



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE ÁGUA POR MEIO DE ULTRASSOM

NORONHA^{*1}, E. V. N.; MAGALHÃES², S. C.; CALÇADA³, L. A.; SCHEID³, C. M.

¹Aluno do DEQ/UFRRJ ²Engenheiro Químico do LEF/UFRRJ ³Professor do DEQ/UFRRJ
Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Endereço – UFRRJ, BR 465, km 07, Seropédica, CEP. 23.890-000, RJ,
email: scheid@ufrj.br

RESUMO – Utilizou-se um modelo matemático baseado em rede neuronal para viabilizar o uso de um instrumento de medição em tempo real de concentração de sólidos suspensos em fluido de perfuração. O equipamento foi instalado em uma unidade de escoamento de fluidos, devidamente automatizada e instrumentada. Os resultados gerados nesta unidade são armazenados e tratados em um supervisor construído em linguagem Labview®. O instrumento adquirido calcula o nível de atenuação da energia sonora durante a emissão de uma onda ultrassônica no seio do fluido, e correlaciona esta medida com a concentração de sólidos suspensos. Originalmente o instrumento foi desenvolvido para trabalhar com suspensões de sólidos em água pura e a baixas concentrações de sólidos suspensos. Tais condições físico-químicas são diferentes dos fluidos de perfuração base água, que apresentam variações distintas de reologia e alta concentração de sólidos quando comparados com o fluido de calibração. Resultados preliminares demonstraram que a correlação de fábrica para cálculo da concentração de sólidos suspensos a partir da atenuação não apresenta resultados satisfatórios para fluidos de perfuração, que possuem reologia complexa e altas concentrações de sólidos (acima de 250g/l). A partir de um conjunto de dados experimentais de atenuação, viscosidade aparente, densidade e velocidade do som no meio, adquiridos simultaneamente em tempo real por meio de instrumentos de processo também instalados na linha de escoamento, foi possível treinar uma rede neuronal para a estimação correta da concentração de sólidos suspensos. Os resultados experimentais de validação demonstraram concordância com os preditos pela rede.

Palavras chave: automação, fluido de perfuração, medidas em tempo real.

INTRODUÇÃO

Uma vez detectada a presença da rocha reservatária de óleo, a maneira de se extrair este óleo é perfurando. O método clássico de perfuração de poços petrolíferos é o método rotativo. Neste método, a perfuração é realizada através do rotacionamento de uma

coluna de perfuração que possui em sua extremidade uma broca. A combinação do peso e da rotação da broca causa a destruição da formação geológica acima do reservatório, vide Figura 1 (Mansano, 2004).

*Bolsista Pibic.

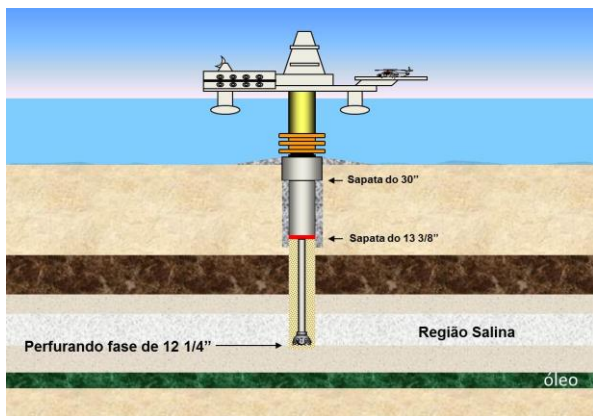


Figura 1 – Esquema simplificado de um processo de perfuração.

Para que esta técnica de perfuração seja bem sucedida, é necessário o uso de um fluido de perfuração. Suas principais funções são de carrear os cascalhos formados pela perfuração, resfriar e lubrificar a broca e manter a pressão interna do poço dentro da faixa operacional estabelecida.

Segundo Thomas (2002) os principais tipos de fluidos de perfuração são fluidos a base de água ou a base sintética. Nos fluidos base água a parte líquida é composta por água, possui aditivos químicos como viscosificantes (polímeros), lubrificantes, reguladores de pH, e sólidos em suspensão como agentes adensantes, tamponantes, viscosificantes (argila) e iônicos. Já nos fluidos base sintética a parte líquida é composta por uma emulsão inversa, onde a água é a fase dispersa e o óleo a fase contínua. Este fluido também possui aditivos químicos como viscosificantes (polímeros), lubrificantes, emulsificantes, reguladores de pH e saponificantes. Possui sólidos em suspensão como agentes adensantes, tamponantes, viscosificantes (argila) e iônicos. O tipo de fluido a ser utilizado depende do cenário de perfuração e tipo de poço. Os fluidos sintéticos são mais estáveis do ponto de vista físico-químico, ou seja, frente a perturbações inerentes ao processo (invasão de água e sólidos) a variação de suas propriedades não ocorre na mesma intensidade do que observado nos fluidos de perfuração base água. Porém, apresentam um descarte mais caro devido a questões ambientais.

