

Desenvolvimento de microemulsões como aditivo lubrificante em fluido de perfuração

Development of microemulsions as a lubricant additive in drilling fluid

Desarrollo de microemulsiones como aditivo lubricante en un fluido de perforación

Recebido: 16/04/2020 | Revisado: 27/04/2020 | Aceito: 03/05/2020 | Publicado: 04/05/2020

Alfredo Ismael Curbelo Garnica

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9600-5110>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: alfredocurbelo@yahoo.com

Fabiola Dias da Silva Curbelo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1501-5702>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: fabioladias@yahoo.com

Ítalo Xavier Queiroz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3912-6589>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: italoxq@yahoo.com.br

Elayne Andrade Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3322-8517>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: elaynea_@hotmail.com

Roxana Pereira Fernandes de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4335-4901>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: Roxana.fp@hotmail.com

Evanice Medeiros de Paiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3177-5971>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: evanice.medeiros@hotmail.com

Glauco Soares Braga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2118-944X>

Instituto Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: glauco_braga@yahoo.com.br

Edson de Andrade Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1939-4084>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: edsonandradesp@gmail.com

Resumo

A busca por novas formulações para aditivos lubrificantes em fluidos de perfuração é constante, devido à necessidade da indústria do petróleo e gás de aperfeiçoar produtos e processos e preservar o ecossistema, contribuindo com o desenvolvimento sustentável. O uso de microemulsões na fase *upstream* é crescente, principalmente na área de recuperação avançada de petróleo, porém inovador na área de perfuração de poços de petróleo. O objetivo deste estudo foi desenvolver e caracterizar microemulsões biodegradáveis e de baixo custo de produção para aplicação como aditivo lubrificante de fluidos de perfuração base água. Para tanto, foram realizados: a) teste de estabilidade nas microemulsões e nos fluidos de perfuração aditivados; b) teste de tamanho de partícula nas microemulsões; c) teste de ponto de turbidez, para avaliação do comportamento da microemulsão quanto a temperatura; e d) teste de lubricidade das microemulsões, do lubrificante proposto e dos fluidos de perfuração aditivados. Os resultados de lubricidade encontrados foram satisfatórios, mostrando que os sistemas microemulsionados avaliados podem ser aplicadas como aditivos lubrificantes biodegradáveis em fluidos de perfuração base água para perfuração de poços de petróleo, causando um menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Inovação; Aditivos lubrificantes; Petróleo; Biodegradável.

Abstract

The search for new formulations of lubricating additives in drilling fluids is constant, due to the need of the oil and gas industry to improve products and processes and preserve the ecosystem, contributing to the sustainable development. The use of microemulsions in the upstream phase is increasing, mainly in the area of advanced oil recovery, but innovative in the area of oil well drilling. The objective of this study was to develop and characterize biodegradable microemulsions and of low production costs for application as a lubricant

additive for water-based drilling fluids. For this purpose, the following were carried out: a) stability test on microemulsions and additive drilling fluids; b) particle size testing in the microemulsions; c) turbidity point test, in order to evaluate the microemulsion behavior regarding temperature; and d) lubricity test of microemulsions, proposed lubricant and additive drilling fluids. The lubricity results found were satisfactory, showing that the microemulsified systems evaluated can be applied as biodegradable lubricant additives in water-based drilling fluids for oil well drilling, causing less environmental impact.

Keywords: Innovation; Lubricating additives; Petroleum; Biodegradable.

Resumen

La busca de nuevas formulaciones para aditivos lubricantes en fluidos de perforación es constante, debido a la necesidad de la industria del petróleo y el gas de mejorar los productos y procesos y preservar el ecosistema, contribuyendo al desarrollo sostenible. El uso de microemulsiones en la industria petroquímica está aumentando, principalmente en el área de recuperación avanzada de petróleo, pero innovador en el área de perforación de pozos petroleros. El objetivo de este estudio fue desarrollar y caracterizar microemulsiones biodegradables con bajos costos de producción, para su aplicación como aditivo lubricante para fluidos de perforación a base de agua. Se realizaron: a) pruebas de estabilidad y lubricidad en microemulsiones y fluidos de perforación aditivos, b) prueba de tamaño de partícula, para caracterizar la microemulsión; c) punto de turbidez, para evaluar el comportamiento de la microemulsión con respecto a la temperatura; d) lubricidad del lubricante propuesto y los fluidos de perforación añadidos. Los resultados de lubricidad encontrados fueron satisfactorios, mostrando que los sistemas microemulsificados evaluados pueden aplicarse como aditivos lubricantes biodegradables en fluidos de perforación a base de agua para la perforación de pozos, causando menos impacto ambiental.

