



OBTENÇÃO DE COLCHÃO LAVADOR A BASE DE TENSOATIVO E ÓLEO VEGETAL PARA REMOÇÃO DE FLUIDO DE PERFURAÇÃO NÃO AQUOSO

Rayanne Macêdo Aranha ¹; Victória de Lima Mochizuki ²; Fabíola Dias da Silva Curbelo ³; Alfredo Ismael Curbelo Garnica ⁴; Júlio Cezar de Oliveira Freitas ⁵

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – rayanne.macedo7@gmail.com

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – vivi_mochizuki@hotmail.com

³ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – fabioladias@yahoo.com

⁴ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – alfredocurbelo@yahoo.com

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química – juliofreitasj@hotmail.com

RESUMO

A operação de cimentação é uma etapa de extrema importância para as fases de perfuração e completação de poços de petróleo. Para que a cimentação seja bem sucedida, deve-se garantir que o fluido de perfuração e o reboco tenham sido removidos. Por isso, antes da cimentação, devem ser injetados fluidos intermediários, chamados colchões lavadores e espaçadores, que realizam a limpeza do poço. Baseado nisso, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de colchão lavador a base de óleo vegetal e tensoativo, para futura aplicação na operação de cimentação, com a finalidade de remover o reboco formado por fluido de perfuração não aquoso e, conseqüentemente, melhorar a aderência dos sistemas cimento-formação e cimento-revestimento. As amostras de colchão lavador foram preparadas a partir dos seguintes constituintes: tensoativo, óleo vegetal e fase aquosa. Foram utilizados dois tipos de tensoativos, um aniônico (A) e um não iônico (B). As fases oleosa e aquosa foram mantidas fixas, sendo elas: óleo vegetal (C) e solução salina 2% em peso NaCl, respectivamente. Após síntese do colchão, foram realizados testes de eficiência de remoção. O colchão mais eficiente foi selecionado e sua reologia foi estudada. De acordo com os resultados experimentais, o colchão lavador composto pelo tensoativo A obteve o melhor percentual de remoção de 98,48%, apresentado comportamento de fluido Newtoniano. Diante disso, o estudo realizado comprovou que o sistema de colchão lavador a base de óleos vegetal e tensoativo é uma alternativa atraente para a remoção de fluido de perfuração não aquoso.

Palavras-chave: Colchão lavador, cimentação, fluido de perfuração, tensoativos.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente busca por petróleo tem gerado um enorme avanço tecnológico nas atividades de exploração, desenvolvimento e produção. No ramo da perfuração de poços de petróleo, esse avanço tem permitido o alcance de profundidades acima dos 6000 m de distância do fundo do mar, segundo dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP).

Tecnicamente, a perfuração consiste no conjunto de várias operações e atividades necessárias para atravessar as formações geológicas que formam a porção superficial da crosta terrestre, com a finalidade de prospectar hidrocarbonetos.

Ao longo do processo de perfuração de poços de petróleo são circulados fluidos, denominados *fluidos de perfuração*, de forma a garantir uma operação favorável e segura. Após esse



processo, desce uma coluna de revestimento e o espaço anular existente entre o revestimento e a parede do poço é preenchido com uma pasta de cimento, dando início a etapa de cimentação que, por sua vez, pode ser classificada em primária e secundária. [THOMAS,2004]

A operação de cimentação é uma etapa de extrema importância para as fases de perfuração e completção de poços de petróleo. O seu objetivo principal é unir a tubulação de revestimento com a parede do poço garantindo, dessa forma, a estabilidade estrutural da formação e prevenindo a infiltração de fluidos indesejáveis que podem ser corrosivos. [NASCIMENTO,2006]

Para que a cimentação seja bem sucedida deve-se garantir que o fluido de perfuração e o reboco (depósito de sólidos presentes no fluido de perfuração nas paredes porosas da formação) tenham sido removidos. Com esse propósito, antes da cimentação em si, injeta-se fluidos intermediários, chamados de “colchões”, sendo eles o colchão lavador e espaçador. O primeiro remove o reboco, protege o cimento de possíveis contaminações por aditivos presentes no fluido de perfuração e prepara a parede do poço para uma melhor aderência do cimento. Já o segundo, comporta-se como uma barreira física que busca minimizar o contato entre o fluido de perfuração e a pasta de cimento, evitando que esta se contamine. [DE ALBUQUERQUE, 2014]

Baseado nisso, este trabalho desenvolveu um sistema de colchão lavador a base de tensoativo e óleo vegetal, para futura aplicação na operação de cimentação de poços de petróleo, com a finalidade de remover o reboco formado por fluido de perfuração não aquoso e, conseqüentemente, melhorar a aderência dos sistemas

cimento-formação e cimento-revestimento.

