

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE MODIFICADORES REOLÓGICOS EM FLUIDOS POLIMÉRICOS

ANALYSIS OF INFLUENCE AS RHEOLOGICAL MODIFIERS IN POLYMERIC FLUIDS

DANIELLY VIEIRA DE LUCENA

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais. Instituto Federal da Paraíba. E-mail: daniellymateriais@yahoo.com.br

CARLOS MAGNO ROCHA ALMEIDA SOUTO

UFCG. E-mail: carlosmras@gmail.com

Envio em: Novembro de 2015

Aceite em: Agosto de 2017

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da concentração dos aditivos químicos goma xantana (viscosificante) e do carboximetilcelulose (reduzidor de filtrado) como modificadores reológicos de fluidos de perfuração poliméricos por meio dos parâmetros reológicos utilizando a ferramenta de planejamento experimental. Para a realização de maneira organizada de uma quantidade mínima necessária de experimentos foi utilizado o método de planejamento experimental do tipo 2^2 com três experimentos no ponto central. Através da regressão dos dados experimentais, observou-se que os valores de viscosidade aparente e plástica e do limite de escoamento variaram com a concentração dos aditivos, aumentando com o aumento da concentração dos mesmos. O viscosificante foi a variável que apresentou maior influência sobre as propriedades dos fluidos.

Palavras-chaves: fluidos poliméricos, modificadores reológicos, planejamento experimental.

ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the influence of chemical additives concentration, xanthan gum (viscosifier) and carboxymethyl cellulose (filtrated reducer) as rheological modifiers of polymeric perforation fluids through the rheological parameters using an experimental plain tool. To prepare in organized way of a minimum number of experiment required it was used the experimental plain 2^2 type with three experiments in the central point. Through the experimental data regression it was observed that the values of apparent and plastic viscosities and yield strength changed with the additives concentration, increasing with the increase of its concentration. The viscosifier was the variable that presented greater influence on the fluid properties.

Key-words: Polymeric fluids. Rheological modifiers. Experimental plain.

1 - INTRODUÇÃO

De acordo com Lucena *et al.* (2014) a incorporação de polímeros como componentes de fluidos de perfuração figura atualmente como uma das principais alternativas para adequação das propriedades que o fluido deve apresentar na atividade de perfuração de poços de petróleo. De fato, o uso de polímeros para este fim iniciou-se por volta de 1930, e estudos vêm sendo realizados objetivando obter adequação das propriedades sobre fluidos a base de água e argila por meio da adição de aditivos poliméricos (PEREIRA, 2006).

Devido ao grande número de variáveis envolvidas, o comportamento de fluidos de perfuração em aplicações específicas como altas temperaturas e altas profundidades, particularmente, aqueles à base de água, é imprevisível e, de fato ainda não totalmente compreendido. Porém, a existência de uma vasta quantidade de aditivos torna possível o aprimoramento das formulações e mesmo diferenças muito pequenas na composição dos fluidos podem ocasionar diferenças consideráveis no comportamento dos mesmos, de modo que é necessário testar cada fluido individualmente, a fim de obter dados confiáveis (LEITE *et al.*, 2013).

Os fluidos de perfuração apresentam várias propriedades físico-químicas que devem ser levadas em consideração durante sua aplicação, podendo-se destacar os parâmetros reológicos que influenciam diretamente no cálculo das perdas de carga nas tubulações e na limpeza do poço. No campo, as propriedades reológicas de interesse, que se encontram vinculadas ao desempenho do fluido são: viscosidade aparente, viscosidade plástica e limite de escoamento (LUCENA *et al.*, 2010; FARIAS *et al.*, 2009).

As soluções poliméricas colocam-se como alternativa para contornar alguns desafios impostos pelo processo de exploração do petróleo, mais notadamente as etapas de perfuração do poço. Como já se sabe, a aditivação polimérica dos fluidos se tornou uma prática comum e dentre os aditivos mais usados, destacam-se o carboximetilcelulose (CMC) e a goma xantana, que dependendo das suas características, desempenham diferentes funções e são adicionados individualmente e em variadas concentrações (BARBOSA *et al.*, 2007a; HAMED; BELHADRI, 2009).