Palabras clave: Innovación; Aditivos lubricantes; Petróleo; Biodegradable.

1. Introdução

Os fluidos de perfuração são fluidos que circulam dentro do poço e possuem uma composição formada por uma base, podendo ser água, óleo ou gás, e aditivos químicos (adensantes, viscosificantes, controladores de filtrado, alcalinizantes, lubrificantes, entre outros), que controlam suas propriedades. Estes fluidos têm como funções: retirar cascalhos do processo de perfuração, manter a estabilidade física e química do poço, controlar a pressão

interna do poço, limpar, lubrificar e resfriar a broca e coluna de perfuração, transmitir potência hidráulica à broca e aos motores de fundo (Pinto, 2012).

Os aditivos são de suma importância para o controle das propriedades do fluido de perfuração, levando-o a ter características ideais para a perfuração de uma determinada formação. Um fluido sem uma formulação ideal pode gerar problemas durante a perfuração, como: perda de circulação, potencial agressividade ao meio ambiente, ineficiência na limpeza do poço dentre outros (Sorgard *et al.*, 2001).

Comumente, se faz uso de lubrificantes como aditivo de fluidos de perfuração, principalmente em poços direcionais, em trechos de ganho de ângulo; na diminuição do arraste da coluna de perfuração em poços horizontais; em fluidos *drill in* isentos de sólidos para descidas de telas *gravel pack*; em perfuração de zonas depletadas, propícios a prisão por diferencial de coluna.

Os lubrificantes são caracterizados como compostos que possuem uma alta lubricidade, sendo a propriedade medida pelo coeficiente de lubricidade. O uso destes compostos como aditivo de fluido de perfuração base água, reduz consideravelmente o risco de ocorrência de prisão diferencial por reduzir o atrito existente entre a coluna de perfuração, o reboco e a formação (Amorim, Apolinário e Nascimento, 2013).

Os aditivos lubrificantes, em sua maioria, são sintéticos, e constituídos por álcoois graxos, ésteres, glicerídeos e ácidos graxos. O uso destes lubrificantes está se tornando inviável para a indústria de petróleo, pois além de possuir um alto custo de produção, devido à quantidade de processos necessários para a obtenção destes (Carreteiro & Belmiro, 2006), não são biodegradáveis, e o contato com o meio ambiente pode acarretar sérios danos ambientais.

Os efluentes gerados são considerados um problema ambiental. A busca pela minimização destes efluentes está relacionada a legislação (Resolução Conama no. 430 de 13 de maio de 2011) que está cada vez mais restritiva. A medida que as empresas de petróleo e gás começam a implementar programas de minimização de resíduos para atender à legislação ambiental, percebe-se a redução da quantidade e do tipo dos resíduos gerados, resultando numa redução dos custos operacionais e com gerenciamento e disposição final dos resíduos.

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos biodegradáveis não estão catalogados como resíduos perigosos e são classificados de acordo com a sua biodegradabilidade. O tratamento dos resíduos biodegradáveis industriais gera um impacto ambiental positivo.

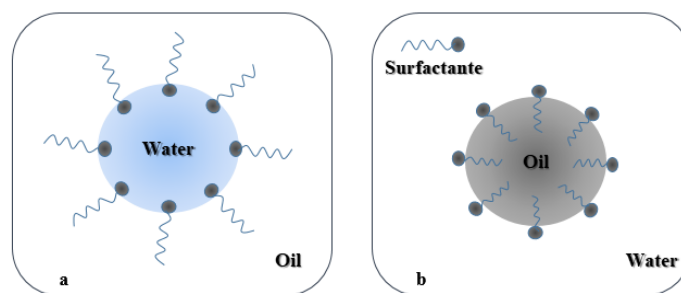
Devido as atuais exigências da indústria do petróleo, a busca por novas formulações de lubrificantes biodegradáveis como aditivo de fluido de perfuração é recorrente, porém

peculiar. Estudos como os de Espagne, Lamrani-Kern e Rodeschini (2014), Yu e Ke (2017), mostraram que o uso de componentes biodegradáveis como aditivos lubrificantes (óleo mineral e ácidos graxos), possuem alta eficiência.