1.1. Colchão lavador

Em uma definição mais formal, de acordo com CAMPOS (2001), “colchão lavador é o fluido deslocado à frente da pasta de cimento, durante a operação de cimentação de poços, com a função de remover o fluido de perfuração e melhorar a aderência cimento-formação e cimento-revestimento.”

A Figura 1 ilustra a atuação dos fluidos durante a cimentação.

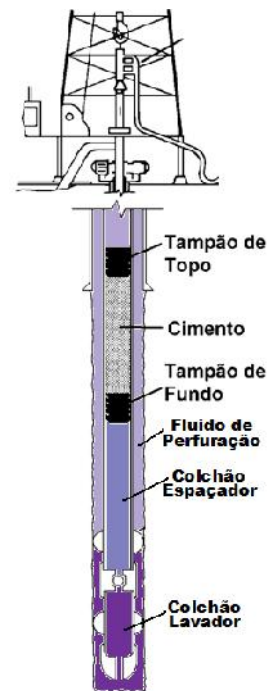


Figura 1: Esquema de utilização do fluido de perfuração, cimento e colchões no poço. [LIMA, 2012]

Na cimentação, o colchão lavador é o único fluido que apresenta comportamento newtoniano. Todos os outros fluidos, a saber, a lama de perfuração, o colchão espaçador e a pasta de cimento, apresentam comportamento não newtoniano, ou seja, suas viscosidades variam em função da taxa de deformação. [DE ALBURQUERQUE, 2014]



Para a remoção do reboco formado por fluido a base óleo, tem sido crescente o uso da tecnologia de tensoativos, que são substâncias naturais ou sintéticas que possuem em sua estrutura química grupos polares (hidrofílicos), com afinidade pela água, e grupos apolares (hidrofóbicos) com afinidade por compostos orgânicos (entre eles, óleo). Quanto à classificação, os tensoativos podem ser divididos em dois grupos de acordo com a natureza da porção hidrofílica: iônicos (aniônicos, catiônicos e anfóteros) e não iônicos. [MITTAL, 1979]

A mistura de tensoativos e óleo vegetal pode otimizar essa remoção, uma vez que o colchão lavador interage quimicamente com o fluido.

2. METODOLOGIA

2.1. Seleção do fluido de perfuração

Foi selecionado um fluido de perfuração não aquoso utilizado em operação de perfuração de poços *onshore* do Estado do Rio Grande do Norte. A amostra de fluido foi, gentilmente, cedida pelo LabCim (Laboratório de Cimentos) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

2.2. Síntese do colchão lavador

O colchão lavador preparado, no volume total de 200 mL, constitui-se, basicamente, de: *óleo vegetal, solução de tensoativo e fase aquosa*. A partir disso, foram realizados 25 experimentos (20 experimentos iniciais e mais 5 posteriores) que se diferenciaram entre si pela proporção *volume da solução de tensoativo (mL)/ volume de óleo (mL)*, pelo tensoativo empregado e por sua concentração em fase aquosa.

Foram utilizados dois tensoativos: *tensoativo A (aniônico)* e *tensoativo B*

(*não iônico*). O óleo vegetal foi denominado: *óleo C*; a fase aquosa: solução salina de 2% em peso NaCl.

Tabela 1: Formulações do colchão lavador estudadas.

Tensoativo	$V_{tens} (mL) / V_{óleo} (mL)$	$C_{tens} (g/L)$
A	100/100	12
		16
		20
		25
		30
	180/20	12
		16
		20
		25
		30
	80/120	12
		16
20		
25		
30		
B	100/100	12
		16
		20
		25
		30
	180/20	12
		16
		20
		25
		30

Em recipiente adequado, misturou-se a solução de tensoativo com o óleo vegetal obtendo-se o colchão lavador, e a partir daí iniciaram-se os testes de remoção.

2.3. Teste de Eficiência de remoção

O objetivo deste teste foi verificar a eficiência dos colchões preparados através da determinação do tempo de remoção de um filme do fluido de perfuração à base de óleo.

O teste foi realizado conforme descrito no teste M12, intitulado *Determinação da eficiência de colchões para cimentação de poços de petróleo*, contido no PROCELAB (Procedimentos e



Métodos de Laboratório destinados à Cimentação de Poços Petrolíferos) [CAMPOS, 2001].

As etapas do procedimento experimental estão mostradas na Figura 2.

