

# 1 Introdução

A indústria do petróleo tem se deparado, cada vez mais, com a necessidade de explorar e desenvolver campos de petróleo em ambientes geológicos complexos e reservatórios delgados. Além disso, o volume de dados sísmicos 3D a ser interpretado tem crescido exponencialmente. Em face desta realidade, a comunidade petrolífera tem buscado o desenvolvimento de novas tecnologias que gerem imagens mais fidedignas das subsuperfícies e, conseqüentemente, reduzam as incertezas nos modelos geológicos propostos.

A computação gráfica tem oferecido ferramentas que enriquecem a visualização de dados sísmicos e auxiliam o intérprete no estudo de um determinado volume sísmico. A visualização científica tem obtido grandes avanços com as novas *GPU's (Graphics Processing Units)* programáveis, o que tem permitido uma maior interação por parte do usuário.

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise das técnicas de opacidade existentes e propor uma implementação desta técnica de visualização, que visa contribuir com a visualização volumétrica no estudo de multiatributos em dados sísmicos. Será implementada a Opacidade 3D utilizando técnicas de programação em *hardware* gráfico.

Ao longo do trabalho é descrita a teoria que serve de base para o desenvolvimento desta nova técnica, sempre que possível fazendo uma comparação com as técnicas similares existentes na literatura e com trabalhos em áreas correlatas.

Por se tratar de um assunto multidisciplinar, que envolve conceitos de geologia, geofísica e computação gráfica, faz-se necessária uma introdução a alguns conceitos básicos, a fim de permitir uma leitura deste documento por pessoas não totalmente familiarizadas com estas áreas.

A seguir são descritos os trabalhos relacionados, que de alguma forma influenciaram ou serviram de motivação para o desenvolvimento desta

dissertação. São apresentados também os demais capítulos que compõem esta dissertação.

## 1.1. Trabalhos Relacionados

As pesquisas de Silva[30] foram de grande importância no desenvolvimento deste trabalho. Não só serviram de base para este trabalho, como também de motivação para o estudo de toda a teoria que está por trás da opacidade 3D e da visualização volumétrica de um dado sísmico. Silva[30] aborda, dentre outros tópicos, a opacidade 2D e o problema de gerar uma função de transferência multidimensional de forma automática<sup>1</sup>. Silva[30] desenvolveu seu trabalho no Laboratório Tecgraf/PUC-Rio, dando continuidade a uma série de trabalhos na área de visualização de dados sísmicos (Gerhardt[11, 12] e Paiva[24]). Silva[30] propõe uma função de transferência bidimensional que leva em consideração dois atributos sísmicos. O presente trabalho é uma extensão natural do trabalho desenvolvido por Silva[30].

Kindlmann[19] mostrou que é possível a geração de uma função de transferência de forma semi-automática para uma série de dados onde a região de interesse é limitada por materiais de valores relativamente constantes. Para gerar uma função de transferência bi-dimensional, Kindlmann[19] utilizou a derivada no sentido do gradiente. Gerhardt[11] e Gerhardt et al[12] verificaram que as técnicas de visualização volumétrica, como eram aplicadas, não se adequavam à visualização volumétrica de dados sísmicos. Silva[30] utilizou a fase instantânea, como segunda dimensão, para compor uma função de transferência bi-dimensional de forma semi-automática.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, surgiu a oportunidade de testar a opacidade 3D em diversos tipos de dados sísmicos. Estes testes foram incentivados por trabalhos de caracterização de reservatórios. Trabalhos como [13, 15, 16, 21, 26] utilizam diferentes faixas de frequência para determinar características dos reservatórios que não são visíveis quando se utiliza todo o espectro, tais como a monitoração da saturação de fluidos (Korneev[21]), zonas de fratura do reservatório (Goloshubin[16]), dentre outras.