Para que o fluido de perfuração exerça suas funções, as principais características físico-químicas devem ser mantidas dentro de

uma faixa operacional de projeto. São elas reologia, estabilidade elétrica, densidade, teor de água em óleo e teor de sólidos totais. Todas essas propriedades estão diretamente relacionadas com o controle da pressão interna do poço.

Este trabalho tem como objetivo estudar maneiras de monitorar e determinar, em tempo real (*on line*), as propriedades físico-químicas dos fluidos de perfuração, com enfoque no desenvolvimento de técnicas para medir a concentração de sólidos em suspensão. Atualmente, frente aos cenários críticos encontrados pela indústria petrolífera, o controle e monitoramento remoto das propriedades físico-químicas destes fluidos pode ser uma ferramenta para aumentar a segurança e produtividade das operações, visto que este controle é feito, hoje em dia, de forma manual.

Oort (2011) afirma que problemas operacionais drásticos podem ser evitados se um diagnóstico adequado é feito precocemente durante os processos de perfuração. O autor afirma que a planta operacional apresenta sintomas antes de efetivamente ocorrer um problema. Se estes sintomas são adequadamente classificados e medidos, é possível resolvê-los antes de ocorrerem. É neste sentido que este trabalho desenvolve suas atividades.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa foi baseada na avaliação experimental do desempenho de um medidor importado de concentração de sólidos em suspensão. Os dados de concentração de sólidos obtidos na unidade de automação foram confrontados com dados obtidos em bancada (*off line*) por meio de equipamentos típicos da literatura. O equipamento foi instalado em uma unidade piloto de automação devidamente instrumentada, vide figura 2, com o objetivo de permitir o controle remoto de todos os equipamentos, sendo eles: medidores de pressão, trocador de calor, transmissor de temperatura, medidor de vazão mássica, medidores de pressão diferencial, viscosímetro, condutivímetro e medidor de concentração de sólidos suspensos. De acordo

com a figura 2, o fluido de perfuração é produzido nos tanques e bombeado por meio de uma bomba de deslocamento positivo para a linha da unidade de automação toda instrumentada. Nesta linha fazem-se as aferições de reologia, estabilidade elétrica, densidade, teor de água em óleo e teor de sólidos totais suspensos. Na figura 3 pode ser observada uma foto da unidade experimental.

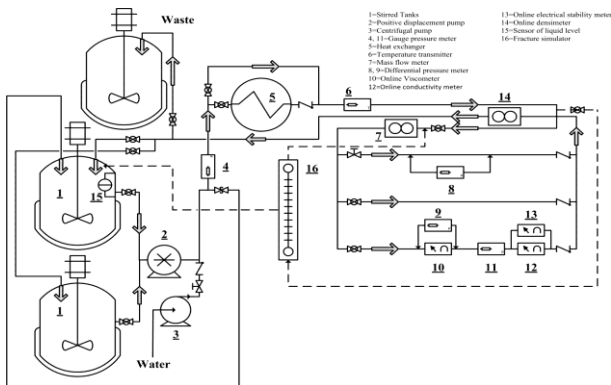


Figura 2 – Desenho esquemático da unidade de automação, produção e escoamento de fluidos de perfuração.



Figura 3 – Foto da unidade de automação abrigada no Laboratório de Escoamento de Fluidos na UFRRJ.

A unidade piloto também foi equipada com um *software* montado em linguagem *LabView®* para gerenciar e modelar os dados gerados, vide figura 4.