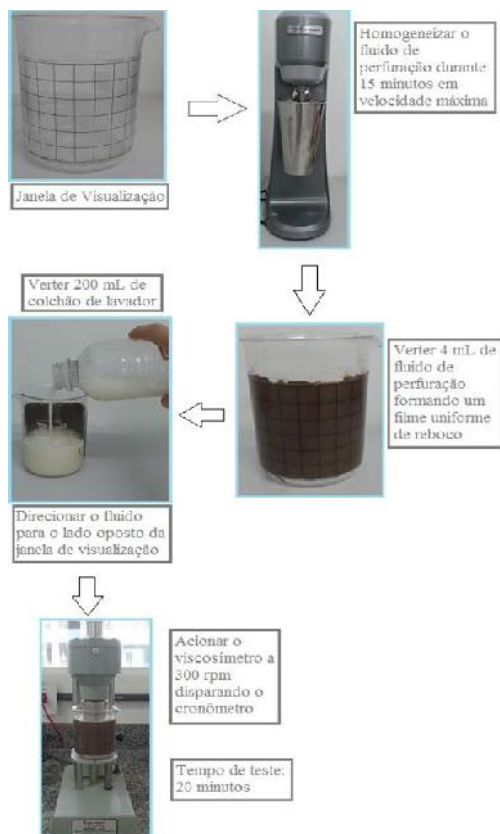


Figura 2: Teste de Eficiência de remoção.

Após o teste, realiza-se a contagem dos quadrados limpos na janela de visualização, fixada num béquer de 250 ml, e composta de 66 quadrados, cada um com 1 cm² de área.

A área de remoção do fluido de perfuração (A_{limpa}) é dada pelo produto do número de quadrados limpos pela área de um quadrado. Já a eficiência de remoção do fluido de perfuração é obtida pela razão da área limpa pela área total da janela de visualização (66 cm²). Assim, a eficiência pode ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Eficiência de remoção} &= \frac{A_{limpa}}{66 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{n^{\circ} \text{ de quadrados limpos} \times 1 \text{ cm}^2}{66 \text{ cm}^2} \end{aligned} \quad [2]$$

Portanto, a eficiência de remoção pode ser dada pela equação simplificada abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Eficiência de remoção (\%)} &= \frac{n^{\circ} \text{ de quadrados limpos}}{66} \times 100 \end{aligned} \quad [3]$$

2.4. Estudo reológico

A reologia é o campo da mecânica dos fluidos que se dedica a descrever a deformação de um corpo sob a influência de tensões. Essa ciência estuda as propriedades físicas que influenciam a forma e o fluxo de material, analisando parâmetros de viscosidade, plasticidade e elasticidade, dentre outros. [FOX, 2006]

Para a realização dos testes reológicos utilizou-se o viscosímetro da Fann – Modelo 35 A. O viscosímetro fornece os valores de leituras em graus de deflexão da mola, que é convertido em valores de viscosidade na unidade, cP (*poise*).



Figura 3: Viscosímetro Fann, Modelo 35A.



O colchão foi colocado em um copo e posicionado na base do aparelho, a temperatura ambiente ($T = 27^{\circ}\text{C}$). Foi submetido a diferentes velocidades, sendo elas : 3, 6, 100, 200, 300, 600 rpm.

Para o cálculo da viscosidade do colchão lavador produzido, foram feitas a leituras das deflexões mostradas no leitor do aparelho, variando a velocidade de forma decrescente. As leituras foram realizadas em duplicata.

Para calcular a viscosidade do colchão lavador, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\mu = \frac{L_{600}}{2} \quad [4]$$

Em que: L_{600} é a leitura da deflexão a 600 rpm e μ é a viscosidade do colchão lavador, em *cP*.

Para obtenção do gráfico *tensão x taxa de deformação* também foram realizadas medidas no mesmo viscosímetro, seguindo a Norma PETROBRAS N-2605, da seguinte forma:

- i) Após 2 minutos a partir do ligamento do aparelho a velocidade de 600 rpm é lido o valor de θ_{600} , isto é, a deflexão a 600 rpm;
- ii) Altera-se a velocidade para 300 rpm, após 15 segundos, ler θ_{300} .
- iii) Reduzir a velocidade para 200 rpm, esperar estabilizar e ler θ_{200} . Repetir para as velocidades de 100, 6 e 3 rpm, fazendo suas leituras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teste de remoção

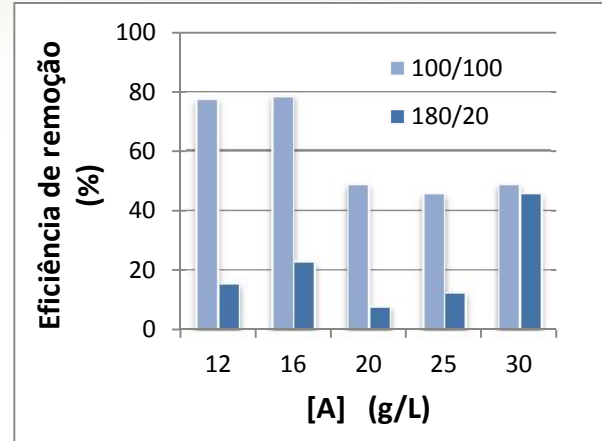


Figura 4: Eficiência de remoção do colchão lavador obtido com o tensoativo A.

