

1 INTRODUÇÃO

1.1. Antecedentes

Na indústria do petróleo, são realizados ensaios de *Leak-Off* para determinar a máxima pressão que a nova seção do poço pode sustentar sem fraturar ou perder fluido, sendo realizados durante a fase de perfuração do poço, nas formações imediatamente abaixo de cada sapata. O projeto inicial do revestimento que será cimentado no poço, depende da previsão da curva de pressão vs. volume injetado (tempo). Assim, a avaliação da pressão de fratura na formação durante a perfuração é de grande importância. Este ensaio também é usado para estimar a mínima tensão horizontal *in situ* em formações rochosas (Wang *et al.*, 2010).

O ensaio de *Leak-Off* é pouco estudado e as considerações feitas na análise têm muitas restrições. Portanto, este estudo pretende entender melhor o problema levando em conta as várias variáveis que o afetam.

Na prática este ensaio é caro, já que é preciso parar a perfuração do poço para realizá-lo. Com a simulação numérica, pretende-se em um futuro obter modelos numéricos confiáveis que sejam capazes de substituir este ensaio na prática, com o objetivo de poupar tempo e dinheiro. Além disso, realizando uma modelagem numérica do ensaio de *Leak-Off* é possível obter parâmetros que não são possíveis medir ou obter no campo.

Inicialmente, a simulação deste ensaio começou na PUC-Rio como uma tese de doutorado desenvolvida por Frydman (1996). O autor realizou as simulações deste ensaio, usando elementos finitos por meio de um programa desenvolvido “*in house*”, com o objetivo de avaliar a influência de alguns parâmetros nos resultados da pressão de *Leak-Off*. A rocha foi modelada como um material poroelástico e foi considerado fluxo monofásico, além disso, a taxa de bombeamento foi fornecida como um dado de entrada do problema e a pressão na parede do poço como uma resposta. O modelo simula um procedimento de injeção de fluidos, e para isso foram incluídos elementos virtuais no interior do poço. Neste estudo, foi implementado um modelo de

fratura. Finalmente, foi calculada a pressão de *Leak-Off* e avaliada a influência de alguns parâmetros no cálculo dessa pressão.

Posteriormente, Inoue & Fontoura (2010) deram continuidade à simulação numérica deste ensaio, mas neste caso foi utilizado um programa comercial de elementos finitos (Abaqus). As simulações numéricas foram realizadas considerando as mesmas hipóteses do trabalho de Frydman (1996), mas não foi utilizado um modelo de fratura. O critério utilizado para calcular a pressão de *Leak-Off* baseia-se em que as fraturas iniciam-se quando a tensão tangencial efetiva é igual à zero. É importante ressaltar que essa pressão é calculada graficamente. Por último, foi calculada a pressão de *Leak-Off* e se compararam os resultados considerando a influencia de varios parâmetros.

Nesta dissertação, será continuado o trabalho iniciado por Inoue & Fontoura (2010). Será simulado numericamente um ensaio de *Leak-Off* usando um programa de elementos finitos (Abaqus), com o objetivo de avaliar alguns parâmetros que afetam o cálculo da pressão de *Leak-Off*. As hipóteses consideradas neste estudo são as mesmas do trabalho desenvolvido por Inoue & Fontoura (2010). Este estudo abordará dois cenários: uma formação rochosa permeável e uma formação rochosa impermeável constituída de rocha de sal.

Na modelagem numérica do ensaio, foram consideradas várias análises para a rocha permeável, desde uma análise poroelástica, análise poroelástica com influência do fluido de pressurização, até uma análise variando a permeabilidade da rocha em função do diâmetro dos grãos e da porosidade. Para a rocha impermeável, o modelo constitutivo tem duas componentes: uma elástica e uma de fluência.

Nos dois cenários estudados, será utilizado o mesmo critério para calcular a pressão de *Leak-Off* (quando a tensão tangencial efetiva é igual à zero, calculada graficamente). Os resultados da simulação numérica de um ensaio de *Leak-Off* usando um modelo poroelástico e um modelo de fluência são apresentados neste trabalho. Por último, foi calculada a pressão de *Leak-Off* e se compararam os resultados considerando a influencia de varios parâmetros.

1.2. Objetivo do Trabalho

O objetivo deste estudo é realizar a simulação numérica de um ensaio de *Leak-Off* usando um programa comercial de elementos finitos para calcular a

pressão de *Leak-Off*, considerando a taxa de bombeamento como um dado de entrada do problema e a pressão na parede do poço como uma resposta.

Este estudo abordará dois cenários: uma formação rochosa permeável e uma formação rochosa impermeável constituída de rocha de sal. Deste modo, para um estudo de uma análise real de um ensaio de *Leak-Off* em rocha permeável e rocha impermeável, torna-se necessário a utilização de modelos que considerem poroelasticidade e fluência, respectivamente.

Finalmente, serão simulados alguns casos para verificar os possíveis efeitos de alguns parâmetros no cálculo da pressão de *Leak-Off* na rocha permeável e na rocha impermeável.

1.3. Escopo do Trabalho

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos, incluindo uma introdução, que caracteriza o capítulo 1.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica do ensaio de *Leak-Off* em poços de petróleo, desde a metodologia, fatores que afetam os resultados do ensaio, até uma pesquisa acerca da modelagem.

O capítulo 3 apresenta os modelos constitutivos. Em geral apresenta o comportamento de rochas sob ensaios de compressão, e mostra o modelo constitutivo adotado para representar o comportamento mecânico da rocha de sal. No final é apresentada uma rápida introdução do conceito de permeabilidade e sua importância. Neste capítulo são apresentadas as equações utilizadas para estudar a influência da variação da permeabilidade no ensaio de *Leak-Off*, já no final do capítulo é apresentada a equação utilizada nas simulações e sua validação para correlacionar a permeabilidade.

O capítulo 4 mostra uma rápida introdução da teoria de poroelasticidade, seguido das equações governantes do problema de fluxo (equação da continuidade, equação de Darcy e equação de estado) e das equações governantes do problema de tensões (equações de equilíbrio e relações deformação-deslocamento), e no final um breve resumo da forma como o Abaqus resolve o sistema de equações do problema acoplado.

No capítulo 5 são apresentados as etapas e as hipóteses consideradas para realizar a modelagem do ensaio de *Leak-Off*, também são apresentados os resultados das simulações, para os dois cenários estudados. No início são

considerados modelos constitutivos, com comportamento poroelástico para a rocha permeável, e com fluência para a rocha de sal. No final são mostrados os resultados dos modelos considerando a variação de permeabilidade e a influência do fluido de pressurização na rocha permeável.

Finalmente no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.