O CMC é um derivado da celulose e diferentes prepa-

rações geram polímeros com diferentes graus de substituição, seu uso reduz as perdas por filtração das formações geológicas que estão sendo perfuradas. A redução de filtrado e da espessura do reboco com o uso do CMC é alcançada através da formação de uma película polimérica ao redor das partículas de argila, estabilizando-as e mantendo-as dispersas no meio líquido (ALVAREZ-LORENZO *et al.*, 2011).

Outro polímero bastante utilizado em fluidos de perfuração como já citado é a goma xantana. Segundo Brandão (2016) a goma xantana é um exopolissacarídeo sintetizado por bactérias *Xanthomonas* e de extrema importância no aspecto comercial devido por sofrerem pouca interferência por mudanças de pH, temperatura e força iônica do meio que os demais polímeros, o que o caracteriza como um aditivo eficaz nas aplicações em fluidos de perfuração e por isto, amplamente utilizado. Segundo Luz (2014) este aditivo promove ao fluido uma alta viscosidade mesmo em baixas concentrações.

O desempenho adequado de um fluido de perfuração é diretamente dependente das suas propriedades reológicas e de filtração (viscosidades, limite de escoamento e controle de filtrado) e da sua lubrificidade. Sabendo disto, pode-se constatar que a principal razão para utilização de compostos poliméricos é a possibilidade de combinar as propriedades de matérias primas com concentrações e características diferentes, visando obter um produto com propriedades adequadas, ou seja, usufruir os benefícios da mistura de polímeros, obtendo um composto que possibilite, por exemplo, o aumento das viscosidades aparente e plástica (BARBOSA *et al.*, 2007b; LUVIELMO; SCAMPARINI, 2009).

Com isso, este trabalho objetiva estudar a influência da concentração dos modificadores reológicos: viscosificante (goma xantana) e do redutor de filtrado (carboximetilcelulose) nas propriedades reológicas de fluidos de perfuração poliméricos utilizando como ferramenta o planejamento experimental.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para a preparação dos fluidos de perfuração foram utilizados os aditivos listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Aditivos e concentrações utilizadas nas formulações dos fluidos de perfuração.

Aditivos	Unidades	Faixa de concentração
Anti-espumante	gotas	6
Viscosificante (goma xantana)	g/350mL*	0,75 a 1,5
Redutor de filtrado (carboximetilcelulose)	g/350mL*	2,5 a 3,5
Controlador de pH	g/350mL*	1,0
Inibidor de inchamento de argilas expansivas	g/350mL*	16,0
Bactericida	g*	0,7
Lubrificante	g/350mL*	3
Selante	g/350mL*	15,0

* lb/bbl x 0, 00285301 = 1 g/mL

Planejamento fatorial

Para avaliar a influência das variáveis de entrada (viscosificante e redutor de filtrado) sobre as propriedades reológicas (viscosidades aparente e plástica, e limite de escoamento) e de filtração (volume de filtrado) de fluidos de perfuração, foi utilizado um planejamento fatorial do tipo 2² com três experimentos no ponto central, totalizando 7 experimentos.

Os níveis das variáveis independentes utilizadas em ordem crescente (-1, 0, +1) foram: 0,75, 1,125 e 1,5 g/ 350 mL de água para o viscosificante (V), e 2,5, 3,0 e 3,5 g/ 350 mL de água para o redutor de filtrador de filtrado (R).

A regressão dos dados experimentais foi realizada utilizando o programa STATISTICATM (STATSOFT).

Preparação dos fluidos de perfuração

Os fluidos de perfuração foram preparados de acordo com a prática de campo, que consiste em adicionar os aditivos, um a um, sob agitação a uma velocidade constante de 13.000 rpm em agitador *Hamilton Beach*, modelo 936, obedecendo a ordem descrita na Tabela 1.

Os aditivos e as faixas de concentrações que foram utilizados no desenvolvimento das formulações dos fluidos inibidos também se encontram apresentados na Tabela 1.

Estudo reológico dos fluidos de perfuração

Após repouso de 24h, o fluido foi agitado durante 5min em agitador mecânico *Hamilton Beach*, modelo 936, na velocidade de 17.000 rpm. Após a agitação, o fluido foi transferido para o recipiente do viscosímetro Fann

modelo 35A. O viscosímetro foi acionado na velocidade de 600 rpm durante 2 min e efetuada a leitura. Logo após, a velocidade foi mudada para 300 rpm, efetuando a leitura após 15 s.

