

# 1

## Introdução

Durante a exploração de recursos minerais, como petróleo e gás, é realizada a prospecção geofísica regional baseada em estudos geológicos preliminares de uma bacia. Nesse contexto, a prospecção geofísica consiste num conjunto de tarefas e metodologias de medição dos campos físicos (magnético, elétrico, gravitacional, vibracional, etc.) e suas variações, com a finalidade de encontrar a relação entre essas medições e as feições na subsuperfície (Reynolds, 2002). Basicamente, as etapas da prospecção podem ser divididas em: estudos preliminares, preparação da área, realização das medições, armazenamento das medições, processamento e interpretação das medições. Geralmente, a prospecção geofísica é realizada com dados de levantamentos sísmicos de grande extensão (de caráter regional). A partir dessa informação, as perfurações dos poços são realizadas para obter perfis de medições que permitam definir, com maior precisão, a estratigrafia e a litologia em torno dos poços.

Com o aumento das profundidades de exploração, houve também um aumento na quantidade de dados e na complexidade da análise desses dados. Além disso, o custo de perfuração de um poço também aumentou e, por isso, pode não ser viável a perfuração de poços em todos os pontos que podem proporcionar informações úteis. Assim, a previsão dos perfis de poço surgiu da necessidade de completar as informações geofísicas nos pontos onde existem poços e, principalmente, onde não existem poços. Com isso é possível estender a identificação da litologia e realizar uma análise mais abrangente da subsuperfície, nas áreas de exploração, para fins científicos e para a procura de fontes de combustíveis fósseis.

Com a introdução dos computadores eletrônicos na década de 1960 foi possível utilizar e desenvolver métodos estatísticos e gráficos para uma análise mais precisa da estratigrafia e da litologia (Schlumberger, 1998; Bassiouni, 1994). Vários desses métodos, como o *Crossplotting*, estão baseados na análise de dois ou mais perfis de poço para identificar adequadamente o tipo de estrato.

Esta é conhecida como análise multivariada, onde a subsuperfície pode ser vista como um sistema complexo, com diversas variáveis e parâmetros interligados.

Para a identificação de um tipo de estrato com precisão não basta analisar uma variável, mas um conjunto delas. Por este motivo é conveniente ter maior quantidade de informações geológicas ou geofísicas, mas nem sempre estão disponíveis todos os perfis de poço necessários para executar a identificação. No entanto, podem ser empregadas diversas técnicas de previsão para gerar os perfis faltantes a partir dos existentes, como no trabalho realizado por Leite et al., (2008) e Cranganu & Bautu (2009).

Há muitos anos, a maioria das técnicas de previsão está baseada fundamentalmente na estatística e as mais robustas utilizam conceitos de processos estocásticos (Kay, 1993; Doveton, 1994). Por outro lado, nos últimos quarenta anos a aplicação de técnicas de inteligência computacional não foi muito bem sucedida, devido à capacidade limitada de recursos computacionais. Contudo, com o passar dos anos, esse cenário mudou e a aplicação dessas técnicas se tornou viável e os resultados obtidos se mostraram relevantes. Um indicador disso é o incremento no número de publicações na área de geofísica aplicada e petróleo com técnicas de inteligência computacional e, principalmente, com a técnica de Redes Neurais (Baan & Jutten, 2000; Lim, 2005; Kadkhodaie-Ilkhchi & Amini, 2009).

Outra técnica empregada é a Lógica Fuzzy, utilizada na identificação de materiais de forma categórica e na correlação de estratos de perfis de poço (Dos Santos et al., 2003; Hsieh et al., 2005, Barros & Andrade, 2009). A principal vantagem desta técnica é a capacidade de integrar o conhecimento do especialista. Outros tipos de correlação de estratos também podem ser realizadas com a técnica de otimização conhecida como Algoritmos Genéticos (Aurnhammer et al., 2002; Zhang & Plotnick, 2007).

Há ainda métodos sísmicos ou eletromagnéticos, que produzem medições indiretas das propriedades geofísicas. Nesses casos, essas medições e as propriedades são relacionadas através de modelos físico-matemáticos. Para resolver esse tipo de problema, conhecido como problema de inversão, são utilizados métodos ou técnicas para otimização local ou global. A otimização local pode ser realizada com os métodos baseados em Gradiente (Gradiente Decrescente, *Newton*, Quase *Newton*, entre outros) ou métodos de programação linear como o *Simplex* (Tarantola, 2005). A otimização global, por sua vez, pode ser realizada com o método de *Monte Carlo*, *Simulated Annealing* ou Algoritmos Genéticos (Sen & Stoffa, 1995; Tarantola, 2005). Uma técnica de otimização

global como o Algoritmo Genético é uma boa alternativa na geofísica (Sen & Stoffa, 1995). Nas últimas duas décadas, sua aplicação centrou-se nos problemas de inversão, com problemas cada vez mais complexos (Boschetti, 1996; Veeken et al., 2009).

