

AVALIAÇÃO ESTOCÁSTICA DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS CASCALHOS NA PERFURAÇÃO DE UM POÇO DE PETRÓLEO

Gallileu Genesis¹, Fabio Fagundes²

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Física Aplicada – galileugenesis@gmail.com

² Universidade Potiguar, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo - fabiofagundes_unp@yahoo.com.br

RESUMO

A remoção dos cascalhos gerados durante a perfuração de um poço de petróleo de baixa inclinação é afetada basicamente pelas propriedades reológicas do fluido de perfuração e as propriedades físicas dos cascalhos além da vazão de bombeio do fluido. Evidentemente todas essas variáveis estão sujeitas à influência de inúmeros fatores aleatórios, o que torna a determinação da eficiência de remoção dos cascalhos, ou eficiência de limpeza do poço, um problema de caráter estocástico. Para lidar com problemas desse tipo, pode-se usar uma técnica de simulação conhecida como Método de Monte Carlo (MMC). O objetivo desse trabalho, portanto, é analisar, sob a ótica estocástica, os parâmetros que afetam a eficiência de limpeza do poço. Com isso espera-se gerar dados e subsídios relevantes para a melhor escolha do fluido de perfuração e as condições de trabalho da bomba durante a perfuração, de modo a se maximizar a eficiência de limpeza do poço e preservar as condições ideais de operação. Os resultados mostram que a massa específica do fluido e a vazão de bombeio tem maior efeito sobre o aumento da limpeza do poço, ao passo que a viscosidade do fluido tem efeito muito menor. Dos dados apresentados conclui-se que a análise estocástica do problema de remoção dos cascalhos, através do MMC, apresenta-se como uma poderosa e eficiente ferramenta, podendo ser expandida para outros processos similares. E que se o objetivo é aumentar a qualidade de carregamento dos cascalhos, deve-se orientar ações com o intuito de otimizar os valores das variáveis massa específica do fluido e vazão de bombeio.

1. INTRODUÇÃO

A remoção dos cascalhos gerados durante a perfuração de um poço de petróleo de baixa inclinação é afetada basicamente pelas propriedades reológicas do fluido de perfuração e as propriedades físicas dos cascalhos além, é claro, da vazão de bombeio do fluido [Machado,2002; Costa et al [2006].

Propriedades como vazão de bombeio, densidade e viscosidade do fluido de perfuração podem ser perfeitamente controladas em campo, diferentemente das propriedades dos cascalhos, como sua densidade e seu tamanho (diâmetro).

Evidentemente todas essas variáveis estão sujeitas à influência de inúmeros fatores aleatórios, o que torna a determinação da eficiência de remoção dos cascalhos, ou eficiência de limpeza do poço, um problema de caráter estocástico. Para lidar com problemas desse tipo, pode-se usar uma técnica de simulação conhecida como Método de Monte Carlo (MMC), a qual se utiliza de um

conjunto de variáveis aleatórias e suas densidades de probabilidades (fdp) para, através de um modelo computadorizado, realizar milhares de experimentos aleatórios e assim, com base numa análise estatística, descrever o comportamento do sistema em estudo [SKOWRONSKI & TURER, 1997; BALSAM, 1999; HALL, 2006; WILLINK, 2006].

A capacidade de limpeza do poço está diretamente relacionado com a velocidade de sedimentação das partículas e quanto dessas partículas está sendo carregada pelo fluido de perfuração.

Para se determinar a velocidade de sedimentação das partículas existem diversos modelos matemáticos, sendo o utilizado nesse trabalho o proposto por Chien [BOURGOYNE, 1986]. Na Equação 1 está descrita a referida correlação matemática.

$$\frac{v_s}{\mu} = \frac{1}{1 + 0,0001 \mu} \left(\frac{1}{1 + 0,0001 \mu} \right)^{0,75} \left(\frac{1}{1 + 0,0001 \mu} \right)^{0,75} \left(\frac{1}{1 + 0,0001 \mu} \right)^{0,75} \left(\frac{1}{1 + 0,0001 \mu} \right)^{0,75}$$

[1]

Onde:

- = Velocidade de sedimentação (ft/s);
- = Viscosidade do fluido (cP);
- = Massa específica do fluido (lb/gal);
- = Massa específica dos Sólidos (lb/gal);
- = Diâmetro dos Sólidos (in).