É sabido que os aditivos lubrificantes para aplicação em fluido de perfuração base aquosa não utilizam microemulsão como redutor de atrito, porém o uso das microemulsões na indústria de petróleo vem sendo empregada tanto para remoção de água do óleo, quanto na recuperação avançada de óleo bruto (Ferreira, Souza, Silva & Santos, 2015).

As microemulsões são sistemas de misturas de óleo, água, tensoativo e, às vezes, cotensoativo, que podem distinguir-se pela polaridade da fase dispersa (Figura 1).

Figura 1. Estrutura das Microemulsões: a) Água em óleo (A/O); b) Óleo em água (O/A).



Fonte: Autores.

As microemulsões podem ser do tipo água-óleo (A/O) ou óleo-água (O/A), ou caracterizados pelas propriedades de estabilidade termodinâmica, baixa viscosidade, isotropia óptica e alta capacidade de solubilização de componentes em meios de baixa afinidade e grande área interfacial específica (Moulik & Paul, 1998; Holmberd, Jonsson, Kronberg & Lindman, 1998; Damasceno *et al.*, 2011).

A escolha de uma composição microemulsionada é facilitada com o uso de diagrama de fases ternários, que mostram a solubilidade dos componentes entre si. Como forma de caracterizar uma microemulsão, são realizados testes de tamanho de partícula, cujos valores devem variar de 10 a 300 nm (Damasceno *et al.*, 2011); potencial zeta, que define a estabilidade elétrica da microemulsão (Constantinides e Yiv, 1995); condutividade elétrica, que confirma a fase contínua da microemulsão (Naoui *et al.*, 2011) e o ponto de turbidez via temperatura, uma vez que o aumento da temperatura provoca a separação das fases do sistema (Barros Neto, 1996).

A forma de caracterizar um composto como lubrificante é a partir da avaliação quantitativa de lubricidade, ou seja, a partir do coeficiente de lubricidade (CL). Um composto lubrificante é considerado de alta lubricidade, quando possui um valor de coeficiente de lubricidade (CL) abaixo de 0,1, que é o valor do coeficiente de lubricidade do óleo diesel. Segundo Sonmez, Kok e Ozel (2013), um fluido de perfuração aditivado de óleo diesel, como lubrificante, possui um coeficiente de lubricidade em torno de 0,25.

O objetivo principal desse trabalho foi desenvolver lubrificantes a base de microemulsão, para aplicação em fluidos de perfuração de base aquosa, caracterizados como biodegradáveis e de baixo custo de produção.

2. Metodologia

As pesquisas laboratoriais acontecem sob condições controladas como afirmam Pereira et al. (2018). Realiza-se uma pesquisa laboratorial conforme as condições apresentadas a seguir.

Para preparação das microemulsões, foram utilizados: água industrial, aditivada de cloreto de sódio ou glicerina; óleo vegetal (óleo de pinho) e um tensoativo não iônico e, portanto, não sendo necessário o uso de cotensoativos. Duas microemulsões foram estudadas: a primeira nomeada como lubrificante 1, contendo em sua fase aquosa uma solução com 2% em massa de cloreto de sódio; e a segunda nomeada como lubrificante 2, contendo em sua fase aquosa 50% em massa de glicerina. Os componentes de cada microemulsão foram agitados, a 600 rpm, de forma constante até a solubilização total e, conseqüente, obtenção de um sistema transparente e translúcido. A metodologia utilizada para elaboração dos diagramas foi a descrita por Curbelo *et al.*, 2018.

As composições das microemulsões são escolhidas a partir de diagramas de fases ternários, onde é possível visualizar a extensão da região microemulsionada em relação as suas fases aquosa, oleosa e o tensoativo (Damasceno *et al.*, 2011).

As microemulsões são submetidas a análise de tamanho de partículas, no equipamento Zetatrak-Zetaplus, Brookhaven. Este método se baseia na incidência de um feixe de luz sobre as partículas da amostra, no qual as partículas em suspensão espalham a radiação incidente. A intensidade da luz espalhada sofre flutuações que são correlacionadas com o movimento aleatório das partículas da amostra, que dependem das dimensões das mesmas, sendo possível, assim, determinar o tamanho e distribuição das partículas (Kauffman, 2011).

