

FUNÇÃO MULTI-OBJETIVO: maximização da taxa de penetração e minimização da energia mecânica específica

Diunay Zuliani Mantegazini
Universidade Estadual Paulista - UNESP
diunay.mantegazini@unesp.br

João Andrade de Carvalho Júnior
Universidade Estadual Paulista - UNESP
ja.carvalho@unesp.br

Andreas Nascimento
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEL
andreas.nascimento@unifei.edu.br

RESUMO

A crescente demanda energética mundial obrigou a indústria petrolífera a buscar reservas de petróleo e gás em ambientes hostis. O descobrimento e exploração da província carbonática do Pré-sal trouxe enormes desafios relacionados à caracterização dos reservatórios e a otimização da atividade de perfuração. O custo da atividade de perfuração em condições adversas pode ultrapassar o valor de 1 milhão.dia⁻¹. Devido a esse elevado custo, as empresas tem buscado nas ultimas décadas métodos inovadores capazes de tornarem esse processo mais eficiente. Uma dessas formas é através da análise de parâmetros operacionais em tempo real, de modo a buscar a mais elevada Taxa de Penetração (ROP) em combinação com a menor Energia Mecânica Específica (MSE) durante o processo de perfuração. A análise dos parâmetros em tempo real juntamente com a utilização do teste pré-operacional possui o potencial de tornar esse processo mais eficiente. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa é obter uma função multi-objetivo através da combinação entre a ROP e a MSE por meio do teste pré-operacional.

Palavras-chave: Eficiência; Otimização; Perfuração; Pré-sal; Teste pré-operacional.

1 INTRODUÇÃO

A descoberta da província carbonática do Pré-sal é um marco na exploração e produção de hidrocarbonetos no Brasil (MELLO; LUPINACCI, 2022). Atualmente o Pré-sal brasileiro responde por mais de 70% da produção de petróleo do país (CASTRO; LUPINACCI, 2022). No entanto, a descoberta dos campos do Pré-sal trouxe novos desafios relacionados à caracterização dos reservatórios (ZAMBRINI et al., 2020). A caracterização dos reservatórios do Pré-sal é uma tarefa desafiadora, devido à alta complexibilidade e heterogeneidade.

A perfuração de poços de petróleo e gás é uma operação bastante desafiadora, e que implica em elevados custos econômicos (NAJJARPOUR; JALALIFAR; NOROUZI-APOURVARI, 2022) (HASSAN; ELKATATNY; AL-MAJED, 2020). O processo de perfuração em condições adversa, como por exemplo, em algumas regiões do Pré-sal brasileiro pode atingir cerca de US\$ 1,3 milhão.dia⁻¹(NASCIMENTO et al., 2017). Logo, tendo em vista os novos desafios da indústria e a crescente demanda energética mundial, faz-se necessário o desenvolvimento e aprimoramento dos métodos de otimização do processo de perfuração (OLIVEIRA; MANTEGAZINI; NASCIMENTO, 2021).

A Taxa de Penetração (ROP, do inglês *Rate of Penetration*) e a Energia Específica Mecânica (MSE, do inglês *Mechanical Specific Energy*) são dois fatores-chave para avaliar a eficiência do processo de perfuração (ZHOU et al., 2017). A ROP é definida como a velocidade na qual uma broca de perfuração quebra uma determinada formação rochosa para aprofundar o poço (ALSAIHATI; ELKATATNY; GAMAL, 2022). A previsão precisa da ROP é um assunto de grande importância e desempenha um papel crucial na melhoria da eficiência e minimização de custos no processo de perfuração (ELKATATNY, 2021) (NAJJARPOUR; JALALIFAR; NOROUZI-APOURVARI, 2021) (ZHOU et al., 2021).