Esse modelo leva a resultados bastantes satisfatórios, quando aplicados a poços de baixa inclinação (menos de 5°).

A velocidade do fluido de perfuração depende da vazão de bombeio a que este está sujeito e pode ser determinada pela equação que se segue.

[2]

Onde:

- = Velocidade do fluido (ft/s);
- = Vazão de bombeio (gmp);
- = Diâmetro externo (in);
- = Diâmetro interno (in);

E assim, a taxa com que os cascalhos são carregados é dada por:

[3]

Onde:

- = Velocidade média de remoção dos cascalhos (ft/s);

E com isso pode-se definir um parâmetro que ilustra a qualidade da limpeza do poço, denominado eficiência de limpeza do poço (ε), representada na seguinte equação:

[4]

Com essas informações pode-se visualizar como o carregamento dos cascalhos está se dando e com isso definir estratégias e tomadas de ações com objetivo de melhorar o procedimento de limpeza do poço.

Nesse sentido, a análise estocástica do processo fornece vantajosas informações aos técnicos e Engenheiros envolvidos no processo de perfuração, tendo em vista que envolve as incertezas

presentes nos parâmetros e de como cada um age sobre a qualidade da limpeza do poço, e reproduz assim informações muito mais completas e confiáveis.

O objetivo desse trabalho, portanto, é analisar, sob a ótica estocástica, os parâmetros que afetam a eficiência de limpeza do poço, através do modelo matemático proposto por Chien para cálculo da velocidade de sedimentação dos cascalhos e da equação de vazão do fluido de perfuração. Com isso espera-se gerar dados e subsídios relevantes para a melhor escolha do fluido de perfuração e as condições de trabalho da bomba durante a perfuração, de modo a se maximizar a eficiência de limpeza do poço e preservar as condições ideais de operação.

2. METODOLOGIA

Para se efetuar a simulação utilizou-se o software Crystal Ball e o Microsoft Excel. Realizou-se 100.000 simulações para cada variável aleatória.

Foram definidas como variáveis aleatórias a massa específica do fluido, com distribuição normal, de média 10 e desvio padrão 2 lb/gal, a massa específica dos Sólidos, distribuição normal, de média 20 e desvio padrão 3 lb/gal, diâmetro das partículas com distribuição retangular com valor mínimo de 0,10, mais provável 0,30 e máximo 0,50 in e a viscosidade do fluido, também com distribuição normal, de média 40 e desvio padrão de 24 cP. O trabalho se desenvolveu considerando-se sessão de perfuração com diâmetro externo de 12,25 e diâmetro interno de 6,25 in.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas simulações individuais para a velocidade de sedimentação das partículas, velocidade do fluido de perfuração e eficiência de limpeza do poço.

A Figura 1 mostra o histograma da simulação para a variável velocidade de sedimentação.

