

APPLICATION OF UFD TECHNIC (UNIFIED FRACTURING DESIGN) FOR PRODUCTIVITY ENHANCING IN LOW PERMEABLE RESERVOIRS

Fernando Boeger Tezza, Lindaura Maria Steffens

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Departamento de Engenharia de Petróleo, Campus universitário – Balneário Camboriú- SC

fernando_tezza@hotmail.com, lindaura.steffens@udesc.br

Abstract. Nowadays reservoirs have been more and more exploited as the need for oil and gas is getting higher as the world develops. At this way, some new techniques have been used to enhance petroleum recovery. One of them is the use of hydraulic fracturing (HF). HF is a form to get a better communication between the well and the reservoir. In other words, fractures are opened inside the reservoir, and inside the fracture a quantity of proppant is pumped in, to hold the fracture opened. In a sense of optimization, HF has to be with two main parameters: width and length. Thus, in order to achieve optimum measures an optimization technique called Unified Fracturing Design (UFD) is used. UFD technique is a form to relate fracture and reservoir variables fostering the maximum of the Dimensionless Productivity Index. In this work, it will be proposed an idealization of a vertical well-reservoir system being propped with an optimum quantity of proppant mass, accordingly to achieve a maximized Dimensionless Productivity Index. The maximum Dimensionless Productivity Index will be used to estimate a variable called, Dimensionless Fracture Conductivity. The optimum width and length are validated using the Dimensionless Fracture Conductivity and some reservoir and fracture known parameters. Moreover, an example will be done to ensure that the technique may be applied in theoretical and field problems. Finally, to evaluate the optimization project, the Net Present Value (NPV) is analyzed to demonstrate a positive or negative impact of the UFD technique regarding the current market.

Palavras-chave: *Fraturamento Hidráulico, Técnica UFD, Otimização de produção em reservatórios de petróleo.*

1. Introdução

Com a crescente demanda mundial de consumo de óleo, a exploração de reservatórios de petróleo com baixa permeabilidade, do tipo *Shale Gas* e *Tight Oil*, vem ganhando espaço nas últimas décadas. Precedido de tal, há uma extensa necessidade em buscar novas jazidas de exploração, bem como novas metodologias que visem o aumento da recuperação dos hidrocarbonetos que completam o meio poroso. É embasado nessa máxima, que o fraturamento hidráulico é vastamente estudado e aplicado para a maximização do fator de recuperação dos reservatórios com permeabilidade reduzida.

O fraturamento hidráulico consiste em uma técnica de injeção de um fluido fraturante em um poço de petróleo. Ocorre então um aumento da pressão, até que a rocha reservatório frature. Tal fratura deve ser mantida aberta através do uso de propantes de alta permeabilidade. Diante de tal procedimento, se faz necessário o uso de simulações computacionais, dado que fraturar um reservatório é um processo dispendioso em dinheiro e tempo.

Com o intuito de otimizar o fraturamento hidráulico a metodologia chamada *Unified Fracture Design* (UFD) é utilizada. Esta, concede aplicação à variados tipos de reservatórios, tanto de baixa quanto alta permeabilidade (Daal and Economides [1]; Demarchos et al. [2]).

Um importante conceito introduzido no método UFD é o Número de Propante N_p , que

diz respeito a quantidade de Propante dentro da fratura. É também com o número de propante que se obtêm os valores das variáveis otimizadas, tais como: Condutividade da fratura adimensional C_{fD} , tamanho da metade da fratura x_f , espessura da fratura w_f e o índice de produtividade adimensional J_D . O presente trabalho tem por objetivo o entendimento da técnica UFD, sua implementação e simulações para verificar o desempenho desta. Assim, simula-se um sistema com quatro poços verticais, com um valor de C_{fD} diferente do valor ótimo e posteriormente para o caso ótimo. Apresenta-se o sistema supracitado e demonstra-se a sua positiva relação com a obtenção de lucro nos campos petrolíferos que possuem baixa permeabilidade, pelo uso do Valor Presente Líquido (VPL). Por fim, faz-se uma comparação dos valor de J_D obtido pela simulação no *software* comercial com o valor encontrado com a equação.