Enquanto que, a MSE é definida como a energia necessária para perfurar uma determinada formação rochosa, que deve ser analisada parametricamente para estimar corretamente as ineficiências da perfuração (GUO et al., 2021). Como tal, na indústria de perfuração, este conceito tem sido utilizado como uma ferramenta para avaliar o desempenho das operações de perfuração, pois a eficiência máxima pode ser alcançada no ponto em que a MSE possui o menor valor (ANEMANGELY; RAMEZANZADEH; MOHAMMADI BEHBOUD, 2019).

O teste pré-operacional conhecido na indústria petrolífera com “*drill-rate test*” tem se mostrado bastante promissor na escolha dos parâmetros ótimos. O *drill rate test* é um teste

realizado para auxiliar na escolha dos parâmetros que otimizem a atividade de perfuração, ou seja, parâmetros que levem à perfurar uma fase no menor tempo possível economizando assim tempo de sonda, e consequentemente diminuindo os custos totais. O teste é realizado no início da perfuração de uma fase durante um curto intervalo de profundidade e tempo, e consiste em aumentar o peso sobre a broca (WOB, do inglês *Weight-on-bit*), mantendo um valor de velocidade de rotação (RPM) constante (SOUTO; NASCIMENTO, 2016). Com esses valores plota-se as curvas (ROP vs. WOB e MSE vs. WOB) e procura-se o ponto ótimo.

Embora qualquer otimização leve a economias de custos diretas e significativas, o setor tem demorado a se adaptar (NAJJARPOUR; JALALIFAR; NOROUZI-APOURVARI, 2020). Dessa forma, a combinação de ambas as técnicas (maximização da ROP e minimização da MSE) acopladas ao teste pré-operacional permitirá obter a combinação ótimas das variáveis durante o processo de perfuração.

2 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A pesquisa está sendo desenvolvida por meio de uma parceria entre a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - São Mateus – ES – Brasil e Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Guaratinguetá – São Paulo – Brasil. A UFES possui uma Bancada de Didática e de Pesquisa de Perfuração instalada no Laboratório de Perfuração (LabPerf).

A Bancada de Didática e de Pesquisa de Perfuração representa a primeira unidade laboratorial deste tipo instalada na América Latina, feito importantíssimo para as pesquisas técnico-científicas e avanços tecnológicos. O equipamento é totalmente automatizado e com diversos sensores anexados à coluna de perfuração, para medição de parâmetros mecânicos, sinais de vibração, dentre outros.

Este equipamento permite pesquisas inerentes às tecnologias de monitoramento de poço, desenvolvimento de experimentos de fluidos aplicado às atividades de perfuração e completação, análise de perfuração, simulação de perfuração em tempo-real, análise mecânica de penetração em rocha, monitoramento semi-automático de vibrações, análise e estudo de otimização de penetrabilidade e eficiência operacional em termos de utilização de energia, tanto na perfuração de poços de petróleo e gás, quanto na exploração de outros tipos de recursos naturais, como por exemplo, a perfuração de poços geotérmicos e artesianos.

Para a realização dos testes de perfuração e análise dos efeitos das propriedades mecânicas, serão construídos blocos de concreto com dimensões aproximadas de 50x50x50 cm³. Serão construídos blocos uniformes e blocos com diferentes camadas, além de diferentes

relações água/cimento simulando as formações rochosas onde serão realizadas as operações de perfuração. Serão avaliadas as principais variáveis operacionais, dentre elas o peso sobre a broca (WOB), velocidade de rotação (RPM), vazão (Q) e torque (TOB) sobre as variáveis respostas taxa de penetração e energia mecânica específica com o auxílio do teste pré-operacional.

3 CONCLUSÕES

Esta pesquisa visa auxiliar no desenvolvimento das atividades de perfuração, para que ocorram de forma mais eficientes. Ao final, espera-se identificar, analisar e avaliar como as variáveis operacionais (WOB, RPM, Q e TOB) afetam as variáveis respostas (ROP e MSE). Além disso, espera-se também, obter uma função multi-objetivo capaz de combinar a mais elevada ROP e a menor MSE.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALSAIHATI, A.; ELKATATNY, S.; GAMAL, H. Rate of penetration prediction while drilling vertical complex lithology using an ensemble learning model. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 208, p. 109335, 2022.

