



SIMULAÇÃO DE FLUXO NO MEIO POROSO UTILIZANDO O *FLUENT*

Adriano Almeida Ferreira¹; Almir Mariano de Sousa Junior²; Manoel Mariano Neto da Silva³

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros – adriano.almeida@ufersa.edu.br

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros – almir.mariano@ufersa.edu.br

³Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros – mariano.paiva@ufersa.edu.br

RESUMO

A complexibilidade do fenômeno do fluxo de um fluido em meios porosos causa uma dificuldade em sua descrição explícita. Todavia, tentou-se abordar de maneira clara as equações utilizadas para conjecturar o comportamento do fluxo de fluido no meio poroso. Para tanto, utilizou-se o *Gambit* para criar uma geometria fractal e o *Fluent* para definir as condições de contorno desejadas. A malha criada foi retangular, esta fez interações com os discos, de raios diferentes, colocados como obstáculos na geometria. Este trabalho apresenta os resultados de uma simulação com fluxo bifásico, este flui em um meio poroso construído em 2D. A avaliação do comportamento do escoamento do fluido no interior do meio poroso foi realizada com gráficos, imagens e resultados numéricos utilizados para diferentes análises de dados. Os resultados mostraram que k diminui quando os números dos discos aumentam, apesar da porosidade permanecer a mesma para todas as gerações, ou seja, a permeabilidade diminui quando aumentamos a fractalidade. Pois, existem fortes turbulências no fluxo cada vez que se aumenta a quantidade dos discos e isso dificulta a passagem do mesmo para a saída. Estes resultados permitiram colocar em evidência o quão a permeabilidade (k) é afetada em um meio poroso com obstáculos distribuídos de maneira diversificada. Verificou-se também que k decresce quando ocorre aumento na variação da pressão no interior da geometria. Portanto, trata-se de uma simulação que permite uma visão próxima do real e reflexões pertinentes de como o fluido se propaga em um meio poroso.

Palavras-chave: Fluido, fractal, meio poroso, simulação, permeabilidade.

1. INTRODUÇÃO

À medida que a humanidade cresce, em números de habitantes, surge à necessidade de ampliar as fontes energéticas que estão sempre impulsionando o desenvolvimento da sociedade. Pois é notória a importância das transformações de energia no nosso cotidiano. Um entre vários exemplos que poderiam ser citados, é o combustível, que é utilizado pelos meios de transportes para facilitar o deslocamento das pessoas e de matéria prima.

Logo, o funcionamento desses meios de transportes só é possível com a utilização de alguma fonte de energia. Com isso, surge o desafio de produzir,

transformar ou extrair da natureza fontes capazes de suprir as necessidades energéticas.

A primeira vista pode parecer uma tarefa complicada vencer um desafio tão grandioso. Grandioso por que há uma imensa diversidade de mecanismos, em nosso meio, que necessitam da utilização de energia para funcionarem. Proporcionando, com isso, um alto índice de transformação energética. Mas com união de idéias e força de vontade consegue-se êxito em qualquer desafio.

Outro fator que favorece muito os processo de busca e exploração no âmbito energético é o contínuo desenvolvimento tecnológico. A partir deste, uma série de softwares são



desenvolvidos, facilitando os processos de localização, simulações e modelagem de processos. Neste contexto, pode-se abordar também o fluxo do petróleo visto que estudar como este se processa no subsolo partindo de observações feitas na natureza e levando em conta os conhecimentos teóricos, tentando aproveitar a junção das teorias com os fenômenos observados na simulação e depois associá-los a prática das indústrias petrolíferas é uma realidade muito próxima.

A exemplo desta prática pode-se citar o *FLUENT*. Este software é utilizado para realizar simulações do comportamento do fluxo no meio poroso. Tentando tirar o máximo de clareza para uma visão menos abstrata no que diz respeito ao fluxo do fluido no meio poroso. Tendo em vista que o fluxo do petróleo acontece no subsolo e não temos como ver os caminhos percorridos por ele.