Com os dados das leituras obtidas no viscosímetro, foram calculadas as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e o limite de escoamento (LE) segundo a norma da PETROBRAS EP-1EP-00011-A (2011).

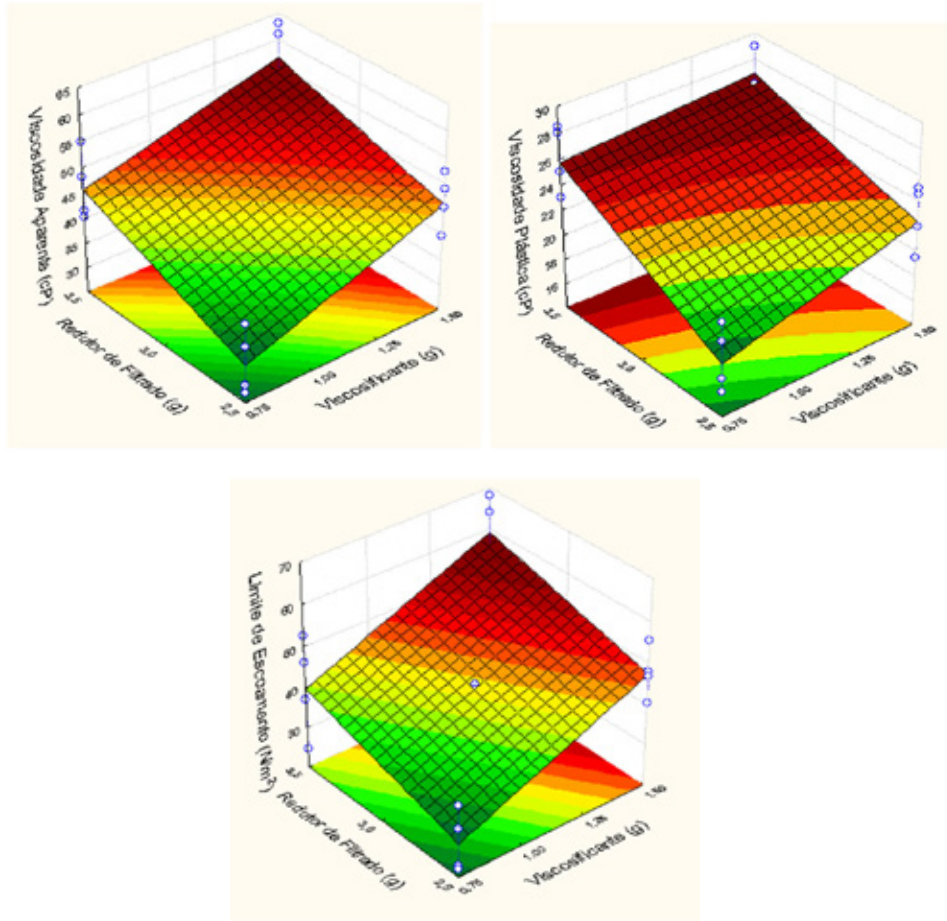
A VA é o valor obtido na leitura a 600 rpm dividido por 2, dada em cP. A viscosidade plástica (VP) é a diferença das leituras obtidas a 600 rpm e a 300 rpm, dada também em cP e o LE é dado pela diferença entre o valor obtido na leitura a 300 rpm e a viscosidade plástica expresso em cP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizando-se a análise do planejamento experimental a partir dos diagramas dele extraídos para as propriedades reológicas (VA, VP e LE) e para o volume de filtrado (VF) dos fluidos de perfuração estudados, constatou-se que a variável viscosificante é estatisticamente significativa para todas as propriedades reológicas analisadas, comprovando sua atuação como modificador reológico na composição de fluidos de perfuração.

Nas Figuras 1 a), 1 b) e 1c) pode-se verificar a ação da goma xantana (viscosificante) e do CMC (redutor de filtrado) como modificadores reológicos a partir das superfícies de resposta das combinações entre variáveis estatisticamente significativas, utilizando-se dos modelos matemáticos codificados obtidos, para as propriedades VA, VP e LE, respectivamente.