---

<sup>1</sup> O assunto será abordado com mais detalhes na seção 2.2.4

O trabalho de Partyka[26] utiliza a decomposição espectral<sup>2</sup> e a transformada discreta de Fourier para mapear camadas de pouca espessura e identificar descontinuidades geológicas sobre uma superfície sísmica 3D. Em seu trabalho, Partyka[26] utiliza, como exemplo, a decomposição espectral de uma imagem do Golfo do México. Partyka[26] utilizou as frequências de 16-Hz e 26-Hz sobre o mapa de energia e sobre a fase do dado sísmico. Este trabalho consegue mapear finas camadas geológicas através da transformada de Fourier utilizando uma pequena janela de amplitude e fase espectral. Isto permite ao intérprete enriquecer o seu modelo no que diz respeito à quantificação relativa da espessura das camadas geológicas finas e a descontinuidades laterais das camadas.

Rutner[28] fez um estudo detalhado sobre o trabalho de Partyka[26] e constatou que a técnica apresentada permite que seja identificado um número maior de eventos sísmicos de interesse. Muitos destes eventos não foram identificados no volume sísmico após o processamento convencional. Rutner[28] sugere que a técnica seja utilizada, principalmente, para refinar o modelo geológico.

Seguindo a linha de estudo de reservatórios utilizando a baixa frequência, pode-se citar o trabalho de Goloshubin[15] que incentiva o uso da decomposição espectral para o detalhamento das imagens de reservatórios. Goloshubin[15] afirma que o uso das baixas frequências tem grande potencial para mapear áreas de grande permeabilidade.

O trabalho apresentado por Bordignon et al [5] descreve uma ferramenta de construção de uma função de transferência multidimensional, utilizando coordenadas estelares, para identificar *clusters* a serem visualizados. A interface desenvolvida possui apenas três parâmetros que são o eixo de rotação, a escala e a pintura. O trabalho de Bordignon et al[5] difere do presente trabalho pelo fato de poder ser utilizado para vários atributos, simultaneamente, não sendo limitado a três atributos. Entretanto, ao disponibilizar o uso de vários atributos, Bordignon et al[5] não possui suporte dos *hardwares* gráficos atuais, ou seja, todas as operações são feitas em *CPU (Central Processing Unit)*. Dependendo do tamanho do dado que se queira visualizar e do número de variáveis, o usuário não tem uma boa interatividade com o *software*. A interatividade é de extrema importância para

---

<sup>2</sup> A decomposição espectral será apresentada na seção 2.1.3

a opacidade 3D, uma vez que todo o processo de utilização da opacidade está voltado para a interação com o usuário.

Este trabalho apresenta uma “junção” entre as três linhas de pesquisas apresentadas anteriormente (Silva[30], Ruthner[28] e Goloshubin[13]), mostrando a utilização da decomposição espectral junto com a técnica de opacidade 3D aplicadas a visualização de dados sísmicos.

A técnica da opacidade 3D foi implementada, em caráter experimental, em um *software* desenvolvido pelo Tecgraf/PUC-Rio em parceria com a Petrobras. Este *software* é destinado a visualização e controle de qualidade de dados sísmicos tridimensionais, denominado *v3o2* (*Visualizador 3D, Opacidade 2D*). A maioria das figuras geradas neste trabalho é proveniente da captura de tela do *v3o2*.

## **1.2. Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. O Capítulo 2 descreve alguns conceitos básicos que foram necessários para o desenvolvimento teórico e aplicado do presente trabalho. Este capítulo, por sua vez, está dividido em duas partes: a primeira referente aos principais conceitos de sísmica e a segunda parte aborda os conceitos de computação gráfica. Dentre os conceitos de computação gráfica serão apresentadas as opacidades 1D e 2D, que formam a base teórica principal para o desenvolvimento deste trabalho.

Toda a teoria desenvolvida neste trabalho encontra-se no Capítulo 3, onde a idéia inovadora de opacidade 3D é descrita em detalhes, aprofundando alguns conceitos apresentados no Capítulo 2.

O Capítulo 4 descreve os testes e apresenta os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho. Foram realizados testes com um dado sísmico sintético e em seguida com um dado real. Sempre que possível, são comparados com resultados obtidos com opacidades 1D e 2D.

No Capítulo 5, Conclusão, resume-se o que foi desenvolvido, descreve-se o que a opacidade 3D realmente traz de benefício para a visualização volumétrica de um dado sísmico e destaca-se em que tipo de estudo esta técnica deve ser

utilizada. São apresentadas algumas sugestões para trabalhos de pesquisa a serem ainda realizados.