Mediante a tais discussões, o presente trabalho tem por objetivo analisar o efeito global no movimento de óleo e gás em reservatório de petróleo no que diz respeito à extração e recuperação de petróleo e a partir desse estudo desenvolver um simulador alternativo pertencente a uma nova geração de simuladores que implante conceitos modernos (Exemplo leis de escala e fractalidade) em sua análise utilizando o software *FLUENT* para simular o fenômeno de escoamento em meios porosos. Para tanto, será observado como se comporta a permeabilidade k com o aumento na quantidade de discos no meio poroso, mas como a conservação da porosidade.

2. METODOLOGIA

O *FLUENT* é um programa de computador avançado que modela o fluxo do fluido no interior das geometrias estocásticas escolhidas nas simulações. Exibe uma visão clara dos complexos resultados de tais geometrias. É um

programa comercial especialmente desenvolvido para resolver problemas de fluxo de fluidos baseado na técnica numérica CFD. A análise de simulações de CFD pelo software mostrou-se eficaz para uma variedade enorme de projetos de pesquisa, simplificando o trabalho, pois dispensa a necessidade de se realizar testes com modelos em laboratório ou em campo. Fornece também os gráficos e pinturas das propriedades das variáveis como densidade, velocidade e pressão do fluido no meio inserido com uma facilidade relativa.

Também permite que repita ou implemente os testes. Um fato importante é que é escrito em linguagem de computador C, o que possibilita uma interação mais flexível, ressaltando que todos os dados são armazenados em memória dinâmica e verdadeira. Toda eficiência na estrutura e todo o controle acontece através do Software. Já o *GAMBIT* é um processador utilizado para modelar a perspectiva da situação desejada, ou seja, a geometria do meio e a geração da malha do reticulado.

O *FLUENT* usa o método do volume finito para resolver as equações que governam o movimento do fluido. Fazendo isso com potencialidade, que incluem suportes em duas e três dimensões, em malhas quadradas e triangulares, incluindo todos os registros das variáveis de diferentes composições químicas. Ressalta-se também que este resolve numericamente a equação de Navier – Stokes para condições de contorno previamente estabelecidas, de acordo com problemática a ser resolvida.

Uma vez entendido todo o processo físico, matemático e de engenharia envolvidos nas pesquisas das indústrias petrolíferas, uma das etapas importantes da pesquisa é compreender passo a passo a utilização do software e ajustá-lo para resolver o problema de uma visualização e uma reflexão melhor do fluxo do fluido no subsolo. A figura 01 apresenta a tela inicial do software:

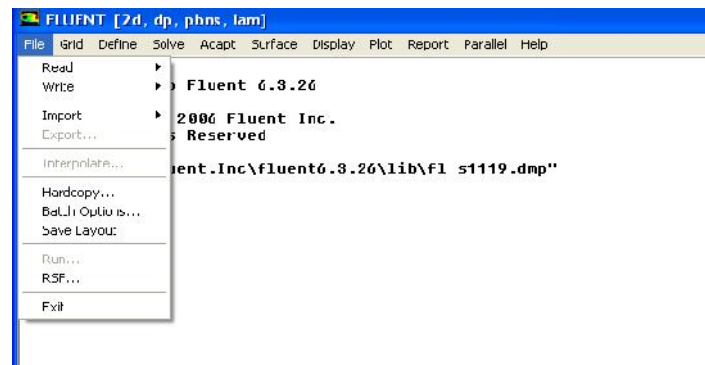


Figura 01: Tela inicial do FLUENT (Programa FLUENT)

É a primeira tela que aparece quando o Software FLUENT é iniciado. Nela encontram-se todas as ferramentas para o desenvolvimento das utilidades do Soft.

Posteriormente, deve-se acessar *File* para executar o comando *Read*. Feito isto, o FLUENT faz um reconhecimento do Programa produzido no Gambit. Depois, pode-se validar a leitura do programa com a função *Grid*, uma espécie de verificação dos comandos que foram reconhecidos. Continuando, deve-se informar a leitura ao FLUENT

Mediante ao que foi dito, agora é só ir moldando as condições de acordo com os objetivos a serem desenvolvidos. Por exemplo, em *define* pode-se escolher o modelo das soluções, o material que quiser utilizar como água, ar, óleo, entre outros, inclusive as condições de contornos.








O desenvolvimento das simulações teve como ponto de partida a idealização de um modelo. Tal modelo foi idealizado obedecendo a uma ordem de potência.