2. Estado da Arte

Esta revisão bibliográfica tem por base ressaltar alguns pontos que complementam o tema proposto. Bhattacharya *et al.* [3] apresentaram um estudo estendido para o uso da técnica UFD em reservatórios de baixa permeabilidade, do qual obtiveram correlações para encontrar os pontos ótimos J_D e C_{fD} . Vale ressaltar a consistência dos resultados experimentais com as correlações obtidas pelos autores.

Rahman *et al.* [4] desenvolveram estudos aplicados da técnica UFD a reservatórios do tipo *Tight Gas* com fraturas transversais. Além disso, os autores incluíram nos seus modelos de simulação alguns importantes parâmetros de restrição para o design da fratura, dentre eles estão: x_f sempre maior que a altura da mesma, o valor de C_{fD} é sempre mantido em uma faixa limite para um valor de design efetivo, o comprimento dinâmico da espessura da fratura é pelo menos três vezes o diâmetro do propante, tais ajustes vinculam um transporte efetivo para o propante até o fim da fratura. Outro importante assunto tratado pelos autores é a validação do seu modelo com um outro

simulador de fraturamento hidráulico, denominado *Meyer Software*, para comparação dos resultados.

Porcu *et al.* [5] aplicaram a técnica UFD para poços verticais, do qual apresentaram a combinação entre otimização física e econômica. Os autores realizaram cálculos de otimização física para variados valores de M_p na fratura e realizaram uma análise econômica (VPL). Os autores concluíram que a quantidade de massa utilizada em cada fratura é um parâmetro de extrema importância, e deve ser utilizado como uma das principais variáveis para otimização de projetos de fraturamento.

3. Motivação da Técnica UFD

Economides *et al.* [6], introduziram a metodologia UFD para otimização física de um poço de petróleo fraturado. O objetivo dos autores era encontrar os pontos ótimos para maximizar a produção do poço.

Resumidamente, a técnica UFD propõe que para uma certa quantidade de propante, há uma única geometria que envolve o comprimento e a espessura da fratura. Ademais, é com os ajustes UFD que se consegue o ponto ótimo de condutividade da fratura. O que significa que qualquer outro par de valores de comprimento e espessura da fratura, irão proporcionar uma performance de produção menor para o poço.

Define-se então V_p como sendo:

$$V_p = \frac{M_p(h/h_f)}{\rho_p(1 - \phi_p)}, \quad (1)$$

sendo, h altura do reservatório, h_f é a altura de propante na formação, ρ_p e a densidade e ϕ_p a porosidade do propante. No intuito de obter-se os comprimentos ótimos deve-se ter os parâmetros C_{fD} , e J_D relacionados.

Logo, para cada valor de C_{fD} , o valor correspondente do J_D é computado por uma série de cálculos representados pelas equações abaixo. O valor máximo do parâmetro J_D é denominado $J_{D,ot}$, do qual está associado com o parâmetro de condutividade ótima da fratura, $C_{fD,ot}$. É com a obtenção da condutividade ótima que as dimensões ótimas, $x_{f,ot}$ e $w_{f,ot}$ são calculadas,

$$x_{f,ot} = \sqrt{\frac{k_f V_f}{C_{fD,ot} k h'}} \quad (2)$$

$$w_{f,ot} = \sqrt{\frac{V_f C_{fD,ot} k}{h k_f}} \quad (3)$$

sendo k_f a permeabilidade da fratura, k a permeabilidade da formação e V_f o volume da fratura em cada ramo, definido como:

$$V_f = \frac{V_p}{2} \quad (4)$$

É notório que o problema das equações de comprimento e espessura é que não conhece-se o parâmetro $C_{fD,ot}$. É nesse ponto que deve-se tomar noção de outro parâmetro importante na análise da UFD, o índice de produtividade adimensional do poço. Pelo formalismo de Cinco-Ley&Samaniego [7] a equação é apresentada como:

$$J_D = \frac{1}{\ln\left(\frac{0.472 r_e}{x_f}\right) + f} \quad (5)$$

sendo r_e é raio da área de drenagem drenada pelo reservatório e f é uma função denominada *pseudo-skin*, fator de película e é definida, como:

$$f = \frac{1.65 - 0.328u + 0.116u^2}{1 + 0.18u + 0.064u^2 + 0.005u^3} \quad (6)$$

com,

$$u = \ln(C_{fD}). \quad (7)$$

Da Eq.7 não se conhece uma variável, o logaritmo natural de C_{fD} . Obtida a relação descrita na Eq.5 pode-se plotar a relação do comportamento de C_{fD} . É importante notar que a Eq.5 depende da Eq.2 que é em função de C_{fD} . Ademais, o volume da fratura deve ser calculado, assim com a Eq.4 tem-se que V_f depende de V_p e fundamentalmente de M_p . A Fig. 1 demonstra a relação descrita pela Eq. 5.

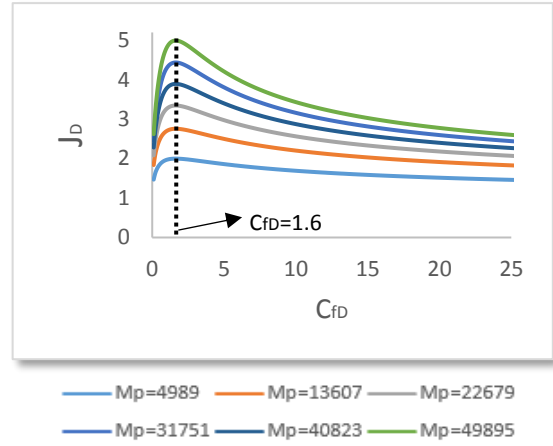


Figura 1. Índice de produtividade adimensional versus Condutividade da fratura adimensional para cada M_p (kg).

A Fig.1 mostra que os valores de $C_{fD,ot}$ são sempre os mesmos, ou seja, 1.6. Tal figura foi obtida com a implementação das equações supracitadas no *software Matlab*. Além disso, o gráfico mostra o maior valor de J_D , do qual dependem fundamentalmente da massa de Propante, $M_p = 49895$ kg, o que leva ao maior valor de J_D , $J_{D,ot} = 5$.

Para sedimentar o estudo teórico a próxima seção exemplifica a aplicação da técnica, bem como o aumento de VPL.

4. Aplicação

Essa seção apresenta a aplicação da metodologia já utilizada e apresentada por Daal & Economides, entretanto busca-se conferir a utilidade da técnica UFD para um modelo de reservatório de baixa permeabilidade. O modelo de fluxo considerado para escoamento é o *Black oil*. As propriedades da formação rocha-fluido, dados de geometria, as condições de operação dos poços e os dados de simulação são apresentadas a seguir:

- Malha cartesiana – 50x50x8 (total de 20.000 blocos de simulação);
- Blocos com tamanho de 18m x 18m x 3m;
- Número de fraturas e poços – 4;
- Permeabilidade da matriz: $\vec{i} - k = 1 mD$, $\vec{j} - k = 1 mD$, $\vec{k} - k = 0.01 mD$;
- Permeabilidade da Fratura–150.000 mD;
- Porosidade – $\phi = 0.2$;
- Pressão inicial – $P_i = 35 Mpa$;

- Saturação inicial de água – $s_w = 0,2$;
- Vazão de cada poço – $48 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- Tempo de produção – 30 anos .