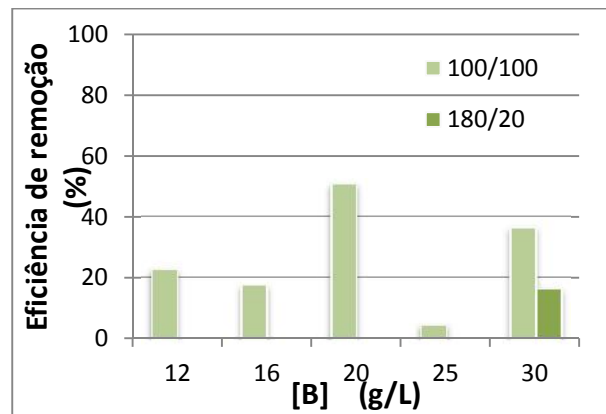


Figura 5: Eficiência de remoção do colchão lavador obtido com o tensoativo B.

As figuras 4 e 5 mostram os resultados obtidos no que diz respeito à eficiência dos colchões sintetizados na remoção do fluido de perfuração, em que para as proporções 180/20 (Figura 5) alguns colchões não obtiveram remoção.

É possível observar que o colchão sintetizado com o tensoativo A, aniônico, foi o mais eficiente, atingindo 78,79% de remoção, quando produzido na proporção 100/100 (Figura 4).

Outro fator de grande relevância na eficiência do colchão lavador é a presença do óleo vegetal C. Este fato pode ser observado ao comparar os resultados para as diferentes proporções,



180/20 e 100/100, ou seja, nos colchões com 100 mL de óleo a remoção foi bem mais eficiente.

Baseado nas observações feitas anteriormente, foram produzidos mais cinco colchões lavadores, proporção 80/120 nas 5 concentrações estudadas (Tabela 1) a base de tensoativo A, com o objetivo de otimizar os resultados obtidos (Figura 6).

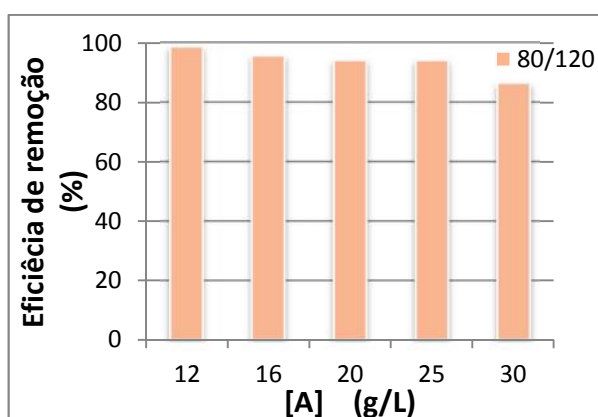


Figura 6: Eficiência de remoção do colchão lavador obtido com o tensoativo A, na proporção 80/120.

O colchão lavador com 80 mL de tensoativo A, concentração de 12 g/L, e 120 mL de óleo C atingiu 98,48% de eficiência na remoção do fluido (Figura 6) e foi o selecionado para a realização dos ensaios reológicos. (Figura 7)



Figura 7: Teste de remoção do colchão lavador selecionado.

3.2. Ensaios reológicos

Além da eficiência de remoção dos colchões lavadores, outro ponto de extrema importância a ser estudado refere-se à reologia do mesmo.

Sabendo que, diferentemente do fluido de perfuração e da pasta de cimento, o colchão deve se comportar como um fluido newtoniano [DE ALBUQUERQUE, 2014], foi selecionado aquele que apresentou a melhor eficiência de remoção para prosseguir com os estudos reológicos.

Primeiramente, determinou-se a viscosidade do colchão. Na Tabela 2, estão mostradas as leituras feitas no viscosímetro, utilizadas para calcular o valor da viscosidade, pela equação 4.

Tabela 2: Leituras do ângulo de deflexão.