### **1.1. Motivação**

Quando a previsão dos perfis de poço é realizada em uma região geográfica com poucos poços, a geologia e a sísmica proporcionam informação complementar para realizar a previsão. Isso evita resultados incoerentes durante a interpolação dos valores dos perfis de poço que contêm informação espacial limitada da estratigrafia.

As técnicas e métodos de previsão de perfis de poço são diversos e são aplicados em escalas diferentes. Inicialmente, por exemplo, foram empregados métodos como a correlação lateral dos perfis de poços e interpolação de momentos dos perfis de poço (Doveton, 1994). Esses métodos têm limitações para interpolar os valores dos perfis dos estratos finos, seja porque não levam em conta as formas dos traços dos perfis ou porque os cálculos representam apenas as tendências. Em consequência disso, a caracterização, utilizando um destes métodos, é inadequada para produzir um modelo geológico razoável para simulação e gerenciamento de um reservatório (Doveton, 1994).

Outra forma de analisar e inferir valores de propriedades ou de perfis distribuídos no espaço é através de técnicas de geoestatística. Estas são técnicas robustas que utilizam conceitos de processos estocásticos e geologia que produzem bons resultados (Vivas, 1992; Desbarats, 1996; Sacco et al., 2007; Bourges et al., 2012). Todavia, essas técnicas precisam de um número mínimo de poços, que nem sempre é possível perfurar. Além disso, essas técnicas trabalham com tendências das variáveis regionais e isso reduz a possibilidade de refletir as características dos estratos finos nos perfis inferidos.

Os métodos de previsão de propriedades baseados em inversão utilizam os dados sísmicos e os perfis de poço como dados de controle para estimar parâmetros de um modelo geofísico. Em seguida, o modelo é utilizado como pseudo-poço e, assim, o processo de inversão é estendido para o perfil ou cubo sísmico completo (Buland et al., 2003; Mallick et al., 2007, Li et al., 2010). Alguns métodos desse tipo utilizam técnicas como os Algoritmos Genéticos (Romero & Carter, 2003; Veeken et al., 2009; Anmin et al., 2011) ou técnicas híbridas com

Algoritmos Genéticos e Redes Neurais (Dorrington & Link, 2004; Zabala et al., 2009) ou com Redes Neurais e Lógica Fuzzy (Yegireddi & Kumar, 2008).

Embora os métodos baseados em inversão sísmica sejam abrangentes, a resolução dos perfis de poço previstos, com esses métodos, é baixa e equivalente à resolução das amostras dos traços sísmicos. Em outras palavras, as amostras dos pseudo-poços, previstas com os métodos de inversão, têm taxas de amostragem variável na profundidade e as amostras podem estar separadas por vários metros. Porém, as amostras de um perfil de poço real têm taxas de amostragem constante e distâncias, entre amostras, dadas em centímetros. Por esse motivo, é baixa a possibilidade das características dos estratos finos serem refletidas nas amostras previstas com os métodos de inversão.

De acordo com a revisão dos métodos de previsão, realizada nesta seção, é possível concluir que os principais desafios da previsão são: obter maior resolução dos perfis previstos e utilizar as informações de um número reduzido de poços. Para fazer frente a estes desafios, este trabalho combina o método de correlação lateral de perfis de poço, as técnicas de processamento dos sinais dos registros de poço e dos sinais sísmicos, os Algoritmos Genéticos e as funções de interpolação bidimensional (Shepard, 1968).

## **1.2. Objetivos**

Durante a exploração de novos campos de petróleo, na maioria das vezes, é possível ter informações de levantamentos sísmicos, antes da perfuração do primeiro poço, para planejar a localização dos novos poços. Dois ou três poços podem fornecer informações úteis, mas na maioria das vezes insuficientes para os métodos de previsão estatística. É por isso que o primeiro objetivo deste trabalho consiste em propor um método de previsão de medições de poço em locais próximos de dois ou três poços.

