7

Conclusões e sugestões para estudos futuros

O problema proposto era a apresentação de técnicas capazes de auxiliar na previsão de pressão de poros em ambientes geologicamente complexos. O objetivo final era a aplicação dessas técnicas para reduzir o NPT dedicado a conter instabilidades de poço referentes à má previsão do cenário de pressão de poros.

Para esta finalidade foram apresentadas quatro possíveis técnicas de previsão (uso da sísmica, modelagem geológica geomecânica, modelagem de bacias e método dos elementos finitos). A primeira técnica já vem sendo bastante utilizada pela indústria de óleo e gás, mas sofre de alguns dos mesmos problemas dos estudos convencionais 1D: avança no sentido da obtenção de maior resolução dos cubos sísmicos de entrada, mas fazem uso de métodos convencionais de previsão.

A modelagem geológica geomecânica também utiliza os dados de sísmica em seu fluxo de trabalho, mas permite maior integração com dados de poços, proporcionando maior flexibilidade de aplicação e fazendo uso também do conhecimento adquirido durante a perfuração para estabelecer estratégias de previsão. A representação espacial de litologias e suas propriedades permite visão ampla e maior compreensão da geologia como um todo, auxiliando na análise conjunta com mecanismos e ocorrências de perfuração.

A modelagem de bacias busca reconstruir, por volumes finitos, a evolução da bacia sedimentar, desde a deposição da primeira camada de sedimentos, até o estágio atual. Para tal finalidade, reproduz os processos de deposição, compactação, erosão, diagênese, geração e migração de HCs, expansão de fluidos e redistribuição de pressão ao longo do tempo geológico. Ao reproduzir o histórico da bacia, reproduz automaticamente os processos geradores de pressões anormalmente altas.

A modelagem por elementos finitos consiste em modelar um evento ou processo geológico específico, como a tectônica salina, e os efeitos por ela causados na perturbação do estado de tensões e pressões nas proximidades desse corpo.

Das quatro técnicas, foram escolhidas como proposta de uso a modelagem geológica geomecânica e a modelagem de bacias. O fator principal para a escolha

dessas técnicas foi a relação intrínseca entre as mesmas e a geologia local/regional, já que os mecanismos geradores de pressões anormais são processos ou eventos geológicos associados à evolução de uma bacia.

Como principal vantagem em relação aos métodos convencionais, as técnicas de modelagem são mais abrangentes e capazes de compreender heterogeneidades laterais e redistribuição de pressões. A presença de selos ou caminhos de migração pode ser identificada e adotada para a redistribuição de pressões como um todo ao longo da bacia.

Tratam-se, contudo, de técnicas multidisciplinares, requerendo o estudo integrado entre profissionais de engenharia e geociências. São estudos mais longos que os estudos de previsão 1D, porém também mais abrangentes, capazes de auxiliar na previsão para todo um campo ou bacia, e não só para uma locação.

Como o público alvo dos estudos propostos se trata de engenheiros de perfuração, verifica-se que, apesar das duas técnicas possuírem veia bastante geológica, é possível adotar as devidas simplificações para aplicação direta ao público de engenharia, desde que com auxílio de geocientistas.

A proposta de cada uma dessas técnicas de modelagem se aplica a diferentes estágios do fluxo de E&P de um campo. A missão fundamental da modelagem de bacias é a previsão de reservas, portando, está direcionada às primeiras etapas de exploração, fundamentando a perfuração dos poços pioneiro e exploratórios, e fornecendo elementos para a caracterização de reservatórios. A modelagem geológica geomecânica, por sua vez, é uma etapa equivalente à caracterização de reservatórios, ou seja, é uma etapa posterior, que exige a existência de um número mínimo de poços perfurados.

A modelagem de bacias permite realizar estudos mesmo ainda sem a existência de poços perfurados para calibração. Neste caso, é preciso explorar ao máximo a interpretação sísmica da região modelada e o conhecimento geológico regional, adotando propriedades físicas e litológicas de ambientes similares. Após a perfuração dos primeiros poços, é possível calibrar curvas de compactação, feições estruturais e dados cinéticos.

A pressão de poros estimada por esta técnica é um produto das calibrações de dados de entrada e evolução da bacia sedimentar como um todo, portanto permite um cenário espacial de pressão bastante realista, porém aproximado (~1 lb/gal, conforme Allwardt *et al.*, 2009) e simplificado.

A medida que um número mínimo de poços se tornam disponíveis, a modelagem geológica passa a ter um bom potencial de representação do comportamento do cenário de pressão de poros da bacia/campo. Isso porque

permite maior intervenção do analista e maior detalhamento espacial. É possível inclusive utilizar os dados da modelagem de bacias como uma das variáveis de entrada, somando ainda interpretação sísmica e dados diversos de poços para melhor representar o estágio atual de pressão de poros do campo ou bacia.