Tabela 1 – Superfícies de resposta para: (a) viscosidade aparente (VA), (b) viscosidade plástica (VP) e (c) limite de escoamento a partir da interação entre os aditivos viscosificante e redutor de filtrado para os fluidos estudados.



Observou-se a influência das variáveis independentes dos fluidos de perfuração sobre as propriedades reológicas e de filtração por meio da análise das superfícies de respostas obtidas para cada um desses parâmetros.

Foi observada significativa variação nos valores das propriedades reológicas. O fluido que possui em sua composição os maiores teores dos aditivos avaliados (1,5 g de viscosificante/ 350 mL de água e 3,5 g de redutor de filtrado / 350 mL de água) foi aquele que apresentou os maiores valores em relação às propriedades reológicas (VA, VP e LE) de acordo com o exposto nas superfícies de respostas observadas nas Figuras. 1 a), 1 b) e 1 c).

Esse resultado pode indicar a ação de ambos aditivos como modificadores reológicos, pois, o aumento na concentração dos aditivos para os fluidos preparados conduz ao aumento dos valores das propriedades reológicas. Os resultados obtidos em relação ao aumento das viscosidades com a introdução da goma xantana está de acordo com o observado em estudo desenvolvido por Brandão (2016) que evidencia que composições com maior teor de aditivos viscosificantes promovem resultados reológicos

de maior valor, além disto os estudos da autora indica que o comportamento da variação da viscosidade aparente evidencia a pseudoplasticidade na goma xantana, isto é, a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de cisalhamento.

Os valores das propriedades reológicas de viscosidade aparente (VA) e plástica (VP) apresentaram significativa variação com a mudança da concentração dos aditivos, como pode ser observado na Figura 1, na qual as maiores concentrações dos aditivos propiciaram um aumento nos valores de tais propriedades. Esse comportamento em relação às concentrações de aditivos é esperado e decorrente, como citado anteriormente da ação do viscosificante, que é um aditivo que tem como principal função conferir viscosidade ao fluido.

Farias (2009) desenvolveu fluidos poliméricos com variação de concentração de viscosificante entre 0,75 g e 2,5 g de viscosificante/ 350 mL de água e concentração e redutor de filtrado entre 2,0 e 5,0 g de redutor de filtrado / 350 mL de água, e observou que os fluidos com os menores teores destes aditivos apresentaram comportamento

reológico abaixo da faixa estabelecida pelo padrão, assim como também os fluidos com os maiores teores de ambos os aditivos apresentaram viscosidade bem mais elevadas que as obtidas para o fluido padrão. Tal resultado está coerente ao obtido no presente estudo nos quais se observou que baixos teores dos aditivos poliméricos não são suficientes para obter as propriedades reológicas necessárias para o bom desempenho do fluido de perfuração, o mesmo ocorre para uma elevada aditivação.

O aumento no teor de redutor de filtrado promoveu em geral, aumento significativo nos valores das propriedades reológicas. Este resultado está de acordo com o obtido por Luz (2014) que estudou o efeito da Adição da CMC em fluidos de perfuração de base aquosa contendo goma xantana e constatou a clara a contribuição da adição de CMC na viscosidade dos fluidos, com relação àqueles que possuem apenas goma de xantana.

A elevação das propriedades reológicas pode ser justificado pela composição do redutor de filtrado, que é composto por um polímero à base de celulose, o carboximetilcelulose (CMC) de baixa viscosidade, e, segundo o fabricante, foi produzido com uma celulose de tamanho de cadeia maior que o da celulose tradicionalmente utilizada no preparo destes aditivos. Em maiores concentrações, como a de 3,5g/ 350 mL de água, o aditivo passa a agir como viscosificante, justificando os altos valores observados das propriedades reológicas. Deste modo, pode-se afirmar que este comportamento de aumento dos valores da VA e VP se deve a efetiva atuação dos aditivos em suas respectivas funções, aliada ação secundária do CMC como viscosificante.

A partir da análise da superfície de resposta obtida para o limite de escoamento observa-se que esta propriedade segue a mesma tendência das demais propriedades reológicas, apresentando um aumento com o respectivo aumento da concentração dos aditivos analisados, ou

seja, o viscosificante e o redutor de filtrado. O limite de escoamento se trata da força mínima necessária para que um fluido inicie seu escoamento, ou seja, a força necessária para romper as ligações eletrostáticas, e uma maior concentração de aditivos implica em uma maior quantidade de ligações a serem rompidas.