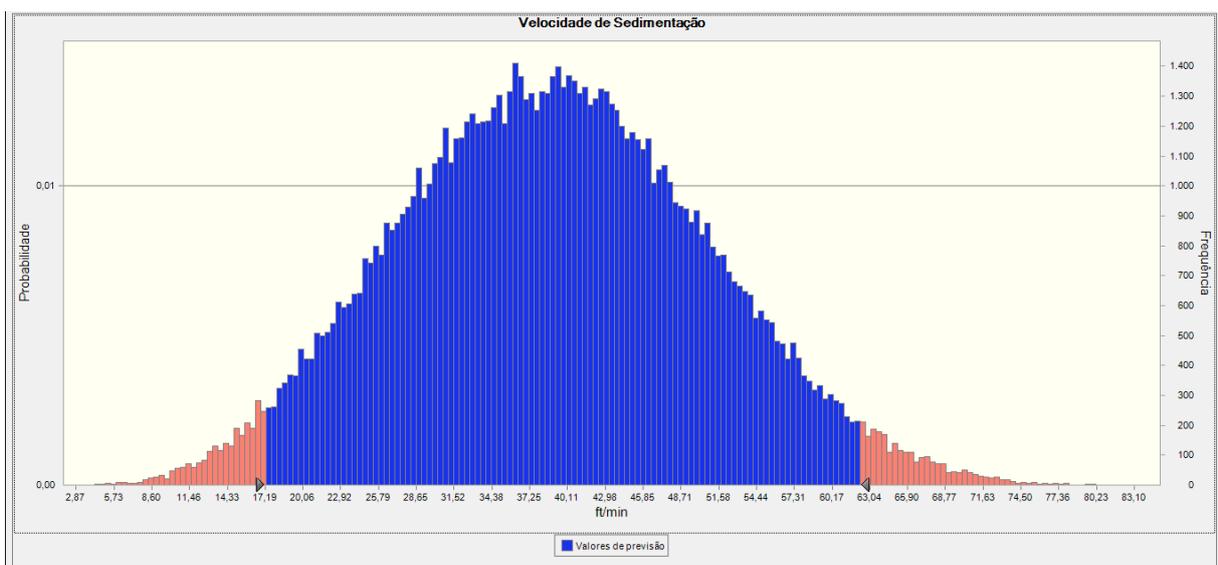


Figura 1: Histograma da simulação para a velocidade de sedimentação dos cascalhos.

O histograma da Figura 1 mostra que os valores da velocidade de sedimentação variam entre 17,19 e 62,23 ft/min para um nível de confiança de 95%. Os dados estatísticos da previsão mostram uma média de 39,04 e desvio padrão de 11,61 ft/min e curtose igual a 2,72.

Os dados de sensibilidade mostram que o diâmetro e a massa específica das partículas contribuem para o aumento da velocidade de sedimentação numa proporção de 45,6% e 24,5% respectivamente. Já a massa específica e a viscosidade do fluido agem contrariamente a velocidade de sedimentação com uma contribuição de -26,2% e -4,7% respectivamente.

A simulação da velocidade de fluxo do fluido no anular é representada a seguir.

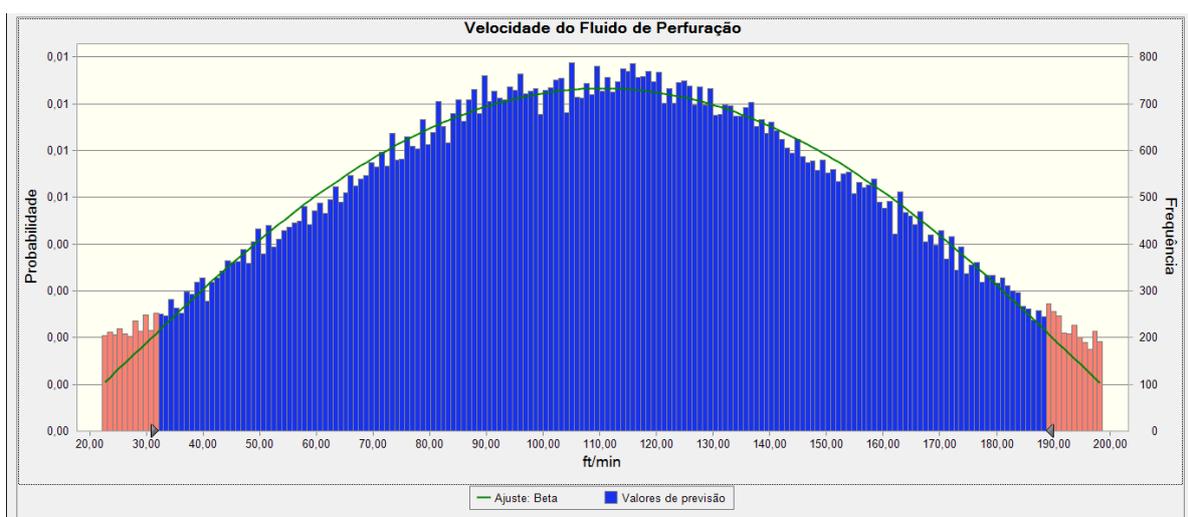


Figura 2: Histograma da simulação para a velocidade do fluido de perfuração.