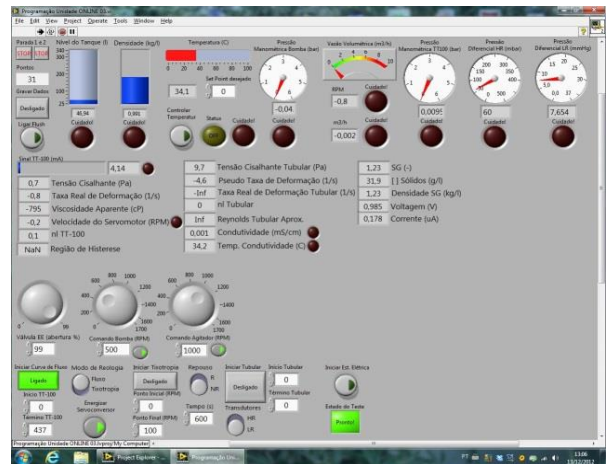


Figura 4 – Imagem da tela do operador. Software escrito em linguagem LabView® para gerenciar a unidade.

O equipamento Rhosonics é constituído de sensores, uma sonda emissora de ultrassom e outra receptora. Ele comporta uma central de processamento de dados onde a aferição é mostrada por meio da tela, como mostram as figuras 5.a, 5.b e 5.c.



Figura 5.a – Foto do display do equipamento Rhosonics.



Figura 5.b – Foto da central de processamento de dados do equipamento Rhosonics.



Figura 5.c – Foto do sensor do equipamento Rhosonics instalado na linha.

O equipamento Rhosonics mede a atenuação de uma onda ultrassônica e a velocidade do som em um fluido durante o bombeio. Originalmente de fábrica o equipamento tem uma correlação empírica em que o fabricante relaciona a atenuação com a concentração de sólidos suspensos e relaciona também a velocidade do som com o cálculo da densidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de verificar o desempenho da calibração de fábrica do equipamento Rhosonics foram feitos experimentos preliminares.

No experimento adicionou-se barita à água pura ocasionando o adensamento da mesma. Após o encerramento do experimento representou-se graficamente o comportamento da concentração de sólidos suspensos em função do tempo teste.

A figura 6 mostra um resultado típico da concentração de sólidos *on line* e *off line* usando a calibração original de fábrica.

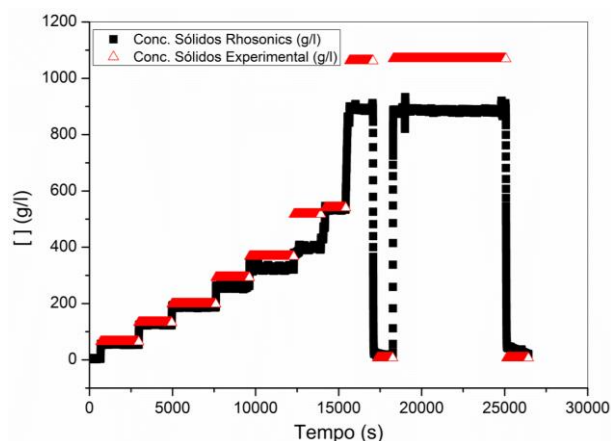


Figura 6 – Resultado típico da concentração de sólidos obtidos no equipamento e experimentalmente em função do tempo de teste.

Cada degrau observado na figura 6 corresponde a uma nova quantidade de barita adicionada ao fluido. As determinadas quantidades de barita foram adicionadas diretamente no tanque cuja agitação era contínua. A adição se deu da seguinte maneira: as oito porções iniciais correspondiam a 5 Kg cada, as nove porções seguintes foram de 10 Kg cada, seguidas de duas porções de 25 Kg cada e uma última porção de 40 Kg.

Deve-se salientar que o volume inicial no tanque era de 158 litros de água pura.

Por meio da figura 6 observou-se que a relação entre as concentrações dos sólidos suspensos *on line* e *off line* (eixo y do gráfico) e o tempo de teste (eixo x do gráfico) apresentam divergências para concentrações acima de 250 g/L, aproximadamente. Ou seja, verificou-se que os resultados de concentração de sólidos suspensos calculados pelo equipamento são próximos dos resultados *off line* apenas em baixas concentrações. Portanto, originalmente, o equipamento não apresenta resultados satisfatórios quando usado em fluidos com altas concentrações de sólidos.

Para verificar o desempenho do equipamento frente a fluidos não-newtonianos, um segundo teste foi executado.

Observou-se que a mudança da viscosidade aparente à 1021 s^{-1} também muda a atenuação da onda ultrassônica, vide figura 7.