ANEMANGELY, M.; RAMEZANZADEH, A.; MOHAMMADI BEHBOUD, M. Geomechanical parameter estimation from mechanical specific energy using artificial intelligence. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 175, p. 407–429, 2019.

CASTRO, T. M. De; LUPINACCI, W. M. Comparison between conventional and NMR approaches for formation evaluation of presalt interval in the Buzios Field, Santos Basin, Brazil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 208, p. 109679, 2022.

ELKATATNY, S. Real-time prediction of rate of penetration while drilling complex lithologies using artificial intelligence techniques. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, n. 1, p. 917–926, 2021.

GUO, Y.; REN, G.; YANG, F.; YANG, Y.; BOKOV, D. O.; FARDEEVA, I. N. An analytical method to select appropriate linear and non-linear correlations on the effectiveness of penetration rate parameter towards mechanical specific energy. **Energy Reports**, v. 7, p. 3647–3654, 2021.

HASSAN, A.; ELKATATNY, S.; AL-MAJED, A. Coupling rate of penetration and mechanical specific energy to Improve the efficiency of drilling gas wells. **Journal of**

Natural Gas Science and Engineering, v. 83, p. 103558, 2020.

MELLO, V. L. De; LUPINACCI, W. M. Mineralogy based classification of carbonate rocks using elastic parameters: A case study from Buzios Field. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 209, p. 109962, 2022.

NAJJARPOUR, M.; JALALIFAR, H.; NOROUZI-APOURVARI, S. The effect of formation thickness on the performance of deterministic and machine learning models for rate of penetration management in inclined and horizontal wells. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 191, p. 107160, 2020.

NAJJARPOUR, M.; JALALIFAR, H.; NOROUZI-APOURVARI, S. Fifty years of experience in rate of penetration management: Managed pressure drilling technology, mechanical specific energy concept, bit management approach and expert systems - A review. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, p. 109184, 2021.

NAJJARPOUR, M.; JALALIFAR, H.; NOROUZI-APOURVARI, S. Half a century experience in rate of penetration management: Application of machine learning methods and optimization algorithms - A review. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 208, p. 109575, 2022.

NASCIMENTO, A.; ELMGERBI, A.; ROOHI, A.; PROHASKA, M.; THONHAUSER, G.; GONÇALVES, J. L.; MATHIAS, M. H. Reverse Engineering: A New Well Monitoring and Analysis Methodology Approaching Playing-Back Drill-Rate Tests in Real-Time for Drilling Optimization. **Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME**, v. 139, n. 1, 2017.

OLIVEIRA, L. S. R.; MANTEGAZINI, D. Z.; NASCIMENTO, A. Otimização da perfuração de poços de petróleo: Uma revisão acerca da variação da vazão de Fluidos de perfuração. In: IV CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS 2021, **Anais... IV CONEPETRO**, 2021.

SOUTO, T. C.; NASCIMENTO, A. Metodologia para Otimização da Perfuração aplicada ao Pré-Sal: Análise através da Energia Mecânica Específica. **Latin American Journal of Energy Research**, p. 1–13, 2016.

ZAMBRINI, J.; LUPINACCI, W. M.; GAMBOA, L. A. P.; NEVES, I. A.; CHERENE, R.; AZUL, M. O. The impact of the complex evaporites features' on the seismic illumination of the underlying rocks: A case study in the Brazilian presalt. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 191, p. 107177, 2020.

ZHOU, Y.; CHEN, X.; ZHAO, H.; WU, M.; CAO, W.; ZHANG, Y.; LIU, H. A novel rate of penetration prediction model with identified condition for the complex geological drilling process. **Journal of Process Control**, v. 100, p. 30–40, 2021.

ZHOU, Y.; ZHANG, W.; GAMWO, I.; LIN, J. S. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 100, p. 287–297, 2017.