

MÉTODO DE REDUÇÃO DE ORDEM APLICADO A SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO

Lindaura Maria Steffens¹, Fernando Boeger Tezza², Dara Liandra Lanznaster³

¹ Orientadora, Professora do Departamento de Engenharia de Petróleo – EPET – CESFI – UDESC – lindaura.steffens@udesc.br.

² Acadêmico do Curso de Engenharia de Petróleo – EPET – CESFI – UDESC, bolsista de iniciação científica PROIP/UDESC.

³ Acadêmica do Curso de Engenharia de Petróleo – EPET – CESFI – UDESC, participante voluntário de iniciação científica.

Palavras-chave: Simulação Numérica, Reservatório de Petróleo, Equação da Difusividade Hidráulica, Métodos de Redução de Ordem.

O entendimento da dinâmica dos fluidos é o escopo de estudo em vários ramos da Engenharia de Reservatórios de Petróleo. A variável de fundamental importância para este estudo é a pressão, a qual é regida pela Equação da Difusividade Hidráulica (EDH). A EDH trata-se de uma equação diferencial parcial, a qual é obtida com base na conservação da massa e na Lei de Darcy. Características petrofísicas do meio, tais como permeabilidade e porosidade, também são usadas na EDH. Para meios isotrópicos e homogêneos, considerando fluxo apenas de óleo, a EDH é dada por (1):

$$\frac{1}{\eta} \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \quad (1)$$

O comportamento da pressão no reservatório varia conforme as condições iniciais e de contorno impostas em (1). A partir da pressão, pode-se analisar dados relacionados à viabilidade da execução do projeto de poço, previsões de reservas, entre outros. Embora seja uma ferramenta essencial em estudos relacionados a reservatórios, a EDH apresentada em (1) não apresenta solução analítica para problemas complexos, sendo necessário resolvê-la por meio de métodos numéricos. Os métodos tradicionais para o tratamento dessas equações diferenciais são o Método de Diferenças Finitas (DF), o Método de Volumes Finitos (VF) e o Método de Elementos Finitos (EF).

No escopo da pesquisa, a modelagem do escoamento monofásico em um reservatório bidimensional foi realizada pela EDH, sob condição inicial e diferentes condições de contorno. O domínio foi discretizado tanto temporal como espacialmente, utilizou-se o Método de Elementos Finitos na resolução da parte espacial da equação e o Método das Diferenças Finitas na parte temporal. A escolha destes métodos foi devido ao fato do método de EF apresentar uma maior flexibilidade em domínios não estruturados, permitindo maior liberdade nos tipos de interpolação

utilizados. Já as diferenças finitas foram utilizadas em sua forma explícita, devido à facilidade de implementação na parte temporal.

A implementação do código foi realizada com o auxílio do *software* MATLAB, com o qual foi então possível simular a pressão no reservatório para diferentes condições de contorno, bem como variando as propriedades petrofísicas do problema. Os resultados obtidos nas simulações realizadas foram comparados com as soluções analíticas simplificadas disponíveis na literatura, como também com soluções numéricas obtidas pelo método de DF, proporcionando resultados compatíveis e coerentes, validado o código implementado e os métodos empregados.

Entretanto, a simulação requer muito esforço computacional para malhas finas e muito grandes, bem como para muitos instantes de tempo. Além disso, pretende-se obter soluções em reservatórios mais complexos, com fluxo em subsuperfície. A otimização destes processos de fluxo em subsuperfície é de extrema importância em muitas aplicações de Engenharia de Reservatório, incluindo operações de campos de óleo e armazenamento geológico de dióxido de carbono. Estas otimizações são necessárias computacionalmente devido ao grande número de simulações de fluxo que devem ser realizadas e devido a grande dimensão dos modelos simulados. Neste âmbito surgem então os Métodos de Redução de Ordem (*ROM-Reduced Order Methods*), objeto de estudo desta pesquisa. A principal razão de aplicação de ROM é a redução do tempo computacional devido ao grande número de simulações de que devem ser realizadas nestes modelos mais complexos e, portanto, mais próximos à situação real.

Os ROM consistem em ferramentas que são acopladas em um algoritmo computacional de simulação de fluxo, as quais proporcionam como resultado uma matriz de dados reduzida e, portanto, otimizada. Existem vários métodos de redução de ordem, entre estes estão a Decomposição Ortogonal Apropriada (*POD-Proper Orthogonal Decomposition*) e a Linearização da Trajetória por Partes (*TPWL-Trajectory Piecewise Linearization*). No contexto estudado, primeiramente buscou-se estudar a POD, bem como desenvolver o código computacional para implementação do mesmo. O procedimento de uma POD é dado pela simulação completa e a obtenção da solução (por exemplo, a pressão e a saturação) em vários instantes de tempo, os quais são armazenados em uma matriz. Nesta matriz de dados resultante é aplicada uma Decomposição em Valores Singulares (*SVD-Singular Value Decomposition*), com a qual proporciona uma base reduzida, utilizada para projetar a solução em um subespaço de baixa dimensão. Utilizando esta base, basta resolver o problema para um conjunto reduzido de incógnitas. O uso da POD pode ser aplicado em problemas não lineares, o que ocorre quando se considera que o meio poroso contém água e óleo, com a saturação destes variando com o espaço. A técnica concede um sistema com um número de variáveis reduzidas a serem resolvidas.

A POD pode ser utilizada acoplando-se ainda técnicas de agrupamento, denominada de Estimativa de Ponto Faltante (*MPE-Missing Point Estimation*), as quais são utilizadas para redução do número de colunas e linhas da matriz obtida. A combinação destas duas técnicas estão em fase de estudo e implementação para análise de robustez. Além disso, pretende-se obter a solução do fluxo bifásico em subsuperfície através de um simulador de fluxo comercial para aplicar as técnicas de ROM, primeiramente a POD e posteriormente a TPWL. O procedimento da TPWL apresenta novas soluções utilizando expansões lineares em torno das soluções simuladas previamente com o objetivo de ganhar aumento de velocidade na simulação.