Para um nível de certeza de 95% a velocidade do fluido de perfuração está entre 32,34 e 188,33 ft/min com média de 110 e desvio padrão de 42,41 ft/min, e com curtose igual a 2,2.

Considerando-se 120 ft/min como a velocidade ideal para uma limpeza razoável do poço, pode-se notar que valores iguais ou superiores a esse são obtidos em 42% dos casos.

Já a velocidade média de remoção dos cascalhos apresenta os seguintes resultados de previsão.

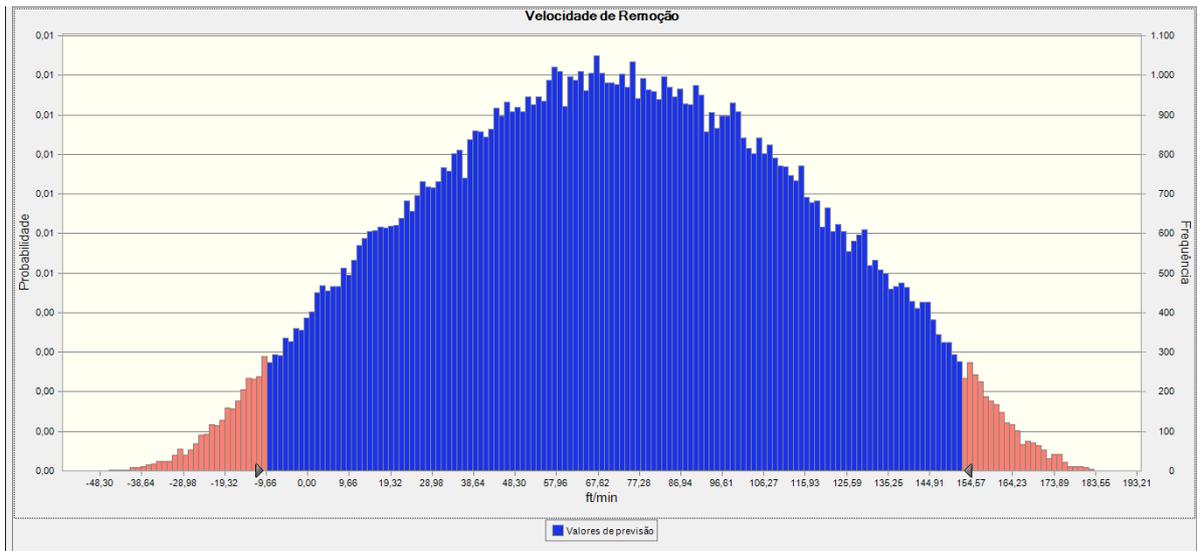


Figura 3: Histograma da simulação para a velocidade média de remoção dos cascalhos.

Como mostra a Figura 3, os valores da velocidade média de remoção dos cascalhos estão em -10 e 152,54 ft/min, para o mesmo nível de certeza de 95%. A média obtida foi de 71,40 ft/min, com desvio padrão de 43,77 ft/min, e curtose de 2,31.

É possível notar ainda, que em 95% dos casos os cascalhos estão sendo carreados, ou seja, a velocidade de remoção é maior que zero.

E finalmente, pode-se construir o histograma da simulação eficiência de limpeza do poço, mostrado na Figura abaixo.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