Para analisar a estabilidade da microemulsão em relação a temperatura, é possível observar a turvação da mesma pelo aumento ou diminuição da temperatura. Os sistemas microemulsionados, inicialmente a uma temperatura de 27 °C, são colocados em uma chapa metálica sob temperatura crescente, e seu ponto de turbidez é verificado visualmente.

O teste de lubricidade é o parâmetro fundamental para caracterização da microemulsão como lubrificante. Para determinação do coeficiente de lubricidade (CL), utilizou-se o lubrificímetro *EP-Lubricity Tester* (Figura 2).

Figura 2. Lubricity tester, marca OFITE.



Fonte: Autores.

As microemulsões foram colocadas no recipiente próprio e este colocado em contato com as placas metálicas do equipamento.

A análise é iniciada com torque inicial zero e uma velocidade de 60 rpm; aplicando lentamente uma força de 150 lbf/in, durante 5 minutos. Após o decorrer deste tempo, efetua-se a leitura do torque exercido pelo fluido. Com a leitura obtida pelo torque da água, calcula-se o fator de correção (FC), de acordo com a Equação 1 e o coeficiente de lubricidade de acordo com a Equação 2.

$$FC = \frac{34,0}{\text{Leitura_Água}} \quad (1)$$

$$CL = \frac{FC \times \text{Leitura_Obtida}}{100} \quad (2)$$

As microemulsões foram adicionadas a um fluido de perfuração comercial, cujos componentes foram gentilmente cedidos pela Baker Hughes. O lubrificante 1 foi adicionado nas proporções de 1, 2 e 3 %, formando os fluidos de perfuração F1, F2 e F3,

respectivamente. O lubrificante 2 foi adicionado na proporção de 2 e 3%, formando os fluidos de perfuração F4 e F5, respectivamente. A composição dos fluidos F1, F2, F3, F4 e F5 pode ser encontrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição dos fluidos de perfuração analisados.

Fluido	F1	F2	F3	F4	F5
Água (mL)	450	450	450	450	450
Hidroxipropilamido (g)	8	8	8	8	8
Goma Xantana (g)	2	2	2	2	2
Baritina (g)	63	63	63	63	63
Bactericida (g)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cloreto de Sódio (g)	40	40	40	40	40
Lubrificante 1 (g)	6,03	12,06	18,09	0	0
Lubrificante 2 (g)	0	0	0	12,06	18,09

Fonte: Autores.

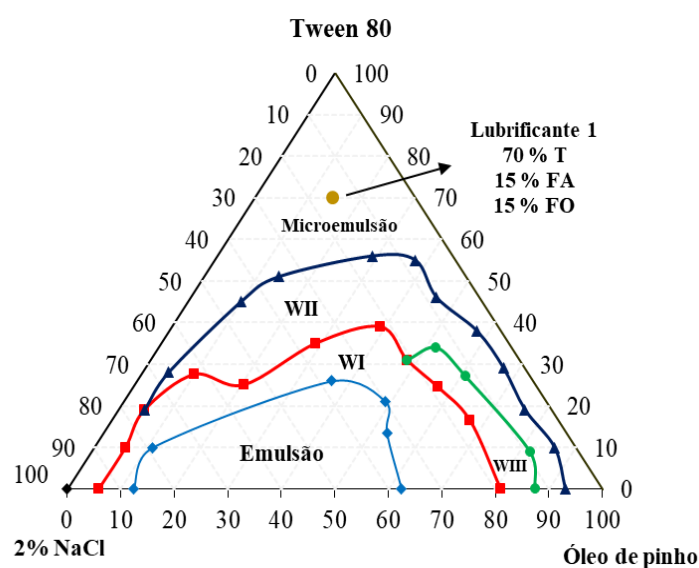
Os fluidos foram preparados seguindo a norma N-2604 da Petrobras (1998a). Os reagentes, principalmente os polímeros, foram colocados de forma lenta, para evitar aglomerados, e misturados em um agitador da marca Hamilton Beach, por 20 minutos, a 17.000 rpm de velocidade.

