

1 Introdução

1.1 Motivação e Objetivo

Esta pesquisa é motivada, principalmente, pelos problemas de produção de sólidos em poços produtores de petróleo e de dano mecânico de formação. Produção de sólidos é o fenômeno onde partículas sólidas são produzidas juntamente com os fluidos de um reservatório de formação geralmente pouco ou não consolidada, podendo também ocorrer em formações mais resistentes. Há um grande número de problemas que surgem com a produção de sólidos excessiva tais como a instabilidade do poço, dano nos equipamentos de sub-superfície e de superfície, subsidência da superfície, e ainda o problema ambiental da disposição dos sólidos produzidos. Em alguns casos, a produção de sólidos pode levar à perda do poço causando grandes danos econômicos e ambientais (Bianco, 1999, Wang et al, 2004).

Os diferentes processos envolvidos na produção de sólidos estão associados à deformação e ruptura da rocha, à interação rocha-fluido, e ao transporte de fluidos e sólidos. A produção de sólidos pode ser descrita por dois mecanismos (Vardoulakis et al., 1996):

1. Instabilidades mecânicas e ruptura localizada da rocha na vizinhança do poço devido a concentrações de tensão;
2. Instabilidades hidromecânicas devido a erosão, que se manifestam na desagregação e transporte das partículas, causadas pela ação das forças de percolação.

Estes dois mecanismos são acoplados, pois a concentração de tensões leva à ruptura localizada que aumenta a quantidade de partículas desagregadas da matriz rochosa que são transportadas pelo fluxo de fluido. Por outro lado, o carreamento das partículas aumenta a porosidade da rocha causando o reajuste das forças intergranulares levando ao aumento da zona rompida da rocha.

Os modelos que tratam da previsão da taxa de produção de sólidos e do volume produzido são geralmente modelos baseados na

mecânica do contínuo com acoplamento fluidomecânico que incorporam o fenômeno de erosão (Vardoulakis et al., 1996, Papamichos, 2001, Wang, 2003, Detournay et al., 2006). Para a solução deste problema é necessário o estabelecimento de uma relação constitutiva para a perda de massa sólida da matriz rochosa. Diversas relações constitutivas para a erosão têm sido propostas para o estudo de produção de sólidos na tentativa de reproduzir ensaios de laboratório. Estas relações são inspiradas nas teorias de filtração de finos através de uma matriz sólida grosseira. Além da lei constitutiva da erosão (que relaciona o processo de erosão ao fluxo nos poros) são necessárias também relações que descrevam a influência dos processos mecânicos (deformação e ruptura) na erosão, da erosão nos processos mecânicos, e da erosão no fluxo.

Todos estes mecanismos que acoplam os processos mecânico, de fluxo, e de erosão são mecanismos na escala microscópica, pois a desagregação de uma partícula da matriz rochosa e seu transporte através dos poros é melhor descrito no nível da partícula e do poro. Um melhor entendimento destes mecanismos fundamentais pode auxiliar no aprimoramento destas relações constitutivas necessárias para a simulação de previsão da produção de sólidos.

Um outro problema da geomecânica do petróleo que também está relacionado a mecanismos que ocorrem na escala do poro é o dano de formação. Dano de formação é o termo usado para identificar a redução da permeabilidade por diversos processos que ocorrem nas formações geológicas, e que reduzem a produtividade e injetividade de poços de sistemas de produção de óleo e gás. Estes processos estão relacionados à incompatibilidade fluido-fluido e rocha-fluido, e invasão e migração de finos, entre outros (Civan, 2007). Um processo relevante, pouco abordado na literatura, que também causa a diminuição da permeabilidade é o chamado dano mecânico da formação (Soares, 2007).

Duas condições podem induzir a danos mecânicos nas formações rochosas. A primeira ocorre na perfuração do poço que altera o estado de tensões no seu entorno. Esta mudança do estado de tensões causa uma deformação na rocha que pode induzir a uma perda significativa da permeabilidade. A outra condição ocorre durante a produção, que provoca uma queda de poropressão, aumentando a tensão efetiva o que conseqüentemente produz deformações na rocha reduzindo a sua permeabilidade. O conhecimento destas relações tensão-deformação-permeabilidade de uma rocha produtora de petróleo pode ser uma informação importante para a adoção de uma política de exploração adequada a fim de se obter um maior fator de recuperação final de hidrocarbonetos de um campo (Soares, 2007).

O objetivo desta tese é desenvolver uma ferramenta numérica com acoplamento fluidomecânico (mono e bifásico) para problemas na escala do poro e

da partícula sólida. Esta ferramenta pode ser vista como um laboratório virtual para testar/verificar leis constitutivas, e que aliada a dados experimentais poderá melhorar o entendimento de mecanismos básicos envolvidos nos processos de dano mecânico de formação e de produção de sólidos.

1.2 Organização

Este documento está organizado da seguinte maneira. O Capítulo 2 descreve os métodos utilizados no sistema fluidomecânico acoplado. São apresentados o método do Elemento Discreto, utilizado na simulação dos processos mecânicos, o método de lattice-Boltzmann para a simulação do fluxo mono e bifásico no nível do poro, e o esquema de acoplamento entre estes dois métodos. No Capítulo 3 são apresentadas as principais características da implementação da ferramenta numérica, enquanto que no Capítulo 4 são apresentados os resultados das simulações realizadas. Foram realizadas simulações de verificação dos métodos e da implementação e simulações relacionadas aos problemas de dano de formação e produção de sólidos. E finalmente no Capítulo 5 são discutidos os resultados obtidos e apresenta-se as conclusões e as sugestões para futuros desenvolvimentos e aplicações da ferramenta numérica desenvolvida.