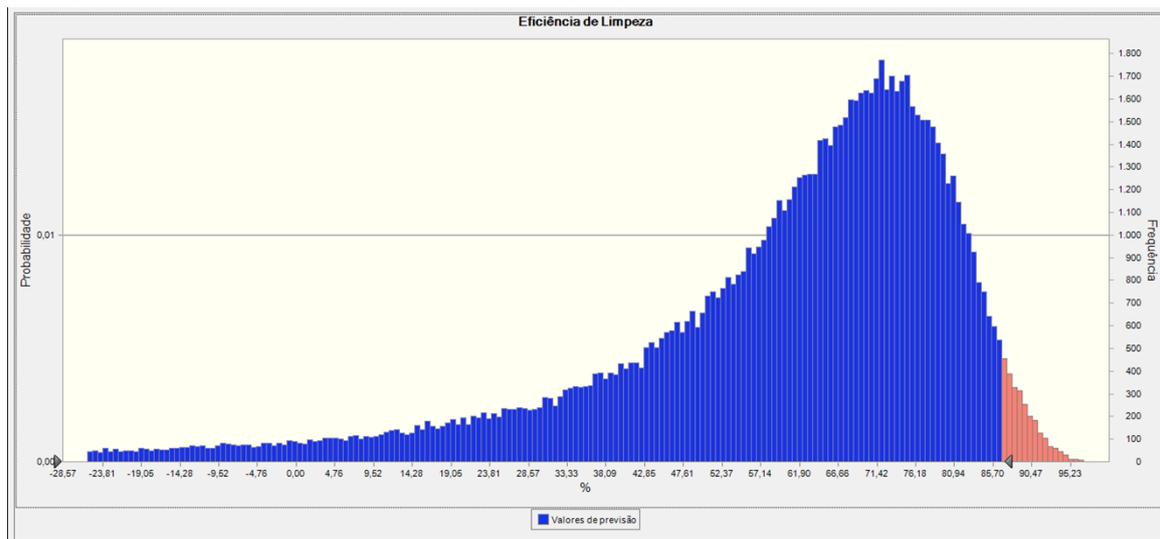


Figura 4: Histograma da simulação para a eficiência de limpeza do poço

O resultado da simulação mostra valores entre -27,67 e 86,94% com certeza de 95%. Isso implica que pode-se ter problemas na limpeza do poço, gerando acúmulo de cascalhos no anular, porém, as chances de ocorrência, para esse cenário, são muito pequenas, de modo que teremos valores positivos de eficiência de remoção em 94,8% dos casos.

Os dados de sensibilidade trazem informações importantíssimas de como se dá a limpeza do poço. Para o presente caso, temos que a vazão de bombeio age positivamente para o aumento da eficiência de limpeza, com um peso de 65,5%, da mesma forma que a massa específica e a viscosidade do fluido de perfuração, com efeito de 8,6 e 1,6%, respectivamente. Agem contrariamente a qualidade de limpeza do poço, o diâmetro e a massa específica das partículas, com -16 e 8,4 % de contribuição, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Perante todos os dados mostrados aqui, conclui-se que a análise estocástica do problema de remoção dos cascalhos, através do MMC, apresenta-se como uma poderosa e eficiente ferramenta, podendo ser expandida para outros processos similares. Com relação aos dados de simulação da eficiência de limpeza do poço, a vazão de bombeio desempenha papel crucial para o aumento dessa variável. No entanto, é importante destacar que o aumento demasiado da vazão pode acarretar em

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

problemas secundários, como desgaste excessivo das paredes do poço. Outro dado interessante é que a viscosidade do fluido tem efeito muito pequeno sobre a eficiência de limpeza, de modo que, se o objetivo é aumentar a qualidade de carreamento dos cascalhos, deve-se orientar ações com o intuito de otimizar os valores das variáveis massa específica do fluido e vazão de bombeio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALSAM, A. *Evaluation of C M M Uncertainty Through Monte Carlo Simulations*. CIRP – Manufacturing Technology, v. 48, n. 2, p. 425–428, 1999.
- BOURGOYNE JR, A. T., MILLHEIM, K. K., CHENEVERT, M. E., & YOUNG JR, F. *Applied Drilling Engineering*. SPE Textbook Series Vol. 2, 1991.
- Hall, B. D. *Monte Carlo uncertainty calculations with small-sample estimates of complex quantities*. Institute of Physics Publishing, v. 43, n -3, p. 220–226, 2006.
- MACHADO, José Carlos. *Reologia e Escoamento de Fluidos*. Interciência, 2002.
- SKOWRONSKI., V. J., & TURNER, U. *Using Monte-Carlo variance reduction in statistical tolerance synthesis*. Elsevir Science, v. 29, n -7, p. 63–69, 1997.
- WILLINK, R. *On Using the Monte Carlo Method to Calculate Uncertainty Intervals*. Metrologia, v. 43, n-6, L39–L42, 2006.