Os fluidos de perfuração aditivados só foram testados após 24 horas de sua preparação, sendo os mesmos agitados por 5 minutos antes de cada teste, para quebra da gelificação. Então, para critério de comparação e comprovação da efetividade da microemulsões, foram feitos os testes de lubricidade nos 6 fluidos.

3. Resultados e Discussão

Como forma de se obter uma microemulsão com característica de um lubrificante, foi escolhido um ponto, em cada diagrama de fases construído, com a maior fração possível da fase oleosa para o lubrificante 1 (Figura 3).

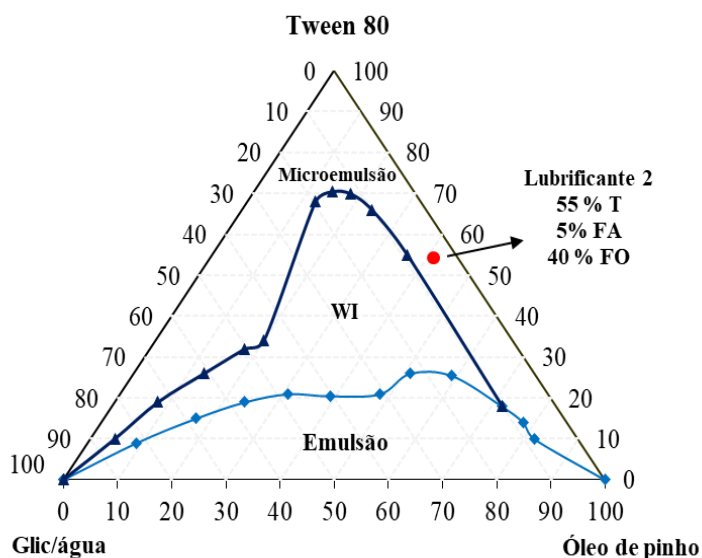
Figura 3. Ponto escolhido para o lubrificante 1.



Fonte: Autores.

A quantidade de tensoativo a ser utilizada foi a menor possível, de forma a obter um lubrificante com boa viabilidade comercial. A Figura 4 mostra o ponto selecionado no diagrama de fases ternário para o lubrificante 2.

Figura 4. Ponto escolhido para o lubrificante 2.



Fonte: Autores.

A composição de cada microemulsão utilizada como lubrificantes está descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Composição das microemulsões.

Microemulsão	Reagente	Concentração
Lubrificante 1	NaCl 2% em massa	15%
	Óleo Vegetal	15%
	Tensoativo não iônico	70%
Lubrificante 2	Água 50% - Glicerina 50% em massa	5%
	Óleo Vegetal	40%
	Tensoativo não iônico	55%

Fonte: Autores.

Os sistemas microemulsionados estudados possuem alta concentração de tensoativo, comparado à concentração de óleo e água, o que garante ao sistema microemulsionado propriedades como: estabilidade termodinâmica, biodegradabilidade e características lubrificantes necessárias para um fluido de perfuração utilizado em tal operação.

A determinação do tamanho das partículas é um parâmetro importante que permite avaliar se o sistema microemulsionado é fisicamente estável. Os valores encontrados para o diâmetro das partículas e o índice de polidispersão podem ser encontrados na Tabela 3.

Tabela 3. Diâmetro e índice de polidispersão das partículas das microemulsões.

Microemulsão	Diâmetro da partícula (nm)	Índice de polidispersão
Lubrificante 1	250,00	0,005
Lubrificante 2	254,6	0,005

Fonte: Autores.

Para serem consideradas microemulsões, as partículas de sistema microemulsionado devem possuir um diâmetro entre 10 nm e 300 nm (Chanamai, 2005; Yang, 2005; Damasceno *et al.*, 2011). Esse sistema microemulsionado é considerado estável se possuir uma distribuição homogênea com um índice de polidispersão abaixo de 0,2 (Gumiero & Rocha, 2012). Com os valores de diâmetro e polidispersão das partículas das microemulsões desenvolvidas, foi possível considerar o sistema microemulsionado como um sistema de qualidade, em relação a sua estabilidade.

Com a finalidade de avaliar a estabilidade da microemulsão em relação a temperatura, as microemulsões foram submetidas a um teste de ponto de turbidez, isto é, foram submetidas

a temperatura máxima de 95 °C, por meio de um agitador e aquecedor metálico. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Temperatura no ponto de turbidez.