Temperatura: 80 °F (27 °C)						
Exp.	L ₆₀₀	L ₃₀₀	L ₂₀₀	L ₁₀₀	L ₆	L ₃
1	74,0	35,5	25,0	11,0	0,5	0,0
2	78,5	38,0	27,0	11,0	1	0,0
Média	76,25	36,75	26,0	11,0	0,75	0,0

Logo, a viscosidade (μ) medida foi igual a 38,1 cP ou 0,0381 Pa.s.

Após a medição da viscosidade do fluido, seguindo a Norma PETROBRAS N-2605 conforme descrito no Item 2.4, foi construído o gráfico de *tensão x taxa de deformação* para verificar o comportamento newtoniano do fluido (Figura 8).

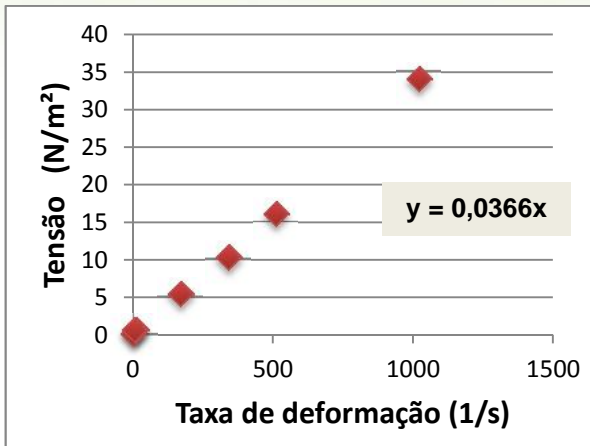


Figura 8: Tensão x Taxa de deformação.

Da figura 8, observa-se que os dados experimentais apresentaram um comportamento linear, característico de fluidos newtonianos, ou seja, a tensão de cisalhamento foi diretamente proporcional à taxa de deformação, de acordo com a lei de Newton, equacionada a seguir:

$$\tau_{xy} = -\mu \frac{du_x}{dy} \quad [1]$$

Em que: τ_{xy} é a tensão cisalhante, μ é a viscosidade dinâmica e $\frac{du_x}{dy}$ é a taxa de deformação.

Os dados experimentais revelaram um modelo linear, com a seguinte equação da reta: $y = 0,0366 x$. Logo, em analogia à lei de Newton (Figura 9), a constante de proporcionalidade é a viscosidade dinâmica, que neste caso foi de $0,0366 \text{ Pa.s}$ ou $36,6 \text{ Cp}$, comprovando seu valor com a viscosidade determinada a partir dos dados da tabela 2, que foi de $0,0381 \text{ Pa.s}$ ou $38,1 \text{ cP}$.

4. CONCLUSÕES

A eficiência de um colchão lavador é de extrema importância na operação de cimentação, uma vez que a cimentação do revestimento tem reflexos em toda vida

produtiva do poço e envolve altos custos. Diante disso, os estudos iniciais realizados comprovaram que o sistema de colchão lavador a base de óleos vegetais e tensoativos é eficiente na remoção de fluidos de perfuração não aquosos.

Constatou-se que a presença do óleo vegetal C no colchão lavador foi determinante para a remoção do fluido de perfuração não aquoso. Além disso, verificou-se que os tensoativos aniônicos são mais eficientes que os não iônicos na remoção.

Com este estudo, ainda foi possível verificar que o colchão lavador obtido possui o comportamento newtoniano requerido por este tipo de fluido.

5. AGRADECIMENTOS

A Agência Nacional de Petróleo (ANP), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) pelo apoio financeiro.

Ao Laboratório de Cimentos (LabCim), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Ao Laboratório de Petróleo (LaPet), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), local onde foi desenvolvido todo o estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, G., PROCELAB – **Procedimentos e métodos de laboratório destinados à cimentação de poços de Petróleo**. M12, p.1-3, 2001.

DE ALBUQUERQUE, M. L ; LEAL, R. A. V. de L. **Deslocamento de fluidos newtonianos em poços de petróleo horizontais não retilíneos**. Disponível em < http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=15831@1 >. Data de acesso: 10 de setembro de 2014.



FOX, R. W.; MCDONALD, A.T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos.** Livros Técnicos e Científicos Editora, 2006.

LIMA, F. M. **Desenvolvimento de sistemas de colchões para aplicação em poços perfurados com fluidos de perfuração não aquosos.** 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Natal – RN.

MITTAL, K. L., **Solution Chemistry of Surfactants,** New York, Plenum Press, 1979.

NASCIMENTO, J. H. O. **Adição de poliuretana não iônica a cimento Portland Especial para cimentação de poços de petróleo.** 2006. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Natal – RN.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** Interciência, 2004.