Em resumo, as análises das superfícies de resposta evidenciaram que o aumento no teor dos aditivos estudados (goma xantana e CMC) presentes nas formulações dos fluidos apresentou influência em relação às propriedades reológicas dos fluidos, podendo-se assim constatar que os mesmos atuam como modificadores reológicos nos fluidos de perfuração alterando efetivamente os valores das propriedades mesmo em pequenas variações de concentração.

5 CONCLUSÕES

Após utilizar o planejamento experimental para estudar a influência dos polímeros goma xantana e CMC como modificadores reológicos em fluidos de perfuração de poços de petróleo, conclui-se que:

- o viscosificante (goma xantana) é uma variável independente estatisticamente significativa ao nível de 95,0 % de confiança para todas as propriedades analisadas (VA, VP, LE e VF);
- o estudo dos fluidos por meio das superfícies de resposta apontou que quanto maior a concentração de aditivos (viscosificante e redutor de filtrado) nos fluidos maiores são os valores das propriedades reológicas (VA, VP e LE) e,
- é possível afirmar que os aditivos goma xantana (viscosificante) e CMC (redutor de filtrado) como componentes de fluidos de perfuração atuam como modificadores reológicos, alterando as propriedades por meio da variação de suas concentrações.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ-LORENZO, C.; DURO, R.; GÓMEZ-AMOZA, J. L.; MARTÍNEZ-PACHECO, R.; SOUTO, C.; CONCEIRO, A., Influence of polymer structure on the rheological behavior of hydroxypropylmethylcellulose –sodium carboxymethylcellulose dispersions, **Journal Colloid and Polymer Science**, v. 11, p. 1045-1057, 2011.

API, **Norma API Recommended Practice 13B-1**, novembro, 2003.

BARBOSA, M. I. R.; AMORIM, L. V.; FERREIRA, H. C., Compostos poliméricos como aditivos de argilas bentoníticas, **Revista Cerâmica**, v. 53, p. 354-360, 2007a.

BARBOSA, M. I. R.; AMORIM, L. V.; BARBOZA, K. R. A.; FERREIRA, H. C., Desenvolvimento de compósitos bentonita/polímeros para aplicação em fluidos de perfuração - Parte 1, **Revista Matéria**, v. 12, p. 367-372, 2007b.

BRANDÃO, L. V., **Goma xantana obtida por fermentação da glicerina bruta residual do biodiesel**: produção, caracterização e aplicação para fluido de perfuração de poços de petróleo. 185f. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador/BA, 2016.

FARIAS, K. V.; AMORIM, L. V.; LIRA, H. L., Desenvolvimento de fluidos aquosos para aplicação em perfuração de poços de petróleo – Parte I. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 4.1, p. 14-25, 2009.

HAMED, S. B.; BELHADRI, M., Rheological properties of biopolymers drilling fluids. Journal of Petroleum Science and Engineering, **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 67, p. 84-90, 2009.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, R. C. A., AMORIM, L. V., Influência do envelhecimento térmico nas propriedades de prisão diferencial de fluidos argilosos. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração (Impresso e Online)**, v. 10, p. 239-248, 2013.

LUCENA, D.V.; AMORIM, L.V.; LIRA, H.L., **Efeitos de aditivos poliméricos nas propriedades reológicas e de filtração de fluidos de perfuração**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração (Impresso e Online), v. 11, p. 66-73, 2014.

_____. Aplicação do planejamento experimental no estudo de fluidos inibidos isentos de cloro: Parte I, **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 5.3, p. 42-49, 2010.

LUVIELMO, M. M.; SCAMPARINI, A. R. P., Goma xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação, **Revista Estudos tecnológicos**, v. 5, p.50- 67, 2009.

LUZ, R. C. S, da., **Fluidos de perfuração aquosos**: a contribuição da goma xantana e da carboximetilcelulose no controle de filtrado. 61 f., Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte Natal/RN, 2014.

PEREIRA, E., **Química dos Polímeros e Aplicações** – Partes I, II, III e IV, Disponível em: www.systemmud.com.br, Acesso em: janeiro, 2006.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA for Windows**, version 5.0, 2000, 1 CD.