Fez-se à malha com o formato de um retângulo com duzentos metros na direção Y e trezentos metros na direção do vorto X. Com isso, obte-se uma área de sessenta mil metros quadrados. Depois calculou-se uma porcentagem de vinte por cento de sessenta mil, que deu doze mil. Esse foi dividido por dois, chegando ao valor de seis mil, que seria a soma das áreas dos discos A e B. Então para sabermos o raio dos discos dividiu-se a área (6.000 m²) pelo valor de pi e o valor encontrado da divisão fez-se a raiz quadrada. Para gerar uma nova distribuição, pegou-se um dos discos e dividiu-se por quatro, o resultado será o valor da nova Área dos próximos discos. E para saber o valor dos raios desses novos discos é necessário apenas seguir o que já foi feito anteriormente.

Assim, obtem-se os valores dos raios que deseja-se. Na experiência, ficou-se com os valores motrados na Tabela 01:



Tabela 01: Áreas e Raios dos discos

| Esfera | Área | Raio |
|---|-----------------------------|--------------|
|  | Área = 6.000 m ² | R = 43,713 m |
|  | Área = 1.500 m ² | R = 21,856 m |
|  | Área = 375 m ² | R = 10,9 m |
|  | Área = 93.7 m ² | R = 5,5 m |
|  | Área = 23.4 m ² | R = 2,7 m |
|  | Área = 5,8 m ² | R = 1,3 m |
|  | Área = 1,5 m ² | R = 0,7m |

Fonte: Pesquisa, 2015

Posteriormente, utilizou-se o GAMBIT, este é um processador utilizado para modelar a geração da situação desejada, ou seja, a geometria do meio e a geração da malha do reticulado. Com auxílio deste, modela-se a simulação que foi idealizada em um meio poroso fractal. Primeiro criou-se os pontos em um espaço 2D. Em seguida, produziu-se as vértices e por fim, com o terceiro comando, criam-se as faces.

Na simulação, criou-se um retângulo com um dos vértices a entrada, o lado paralelo a é o vértice da saída e os perpendiculares ao da entrada são paredes. Em seguida, colocou-se discos distribuídos de maneira aleatória e com tamanhos diferentes na parte interna do retângulo como paredes.

Os dados foram emitidos através do FLUENT. O Software já fornece os resultados do fluxo de massa por intervalo de tempo na entrada e na saída da geometria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Fluxo do óleo em um meio Fractal difere muito do meio tubular. Os resultados mostraram que as indústrias de Petróleo devem levar isso em consideração com muita significância, tendo em vista o quanto a permeabilidade muda quando aumentamos a fractalidade. Porém, a mesma deveria permanecer constante, já que ela depende só do meio e esse não foi alterado.



Nesse primeiro momento o objetivo foi verificar o que acontece com a permeabilidade em cada geração. Depois, se as informações obtidas a partir dos resultados podem ser utilizadas para uma análise da Lei de Darcy. Para isso utilizou-se os resultados advindos do Fluent. No estudo da equação de Darcy podemos obter a variação da permeabilidade com relação a cada geração. Lembrando que foram sete gerações onde todas têm a mesma porosidade.

Na primeira geração a solução convergiu em 490 iterações. O fluxo em massa foi de 2,48e+9 Kg/s. A entrada do fluido é da esquerda para direita onde fica a escala. Sabendo que o valor do fluxo em massa é dado pela equação:

$$q = \frac{m}{\Delta t} \quad [1]$$

onde: q é o fluxo de massa; m é a massa e t a variação do tempo. Lembrando que o volume é igual a massa sobre a densidade ($V = m/\rho$) e que a vazão volumétrica é dado pela razão entre o volume e a variação da velocidade ($Q = V/t$). Chegamos a seguinte equação:

$$Q = \frac{q}{\rho} \quad [2]$$

Agora podemos achar a permeabilidade (K) utilizando a Lei de Darcy adaptada para todos os fluidos segundo Muskat (1930). Informando que na simulação foi utilizado o fluido óleo líquido para todas as gerações e sabendo-se que existe um banco de dados com as características de todos os fluidos existentes no soft. Com isso, o próprio fluent nos fornece o valor da viscosidade (μ), que neste caso vale 0,048 Kg/ms, e da densidade (ρ) 960 Kg/m³. Ele também nos permite fornecer a variação da pressão (P) em atm. Na simulação, L é o comprimento da geometria que vale duzentos metros

