

# 1 Introdução

## 1.1. Relevância e motivação

A exploração de petróleo se iniciou nos Estados Unidos a partir da perfuração do primeiro poço de petróleo em 1859. A partir disso, visando aumentar a produção de hidrocarbonetos, a indústria do petróleo desenvolveu métodos de recuperação cujo objetivo é obter uma maior produção do que aquela que seria obtida como resultado somente da energia natural do reservatório (Thomas, 2001). Inicialmente, este problema foi contornado através do fornecimento de pressão ao reservatório por meio da injeção de um fluido com a finalidade de deslocar o hidrocarboneto presente no meio poroso para o poço produtor. A partir da compreensão dos mecanismos mecânicos do transporte e dos mecanismos termo-físico-químico dos hidrocarbonetos, surgiram novas técnicas de recuperação. Atualmente, o processo de recuperação pode ser dividido em: convencional e especial.

Os métodos convencionais consistem na injeção de fluido (água, água do mar, água produzida pelo campo e gás natural) utilizando apenas o princípio mecânico de transporte. Por outro lado, os métodos especiais de recuperação fazem uso, principalmente, dos mecanismos termo-físico-químicos que tenham influência nas propriedades do hidrocarboneto, uma vez que os métodos convencionais não apresentem resultados satisfatórios. Isto é observado em reservatórios que apresentam óleo com elevada viscosidade e quando há o surgimento de elevadas tensões interfaciais entre o fluido injetado e o óleo.

Neste contexto, diversos problemas podem ser encontrados quando se faz uso de técnicas de recuperação, principalmente a convencional, em reservatórios geologicamente complexos. Atualmente, a indústria do petróleo tem encontrado cenários cada vez mais complexos para exploração de hidrocarbonetos; aliado a isso surgem incertezas quanto a extrapolação de práticas empregadas com sucesso em campos mais simples. Além disso, Suckale (2010) atenta para o fato de que processos de recuperação de petróleo e sequestro de dióxido de carbono estão induzindo sismos em regiões próximas

dos campos de exploração (Figura 1.1), devido principalmente devido ao processo de reativação de falhas.



Figura 1.1 – Distribuição dos 70 casos de indução de sismos em campos de petróleo (Suckale, 2010)

De forma a reproduzir o comportamento hidromecânico de um reservatório ao longo de sua produção diversas técnicas numéricas têm sido empregadas, como o método das diferenças finitas e o método dos elementos finitos. No entanto, para tornar os modelos numéricos mais realísticos quando comparados ao campo real, deve-se considerar a geomorfologia na sua construção, embora ainda existam grandes desafios a serem transpostos.

Portanto, a consideração de estruturas geológicas na engenharia de reservatórios, como as falhas, tem caráter fundamental para a determinação de respostas realísticas quanto à produção de hidrocarboneto de um campo. No caso específico da falha, a sua consideração no modelo apresenta importância significativa no âmbito atual, principalmente no que diz respeito à possibilidade de reativação. Do ponto de vista de reativação durante a produção, busca-se determinar a máxima vazão que pode ser aplicada em poços injetores bem como sua configuração espacial para que o campo de petróleo continue produzindo, sem que a falha apresente deslocamento. A movimentação da falha devido à alteração do estado de tensões pode fornecer um caminho preferencial para o hidrocarboneto, fazendo com que, nos casos mais críticos, haja o escape para o oceano além da possível perda da estanqueidade do reservatório. Portanto, a questão de reativação se tornou importante, principalmente, devido ao processo de sequestro de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera para a posterior injeção

em formações rochosas, e também pela ocorrência de microssismos induzidos pela injeção de fluidos em reservatórios visando à recuperação avançada de hidrocarbonetos.

## **1.2. Objetivo e metodologia**

O objetivo principal deste trabalho é estudar a possibilidade de reativação de falha bem como o tempo necessário para sua ocorrência devido ao processo de recuperação convencional, isto é, injeção de água no reservatório, considerando a solução parcialmente acoplada do problema hidromecânico.

Para atingir o objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos secundários:

- a) compor uma revisão bibliográfica a respeito de estruturas geológicas como falhas, salientando sua gênese e características fundamentais para posterior consideração no modelo numérico;
- b) compor uma revisão bibliográfica acerca da consideração de falhas em modelos numéricos de fluxo e de tensões, bem como apresentar os principais trabalhos reportados pela literatura a respeito do tema;
- c) idealizar os modelos numéricos para posterior análise considerando o acoplamento parcial de fluxo-tensões (Eclipse-Abaqus) aliado as interações de contato entre as superfícies que compõe o modelo com plano de falha e a plasticidade do material que compõe o modelo de zona de falha;
- d) simular numericamente o processo de injeção e verificar a ocorrência de reativação das falhas.

## **1.3. Organização da dissertação**

Este item apresenta a forma como está organizada a dissertação, com a ordem e a descrição dos capítulos que a compõem, conforme segue:

- a) o Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica acerca da consideração da falha em modelos geomecânicos, do ponto de vista da simulação de fluxo e de análise de reativação, além de uma visão geral sobre a falha sob o ponto de vista geomorfológico. Além disso, apresentam-se também propriedades hidromecânicas

de zonas de falha bem como algumas técnicas numéricas para a consideração de descontinuidades em modelos de elementos finitos;

- b) o Capítulo 3 descreve o modelo idealizado (geométrico e numérico) enfatizando a formulação numérica do acoplamento hidromecânico parcial adotada. Neste capítulo também são descritas as hipóteses assumidas e a metodologia de interação de contato e critério de plasticidade utilizados, além do detalhamento do processo de implementação da falha no código de acoplamento parcial;
- c) o Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos em relação a reativação de falha para os modelos numéricos desenvolvidos enfatizando a sua ocorrência e o tempo necessário para tal;
- d) o Capítulo 5 apresenta as principais conclusões desta dissertação, juntamente com algumas sugestões para trabalhos futuros, baseados na continuidade do tema estudado neste trabalho.