísmico calculado a partir da amplitude).

Na etapa de iluminação o gradiente do dado volumétrico é usado como vetor normal à superfície de interesse para o cálculo de iluminação local. É um dos resultados deste trabalho a verificação de que esta abordagem não se aplica a dados sísmicos, novamente devido à sua natureza oscilatória. Propomos aqui a utilização do gradiente da fase instantânea para estimar a orientação local dos horizontes sísmicos e validamos esta técnica em volumes sísmicos sintéticos e reais.

O rastreamento de horizontes pode ser considerado, do ponto de vista de visão computacional, uma técnica de segmentação ou, do ponto de vista de modelagem e visualização, uma técnica de extração de superfícies. A finalidade do rastreamento vai além da simples visualização do horizonte. Mas, dentro do contexto deste trabalho de tese, consideramos o rastreamento de horizontes como sendo uma técnica de visualização volumétrica direta adaptada para dados sísmicos. Apresentamos neste trabalho uma abordagem de otimização para o rastreamento de horizontes como uma opção de visualização volumétrica indireta de horizontes sísmicos.

1.2.

Estrutura do documento da tese

No capítulo 2 fazemos uma pequena revisão de alguns conceitos básicos que são importantes para a compreensão do restante do documento. Esse capítulo está dividido basicamente em duas partes. Na primeira apresentamos os dados sísmicos 3D, sua origem e características básicas. Também definimos

o que são horizontes sísmicos, que são o principal objeto de estudo deste trabalho. Esta parte é destinada principalmente aos pesquisadores da área de Computação Gráfica, que não estão familiarizados com os dados desta natureza. Na segunda parte descrevemos em um certo nível de detalhe o método de visualização volumétrica baseada em texturas 3D e a técnica de funções de transferência multidimensionais. Julgamos esta parte importante pois nela está descrito, em linhas gerais, o algoritmo de visualização empregado no sistema utilizado para testar as idéias dos capítulos 3 e 4. Esta parte é destinada principalmente aos pesquisadores da área de Geologia e Geofísica, que não estão familiarizados com esta técnica de Computação Gráfica.

No capítulo 3 apresentamos a técnica de opacidade 2D, que é uma aplicação de funções de transferência multidimensionais a dados sísmicos. Esta aplicação foi publicada por nós em um trabalho anterior (Gerhardt, 2001). Neste capítulo sugerimos o uso de atributos sísmicos instantâneos juntamente com a amplitude sísmica na opacidade 2D. Fazemos uma comparação dos resultados obtidos com o atributo de fase instantânea, fase ajustada e fase desenrolada. O critério de comparação entre os atributos é a capacidade de se isolar horizontes sísmicos usando o atributo na opacidade 2D.

No capítulo 4 analisamos a etapa de iluminação dos algoritmos de visualização volumétrica direta e apresentamos os problemas que ocorrem nesta etapa ao adotar o gradiente do campo escalar como vetor normal no modelo de iluminação local. Descrevemos ainda a utilização do gradiente do atributo de fase instantânea como solução para este problema e apresentamos os resultados obtidos em dados sísmicos sintéticos e reais.

No capítulo 5 sugerimos uma modelagem de otimização para o problema do rastreamento de horizontes sísmicos. Em seguida propomos um método heurístico baseado em uma estratégia gulosa para encontrar soluções quase-ótimas para o problema. Mostramos através de exemplos que as soluções quase-ótimas obtidas são boas aproximações para os horizontes sísmicos.

Finalmente, no capítulo 6 fazemos as considerações finais sobre o trabalho de pesquisa desenvolvido e apresentamos a pesquisa em andamento que poderá resultar em outros trabalhos no futuro.

O Apêndice A contém um resumo da teoria da Transformada de Hilbert, que é usada no cálculo dos atributos sísmicos instantâneos.