(200m), esse valor corresponde a base e o topo da geometria. A área é dada por A que tem valor de sessenta mil metros quadrados (60.000 m²).

$$K = \frac{Q \cdot L}{A(P_1 - P_2)} \quad [3]$$

Lembrando que se preferir que K fique na unidade de Darcy os valores das unidades devem ficar nas seguintes unidades:

Q em cm²/s

A em cm²

P em atm

μ em poise

Com isso, agora fica fácil calcularmos os valores de K para cada geração. Como exemplo. Agora veja abaixo os valores de q na entrada, saída e nas paredes em cada geração, e as imagens das velocidades sabendo que o percurso do fluido é da esquerda para direita.

Primeira Geração:

Entrada: 2.4855979e+09

Paredes: 0

Saída: -2.4839755e+09

Segunda Geração:

Entrada: 2.9228705e+08

Paredes: 0

Saída: -2.9144656e+08

Terceira Geração:

Entrada: 3.7236938e+08

Paredes: 0

Saída: -3.7233237e+08

Quarta Geração:

Entrada: 137450.71

Paredes: 0

Saída: -137337.35



Quinta Geração

Entrada: 125439.02

Paredes: 0

Saída: -125376.49

Sexta Geração

Entrada: 98110.58

Paredes: 0

Saída: -98006.379

Sétima Geração

Entrada: 88795.73

Paredes: 0

Saída: -88744.299

Calculando a permeabilidade da sétima geração:

$$K = \frac{Q-L}{A(P_1 - P_2)} \quad [3]$$

Temos Q = [2], logo,

$$K = \frac{\frac{q}{L}}{A(\Delta P)} \quad [4]$$

$$Q = \frac{88744 \text{ Kg.m}^3}{960 \text{ s.Kg}}$$

$$Q = 92,44 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 92,44 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$K = \frac{92,44 \times 10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \cdot 3 \times 10^4 \text{ cm}^4 \cdot 8 \text{ ep}}{6 \times 10^8 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ atm}}$$

$$K = 22186 \text{ darcy}$$

Após calcular todas as permeabilidades para cada geração pegamos os quatro últimos valores e construímos um gráfico deles versus geração. Observamos que a medida que aumentamos as gerações a permeabilidade diminui. Com isso, concluímos que a permeabilidade é afetada com o aumento da fractalidade. O gráfico está disposto na figura 02:

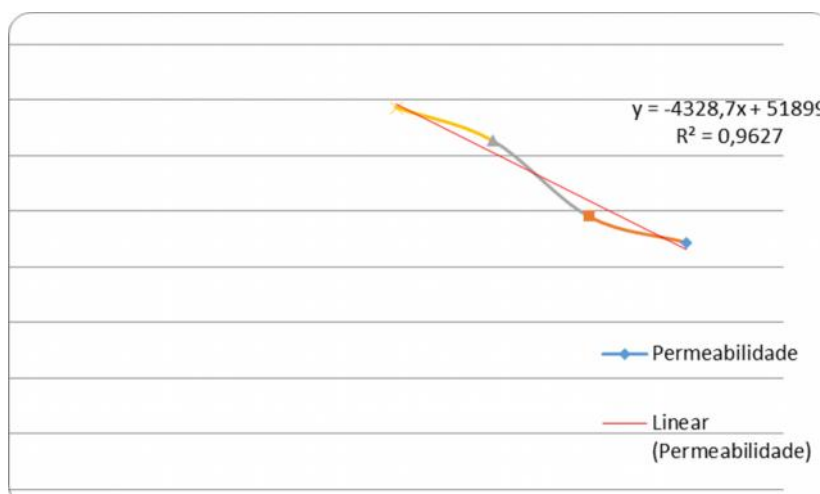


Figura 02: Variação da Permeabilidade em Função da Fractalidade

Agora nos perguntamos, o que acontece com a permeabilidade (K) se aumentamos a variação de pressão? Então passamos a fornecer novas

condições de contorno, para a sétima geração, que foi o aumento da variação da pressão (P). Os resultados foram



supreendentes pois K diminui a medida que aumenta o P .