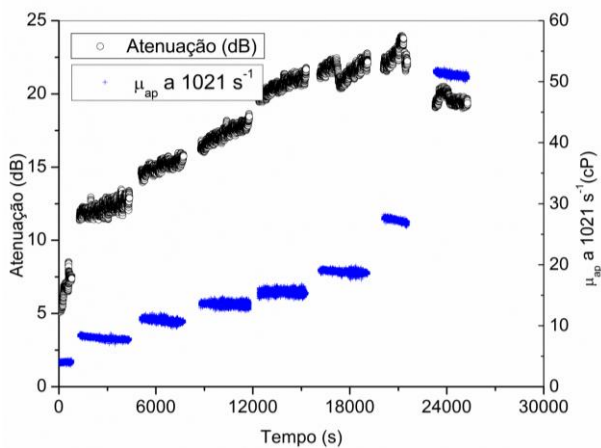


Figura 7 – Resultado típico de atenuação obtido no equipamento e viscosidade aparente do fluido em estudo em função do tempo de teste.

De acordo com a figura 7, observou-se que a atenuação, no gráfico em preto, teve um aumento diretamente proporcional com a viscosidade, no gráfico em azul, em função do tempo de teste (eixo x). Verificou-se que a viscosidade aparente contribui para o aumento da atenuação, isto é explicado devido à onda sonora sofrer diferentes graus de atenuação de acordo com a estrutura molecular do fluido.

Fez-se um planejamento experimental para considerar o efeito da viscosidade aparente na atenuação, uma vez que o fluido é não-newtoniano e a viscosidade aparente é variável. Foi utilizado no equipamento um modelo baseado em rede neuronal para prever a concentração de sólidos baseado nos dados de entrada de atenuação da onda ultrassônica, viscosidade aparente, densidade e velocidade do som.

A figura 8 representa um resultado típico de dados de treinamento para a rede neuronal.

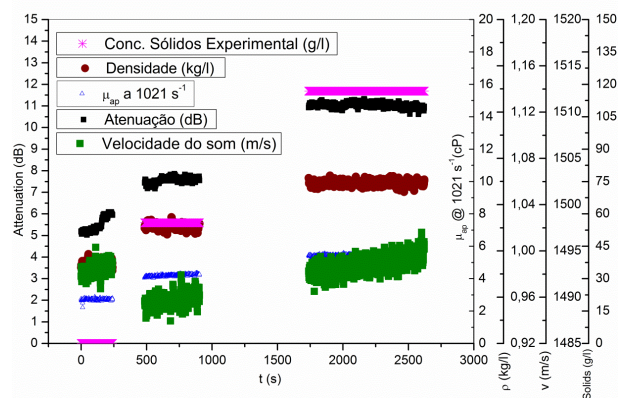


Figura 8 – Resultados típicos de concentração de sólidos, atenuação, densidade, viscosidade aparente e velocidade do som obtidos na unidade de automação em função do tempo de teste.

Na figura 8 tem-se um exemplo típico de um resultado experimental que participou da rede de treinamento. Através da linha instrumentada pode-se medir a densidade e a viscosidade aparente do sistema. Por exemplo, se há variação da atenuação da onda ultrassônica e da viscosidade aparente, porém a densidade não varia, a rede neuronal deve entender que não houve variação na concentração de sólidos. Em contra partida, se há variação da atenuação da onda ultrassônica e da densidade, porém a viscosidade aparente não varia, a rede neuronal deve entender que houve variação da concentração de sólidos totais no sistema.

Na figura 8, a característica inicial do sistema é em água pura, pode-se perceber que a concentração de sólidos, em rosa, é zero. A partir deste momento foi adicionado um viscosificante, a bentonita (argila). Este sólido acresce a densidade, a concentração de sólidos, e também viscosidade aparente. No próximo momento, foi adicionado um adensante, carbonato de cálcio. Este aumentou consideravelmente a atenuação da onda ultrassônica, a densidade e, portanto, a concentração dos sólidos, porém não aumentou significativamente a velocidade do som e nem da viscosidade aparente.

À medida que o sistema foi sendo alterado devido a constante adição de diferentes tipos de sólidos e aditivos, as variações das propriedades físico-químicas de densidade, viscosidade aparente, atenuação, velocidade do som e concentração de sólidos

foram aferidas e acumuladas em um banco de dados. As quatro primeiras propriedades constituem as variáveis de entrada da rede e a quinta, a variável de saída. Desta forma, espera-se que a rede calcule satisfatoriamente a concentração de sólidos suspensos em um sistema em que há variação da atenuação causada por fontes distintas: presença de sólidos e mudança de viscosidade aparente.

As figuras 9.a e 9.b mostram resultados estatísticos da rede neuronal construída. A rede foi montada em arquitetura MLP com quatro entradas, cinquenta neurônios e uma saída.