O segundo objetivo do trabalho é preservar, nas medições previstas, duas características dos estratos: as feições finas e as tendências estatísticas tanto quanto possível. Para conseguir tal objetivo são utilizadas técnicas de processamento de sinais como a filtragem de ruído e a filtragem multitaxa. Tais técnicas de processamento realizam operações sobre as amostras para suavizar os traços, incrementar ou reduzir o número de amostras dos traços. O método

de correlação lateral de perfis de poço permite definir com precisão relativa os traços semelhantes que serão interpolados com o método de Shepard.

O terceiro objetivo perseguido neste trabalho é a automação dos procedimentos para processar e analisar uma grande e crescente quantidade de dados geofísicos. Para este propósito é necessário evitar etapas sujeitas a técnicas ou interpretações muito complexas ou que impeçam a generalização do método. Os métodos automáticos propostos são a correlação lateral de poços e a correlação lateral de eventos sísmicos utilizando Algoritmos Genéticos.

### **1.3. Descrição da Tese**

A tese é composta por nove capítulos: Introdução, Sísmica, Perfilagem de Poços, Técnicas de Processamento de Sinais e Otimização, a Metodologia Proposta para Previsão de Medições dos Perfis de Poço, Estudo de Casos, Conclusões, Referências Bibliográficas, Apêndices e Anexos.

No Capítulo 2, sobre “Sísmica”, é descrita a geração dos sinais sísmicos, conhecidos como traços sísmicos, os tipos de levantamentos e sua configuração bidimensional e tridimensional. Além disso, são descritas as maneiras de integrar esta informação com os perfis de poço e os procedimentos para processar os dados sísmicos a fim de extrair informação estrutural dos estratos na subsuperfície.

No Capítulo 3, sobre “Perfilagem de Poços”, são descritos, brevemente, quatro tipos de grandezas medidas no poço, suas unidades, suas coordenadas e suas relações com a estratigrafia ou com a litologia.

O Capítulo 4, sobre “Técnicas de Processamento de Sinais e Otimização”, contém a descrição das técnicas de processamento e análise dos sinais digitais (ou discretos), que são aplicadas aos sinais de poço e sísmicos. Além disso, é apresentada a técnica de Algoritmos Genéticos para a busca de soluções ótimas durante a correlação de sinais de poço e sísmicos, como parte do método de previsão proposto. Na parte final deste capítulo são descritas as métricas utilizadas para avaliar os resultados parciais e totais.

No Capítulo 5, da “Metodologia Proposta para Previsão de Medições dos Perfis de Poço”, são deduzidas e analisadas as quatro etapas que formam o método de previsão proposto: Interpolação de Sinais com o Método de Shepard, Filtragem e Estratigrafia, Correlação Lateral de Poços com Algoritmos Genéticos e Correlação Lateral Sísmica 3D com Algoritmos Genéticos.

No Capítulo 6, sobre “Estudo de Casos”, primeiramente é descrito o campo onde estão localizados os perfis de poço e onde foi realizado o levantamento sísmico 3D. Em seguida, os resultados parciais e finais, de sete casos, são analisados através de métricas de erro e correlação, para determinar a eficácia do método proposto.

No Capítulo 7, de “Conclusões”, são apresentados os comentários sobre os resultados alcançados em relação aos objetivos estabelecidos, as recomendações para a aplicação do método proposto e ideias para trabalhos futuros decorrentes desta pesquisa.

Finalmente, as “Referências Bibliográficas”, os “Apêndices” e os “Anexos” trazem, respectivamente, informações das fontes, testes complementares e informações de poço utilizadas para sustentar este trabalho.

#### **1.4. Contribuições da Tese**

Nesta seção são descritas as principais contribuições da tese. Assim, a primeira contribuição é a interpolação de um número reduzido de perfis de poço utilizando o método de Shepard. Isso, para obter perfis previstos com uma maior resolução, em comparação à resolução dos perfis previstos com os métodos de inversão sísmica. Entre as contribuições para a identificação de padrões nos perfis de poço podem ser destacados: a inclusão de informações diferentes de um poço e o processamento automático e sem limitação do tamanho máximo de amostras, com algoritmos genéticos. Entre as contribuições para a identificação de padrões nos traços sísmicos são destacadas: a realização da busca paralela e direta, com algoritmos genéticos, de eventos sísmicos semelhantes, num traço sísmico distante, em relação aos eventos padrões em outro traço sísmico. Isso permite a minimização de erros na identificação de sequências de eventos e a redução da complexidade da identificação desses padrões num levantamento sísmico. Uma contribuição final é o uso de três tipos de filtros diferentes. Isso permite avaliar os efeitos da filtragem dos perfis de raio gama na identificação das semelhanças entre os sinais e, conseqüentemente, nos resultados da previsão automática de medições de poço.