4. CONCLUSÕES

Os Fractais apresenta uma estrutura de grande complexidade e beleza infinita, ligada às formas da natureza, ao desenvolvimento da vida e à própria compreensão do universo. É sabido da literatura que a geometria Fractal pode ser utilizada para descrever diversos fenômenos na natureza, onde não podem ser utilizadas as geometrias tradicionais. Exemplo, nuvens, montanhas, árvores, crescimento de populações e outras.

Pensando que formas irregulares podem ser estudadas e descritas para uma melhor compreensão dos fenômenos naturais, foi muito interessante utiliza a fractalidade para simular o fluxo de um fluido no meio poroso.

A análise da aplicação dos conhecimentos advindos do conceito fractal mostrou-se muito útil, visto que facilitou o estudo da Permeabilidade (K) de um fluido em relação ao meio fractal. Tal método fez a análise em função da lei de Darcy.

Tendo em vista que o programa fornece os resultados das equações de Navier- Stokes. Fez-se uma comprovação de como a mesma é válida para o fluxo do óleo em meio poroso, pois elas estabelecem que o produto das mudanças na pressão e forças dissipativas que atuam dentro do fluido causa mudanças no momento e na aceleração das partículas do fluido como mostram as figuras das gerações.

A conservação da porosidade foi bastante sábia para a simulação presente, pois era esperada a conservação do volume de vazão de fluido, no entanto, os resultados mostraram que não ocorreu o esperado.

Portanto, diante dos resultados e da ausência de subsídios bibliográficos sobre outras teorias, o trabalho aqui realizado pode ser considerado

possivelmente uma forma inédita de se explicar e refletir como a permeabilidade é modificada quando aumentamos a fractalidade em um meio poroso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE Jr., J. S., & et. al, Inertial Effects on Fluid Flow through Disordered Porous Media. - PHYSICAL REVIEW LETTERS, Number 26, Vol. 82, 28 JUNE 1999.

ALVARADO, V.; MANRIUE, E. Enhanced Oil Recovery: An Update Review Energies, 2010, Vol.3(9), p.1529.

ANSOFF, H. I. A nova estratégia empresarial. São Paulo: Atlas, 1990. p.24.

BENNETT, C. O. & MYERS, J. E., Fenômenos de transporte. Editora McGRAW-HILL DO BRASIL, Ltda, São Paulo - SP, p. 812, 1978.

BENOIT B. MANDELBROT. Fractal Geometry of Nature. Published. Tutorial Chapter 7. 1988.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method. Management Science, 1985.

CHEN, Q. et al. OPTIMAL STUDY ON THE INJECTION-PRODUCTION PROJECTS OF CHENGDAO OFFSHORE OILFIELD [J]. Drilling & Production Technology, v. 3, p. 019, 2004.

CHENG, C. et al. Study of SEA indicators system of urban green electricity power based on fuzzy AHP and DPSIR model. Energy Procedia, v. 12, p. 15

CHUGUNOV, N.; SHEPELYOV, G.; STERNIN, M. The generalised interval estimations in decision making under uncertainty. International Journal of Technology, Policy and Management, v. 8, n. 3, p. 298-321, 2008.



DECENZO, D.A.; ROBBINS, S.P. Administração de Recursos Humanos. 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004.

DEY, P. K. Decision support system for risk management: a case study. Management Decision, s.l., v. 39, n. 8, p. 634-649, 2001.

GOMES, L. F. A. M.; FREITAS JUNIOR, A. A. A importância do apoio multicritério à decisão na formação do administrador. Revista ANGRAD, v.1, n.1. Rio de Janeiro, 2000.

HWANG, C. L.; YOON, K. Multiple attribute decision making: Methods and applications, a state-of-the-art survey. Berlin, Springer-Verlag, 1981.

JACK, A.; SUN, S. Controls on recovery factor in fractured reservoirs: lessons learned from 100 fractured fields. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 2003.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H., Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs, Wiley and Sons, New York, 1976

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, José Augusto Daniel. Engenharia de Reservatórios de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

SAATY, T. L. Decisões Vencedoras. tradução de Hugo Melo. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2002.

THOMAS, J. E. Fundamentos da Engenharia do Petróleo. Rio de Janeiro - Interciência 2001.