Neste trabalho, dada a falta de um conjunto de dados completo de um campo ou bacia, os estudos de caso desenvolvidos se tratam de estudos sintéticos ou da reprodução de estudos da literatura. Apesar de sintéticos, os estudos buscam reproduzir com a maior fidelidade possível casos de campos reais.

A montagem de dados para o estudo de modelagem geológica-geomecânica 3D simula 31 poços com perfis, litologia, trajetória, leituras de pressão e supostas ocorrências detectadas em BDPs, supondo um campo em desenvolvimento. O processo de montagem de dados foi iterativo, com a realização de tantos ajustes quanto necessários no fluxo SEST x Petrel para garantir coerência geológica e espacial aos dados. O estudo de caso mostrou a versatilidade da modelagem no uso dos diversos dados disponíveis para a definição da estratégia de previsão e obtenção do modelo final.

Os resultados obtidos foram considerados bastante satisfatórios, apresentando previsão de pressão em 3D para toda a extensão do campo (incluindo todo o *overburden*) e de acordo com o comportamento das diversas tomadas de pressão e eventos de perfuração da base de dados. Além de captar a heterogeneidade do comportamento de pressão de poros, o estudo fornece também a distribuição espacial de outros dados de interesse direto à perfuração de poços, como a distribuição espacial de litofácies e propriedades físicas de rocha e o mapeamento espacial de instabilidades e outros eventos de perfuração.

Os estudos em modelagem de bacias envolveram casos simplificados, reproduzindo com êxito estudos de caso da literatura em bacias evaporíticas e introduzindo análises ou elementos complementares para a representação de possíveis feições geológicas características de bacias evaporíticas. Os resultados obtidos nessas análises complementares elucidam alguns comportamentos observados na perfuração de poços próximo ou através de corpos salinos, porém muitas vezes não detectados em estudos convencionais.

7.1.1. Contribuições da tese

A principal contribuição dessa tese é a apresentação de alternativas para a previsão de pressão de poros em ambientes geologicamente complexos, como

bacias com a presença de evaporitos. O estudo propõe duas técnicas de previsão aplicadas a diferentes etapas de E&P: modelagem de bacias para a etapa exploratória e modelagem geológica-geomecânica 3D para a fase de desenvolvimento do campo.

Na técnica de modelagem geológica-geomecânica 3D, uma das inovações dessa tese é a proposta de uso do modelo de fácies como etapa fundamental do processo de modelagem geológica para fins de previsão de pressão de poros. As metodologias apresentadas em estudos da revisão bibliográfica fazem uso de modelos de distribuição de fácies ou de GR apenas para a previsão de pressão em si (quando o fazem). A metodologia aqui apresentada propõe o condicionamento de todo o processo, desde a distribuição espacial de propriedades físicas, à distribuição de um cubo de fácies litológicas cuidadosamente classificadas para fins de previsão de pressões.

A contribuição na linha de modelagem de bacias se trata da compilação de estudos anteriores e da realização de análise de sensibilidade para ilustrar de forma simplificada, para fins de perfuração, a aplicabilidade da técnica para a previsão de pressão de poros. Poucos foram os trabalhos desenvolvidos para tal finalidade, mas a técnica se mostra bastante promissora para a antecipação de cenários característicos de distribuição de pressões em bacias com a presença de corpos salinos.

Como as duas técnicas não surgiram especificamente para fins de perfuração, além de sugerir a aplicação, o estudo apresentou metodologias adaptadas para a finalidade de previsão de pressão de poros. Para ilustrar as etapas de aplicação das metodologias, estudos de caso são apresentados para as duas abordagens.

7.1.2. Sugestões para trabalhos futuros

Como um possível estudo futuro, propõe-se a realização de análise sequencial de modelagem de bacias seguida de modelagem geológica de um campo real, comparando o nível de detalhe alcançado e comparando resultados em poços de validação.

Ainda, dado que a modelagem de bacias contempla estado geostático de tensões e que a modelagem geológica geomecânica consiste em estudo estático, e não dinâmico, propõe-se explorar a modelagem de pressões por elementos finitos. Para tal estudo, seria interessante fazer uso da modelagem geológica para

estabelecer a malha e as propriedades atuais da região de estudo. Neste caso, a modelagem por elementos finitos poderia prever a evolução de um fenômeno específico até o estágio atual e a continuidade da movimentação salina ou o momento em que a mesma cessa e permite reequilíbrio do estado de tensões e pressões.

Na modelagem de bacias, especificamente, seria interessante explorar também os parâmetros cinéticos como ênfase específica, avaliando o percentual de variação de pressões que pode ser provocado pela geração de HCs leves ou pesados e sua migração ao longo da bacia.