4.1 Otimização econômica

O estudo econômico é embasado pelo VPL, do qual são descontados os *Royalties*, PIS/Cofins, Contribuição Social, Imposto de Renda e Participação Especial (em casos de alta produção).

- Preço do barril de petróleo: 50 US\$/bbl;
- Preço gás: 0,50 US\$/ft³;
- Investimentos: 22×10^6 US\$;
- Custos Operacionais: 11.1 US\$/bbl;
- Taxa de desconto: 8%.

5. Resultados e Discussões

Os resultados obtidos foram atingidos com a implementação no *software* comercial de simulação computacional *CMG - IMEX*. Primeiramente simulou-se a depleção do reservatório somente com os 4 poços sem fraturas. As simulações posteriores envolveram a criação de fraturas embasadas na técnica UFD, apoiada em um algoritmo computacional desenvolvido no *software Matlab*, já supracitado.

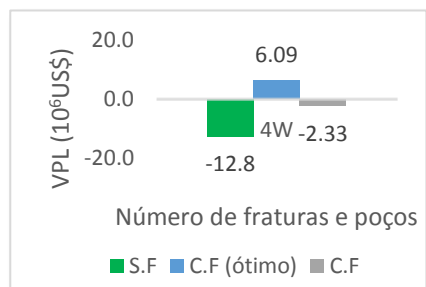


Figura 2. VPL para 4 poços com e sem fraturas.

Observando a Fig.2 pode-se facilmente visualizar que o fraturamento hidráulico tem uma positiva influência no aumento da produtividade do campo, bem como no aumento da lucratividade. Observa-se então que, para o caso sem fratura o projeto não é lucrativo, tendo um prejuízo de 12.8×10^6 US\$. Contudo, no caso da aplicação de fraturas com dimensões ótimas ($C_{fD}=1.6$) tem-se um retorno de aproximadamente 6.09×10^6 US\$. Já no caso onde as fraturas não

possuem dimensões ótimas ($C_{fD}=50$) o projeto vincula um prejuízo de 2.3×10^6 US\$, o que obviamente não leva o projeto a execução.

Por fim, pode-se citar que as simulações feitas com o *software CMG* resultam em um valor de $J_D = 4,6$ quando comparado com a da Fig. 1 que é 5. Valores bastante próximos, e coerente com o esperado.

6. Considerações Finais

A técnica de *design* de fratura implementada, demonstra uma boa alternativa para melhorar a produtividade em campos de petróleo. Assim, pode-se considerar que a aplicação da técnica em reservatórios de baixa permeabilidade tem um potencial de tornar projetos com baixa atratividade econômica mais atrativos.

Agradecimentos

Agradeço a UDESC pelo espaço cedido para realização da pesquisa. Ademais, minha sincera gratulação a Professora orientadora que colaborou na execução do artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] Daal, J.A., Economides, M.J., 2006. Optimization of Hydraulically Fractured Wells in Irregularly Shaped Drainage Areas. Paper SPE 98047
- [2] Demarchos, A.S., Marongiu-Porcu, M., Economides, 2006. Transversely MultiFractured Horizontal Wells: A Recipe for Success. Paper SPE 102262.
- [3] S. Bhattacharya, M. Nikolaou, M.J. Economides., November 2012. UFD for very low permeability reservoirs.
- [4] M.M. Rahman, H. Yu, H.K. Sarma., January 2013. Transverse Fracturing of Horizontal Well - A UFD to Stimulate Tight Gas Sands. In SPE 164013
- [5] Matteo Marongiu-Porcu, Michael J. Economides, September 2013. Economic and physical optimization of hydraulic fracturing
- [6] Economides, M.J., Oligney, R.E., Valkó, P.P., 2002a. Unified Fracture Design. Orsa Press, Alvin, TX.
- [7] Cinco-Ley, H. Samaniego-V., *et. al*, August 1978. Transient Pressure Behavior for a Well with a Finite-Conductivity Vertical Fracture.