Microemulsão	Temperatura de turbidez (°C)
Lubrificante 1	84,0
Lubrificante 2	Não turvou*

*O teste foi realizado até 106 °C. Fonte: Autores.

Segundo Cavalcante, Argollo & Carvalho (2004), poços de média profundidade, ou seja, entre 1000 e 2500 metros, podem variar sua temperatura de 40 °C a 80 °C. Então, a partir dos valores encontrados, pode-se considerar que as microemulsões desenvolvidas podem ser aplicadas em poços de média profundidade, mantendo-se estável em toda faixa de temperatura.

Como forma de efetivar a característica lubrificante das microemulsões, as mesmas foram submetidas a um teste de lubricidade. Foi determinado o coeficiente de lubricidade das microemulsões, que caracteriza a lubricidade de um fluido. Quanto menor o valor do coeficiente de lubricidade (CL), maior é a lubricidade do fluido. Os valores para o coeficiente de lubricidade de cada microemulsão estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Coeficiente de lubricidade das microemulsões.

Microemulsão	Coeficiente de Lubricidade (CL)
Lubrificante 1	0,07291
Lubrificante 2	0,06613

Fonte: Autores.

Para ser utilizado como aditivo em fluido de perfuração, um lubrificante deve possuir um coeficiente de lubricidade abaixo de 0,1, que é valor do coeficiente do óleo diesel tomado como base, e um composto utilizado em larga escala como aditivo lubrificante em fluidos de perfuração base aquosa. Com os valores encontrados para os lubrificantes 1 e 2, pode-se considerar as microemulsões como lubrificantes de alta lubricidade.

Após a caracterização das microemulsões, elas foram adicionadas como aditivo lubrificante em um fluido de perfuração simples e, então, foi realizado o teste de lubricidade no fluido de perfuração aditivado, variando a concentração do aditivo em 1 %, 2% e 3% v/v

do lubrificante 1, para os fluidos F1, F2 e F3, respectivamente, e 2% e 3% do lubrificante 2, para os fluidos F4 e F5. Os valores dos coeficientes de lubricidade estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficiente de lubricidade dos fluidos de perfuração aditivados.

Fluidos	Coeficiente de Lubricidade Médio
F1	0,20
F2	0,18
F3	0,13
F4	0,18
F5	0,12

Fonte: Autores.

Foi observado que todos os fluidos de perfuração aditivados apresentaram uma lubricidade abaixo de 0,25, que seria um valor aproximado do coeficiente de lubricidade de um fluido de perfuração aquoso adicionado com óleo diesel como lubrificante (Sonmez, Kok & Ozel (2013).

Considerando as conclusões de Darley & Gray (1988) sobre um fluido base óleo, segundo os quais, estes são fluidos de alta eficiência em relação a lubricidade e que possuem um coeficiente de lubricidade em torno de 0,15; pode-se afirmar que os fluidos F3, aditivado com 3% v/v com lubrificante 1; e F5, aditivado com 3% v/v com lubrificante 2, são fluidos de boa lubricidade e alta eficiência.

Além de resultados satisfatórios, como aditivos lubrificantes, é importante ressaltar que as microemulsões desenvolvidas possuem um baixo custo de produção e são totalmente biodegradáveis, ao fazer uso apenas de componentes biodegradáveis

4. Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi aplicar sistemas microemulsionados como potenciais lubrificantes em fluidos de perfuração.

A estabilidade das microemulsões testadas como lubrificantes, em fluidos de perfuração, foi comprovada através da análise do tamanho de partícula, e sua aplicação em poços de petróleo de média profundidade se torna possível devido aos valores dos pontos de turbidez obtidos, com valores maiores que 84 °C, bem acima da temperatura média dos poços, de aproximadamente 55 °C.

Os testes de lubricidade das microemulsões, assim como dos fluidos aditivados com as microemulsões formuladas, apresentaram resultados satisfatórios, com a apresentação de alta eficiência nos fluidos F3, aditivado com 3% do lubrificante 1, e F5, aditivado com 3% do lubrificante 2.

Os sistemas microemulsionados avaliados podem ser aplicadas como aditivos lubrificantes biodegradáveis em fluidos de perfuração base água para perfuração de poços, causando um menor impacto ambiental.