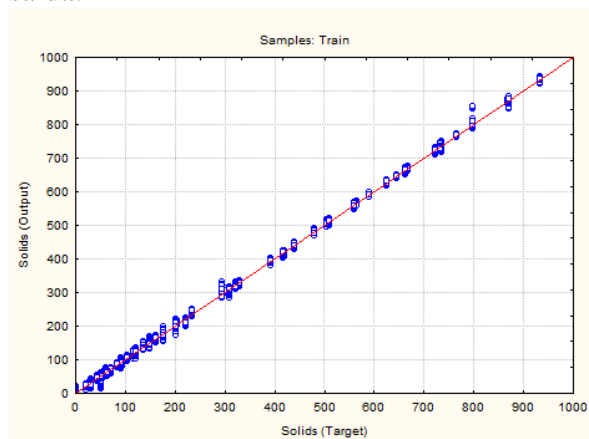


Figura 9.a – Resultados de concentração de sólidos previstos pela rede neuronal (Output) versus concentração de sólidos experimental (Target).

Na figura 9.a o eixo x representa os sólidos calculados experimentalmente e no eixo y estão demonstrados os sólidos previstos pela rede neuronal. Devido à proximidade dos pontos à linha de 45 graus, conclui-se que o ajuste foi satisfatório. Quanto mais próximo desta linha menor é o desvio existente entre ambos.

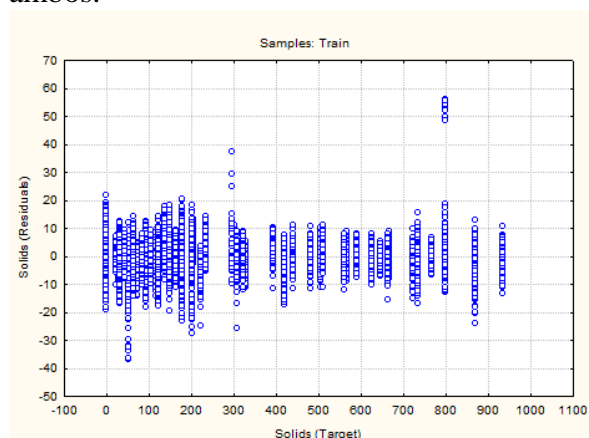


Figura 9.b – Resultados previstos pela rede e seus respectivos resíduos.

Completa-se a análise observando os resíduos, onde este é uma variável subtraída da outra. No centro do gráfico acima se tem o resíduo zero, sendo este o desejado. É perceptível que se tem pontos fora da curva, mas analisando todos os pontos em geral percebe-se que os resíduos são relativamente baixos mostrando um resultado satisfatório.

CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento do estudo da determinação da concentração de sólidos em tempo real na unidade de automação, por medidas acústicas, utilizou-se um equipamento Rhosonics que é capaz de aferir a atenuação de uma onda ultrassônica emitida e a velocidade com que o som se propaga no meio. O mesmo correlaciona o nível desta atenuação com a concentração de sólidos presentes no meio. Os resultados preliminares demonstraram que a calibração de fábrica é adequada somente se o fluido utilizado não variar a viscosidade aparente (newtoniano) e se as concentrações de sólidos totais estiverem em até 250 g/l. Para a determinação da correta concentração de sólidos em suspensão em fluidos de perfuração, cuja característica reológica é pseudoplástica e as concentrações típicas de sólidos estão acima do valor anteriormente citado, foi necessária uma calibração especial. Utilizou-se um algoritmo baseado em rede neuronal para correlacionar a densidade, viscosidade aparente, atenuação do ultrassom e velocidade do som no meio com a concentração de sólidos totais. A comparação direta entre os dados de concentração de sólidos estimados pela rede e aqueles estimados experimentalmente apresentaram concordância.

REFERÊNCIAS

- MANSANO, R. B. (2004), Engenharia de Perfuração e Completação em Poços de Petróleo, Florianópolis (apostila).
- OORT, E. V. (2011), Case-Based Reasoning System Predicts Twist-off in Louisiana Well Based on Mideast Analog, Special Focus – Drilling Technology.
- RHOSONICS (2009), Ultrasonic Suspended Solids (TSS) and Dissolved Solids

(TDS) Analyzer Model 9670 – Manual.
Software Version: 2.2.7.

THOMAS (2002), Perfuração.
In: Fundamentos de Engenharia do Petróleo.
Editora Interciência. Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTOS

Este projeto foi apoiado pela
PETROBRAS e PIBIC.