Referências

Amorim, LV, Apolinário, FO & Nascimento, RCAM. (2013). Estudo do coeficiente de prisão diferencial de fluidos de perfuração aquosos com ênfase nas ferramentas flat plate e radius plate e no tempo de colagem, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 8(30): 128-135.

Barros Neto, EL. (1996). *Extração de cobre utilizando microemulsões: otimização e modelagem*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

Carreteiro, RP & Belmiro, PNA. (2006). *Lubrificantes e lubrificação industrial*. Interciência, Rio de Janeiro.

Cavalcante, AG, Argollo, RM & Carvalho, HS. (2004). Correção de dados de temperatura de fundo de poço (FTP). *Revista Brasileira de Geofísica*, 22 (3): 233-243.

Chanamai, R. (2005). *Microemulsion for use in food and beverage products*. United States of America, Patents US20070087104 A1.

Constantinides, PP, Yiv, SH. (1995). Particle-size determination of phase-inverted water-in-oil microemulsions under different dilution and storage-conditions. *International Journal of Pharmaceutics*, 115 (2), 225-234.

Curbelo, FDS, Garnica, AIC, Araújo, EA, Paiva, EM, Cabral, AG, Araújo, EA. & Freitas, JCO. (2018). Vegetable oil-based preflush fluid in well cementing. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 170: 392-399.

Damasceno, BPGL, Silva, JÁ, Oliveira, EE, Silveira, WLL, Araújo, IB, Oliveira, AG & Egito, EST. (2011). Microemulsão: um promissor carreador para moléculas insolúveis. *Revista Ciências Farmacêuticas Básica Aplicada*, 32 (1): 9-18.

Darley, HCH & Gray, GR. (1988). *Composition and properties of drilling and completion fluids* (5a ed.). Gulf Publishing Company, EUA.

Espagne BJ, Lamrani-Kern, S & Rodoschini, H. (2014). *Biodegradable lubricating composition and use thereof in a drilling fluid, in particular for very deep reservoirs*. United States Patent and Trademark Office. Patent US8846583 B2.

Ferreira, GFD, Souza, DRQA, Silva, ACM & Santos, LCL. (2015) *Determinação de sistemas microemulsionados para aplicação na indústria de petróleo*. In: I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Gumiero, VC & Rocha Filho, PA. (2012). Babassu nanoemulsion have physical and chemical stability. *Journal of dispersion science and technology*, 33(11), 1569-1573.

Holmberd, Kj, Jonsson, B, Kronberg, B & Lindman, B. (2002) *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*. John Wiley & Sons, Chichester, England.

Kauffman, CMF. (2011). *Síntese e caracterização estrutural, mecânica e óptica de materiais compósitos restauradores*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Moulik, SP & Paul, BK. (1998). Structure, dynamics and transport properties of Microemulsions. *Advance in Colloid Interface Science*, 78(2): 99-195.

Naoui, W, Bolzinger, M, Fenet, B, Pelletier, J, Valour, J, Kalfat, R & Chevalier, Y. (2011). Microemulsion microstructure influences the skin delivery of a hydrophilic drug. *Pharmaceutical Research*, 28(7): 1683-1695.

NBR 10004 (2004). *Resíduos sólidos – Classificação*, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR).

N -2604 Method, PETROBRAS (1998 a) *Argila Aditivada para Fluido de Perfuração à Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo*, Brasil.

Pereira, AS et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Acesso em: 2 maio 2020. Disponível em:
https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Pinto, GHVP. (2012) *Metodologia para avaliação de cinemática de partículas gasosas em fluidos de viscosidade variável com o tempo e sua aplicação a construção de poços de petróleo*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

Resolução Conama no. 430 de 13 de maio de 2011, Recuperado em 2 de maio, 2020, de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>

Sonmez, A, Kok, MV & Ozel, R. (2013). Performance analysis of drilling fluids liquid lubricants. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 108(1): 64-73.

Sorgard, E, Alteras, E, Hydro, N, Fimreite, G, Dzialowski, A & Svanes, GS. (2001). *Design of water-based drilling fluid systems for deepwater Norway*. *Drilling Conference*, Society of Petroleum Engineers, Amsterdam.

Yang, J. (2005) *Microemulsion containing oilfield chemicals useful for oil and gas field application*. World Intellectual Property Organization Patent WO2006078723 A3.

Yu, C & Ke, Y. (2017). *Preparation and study of polystyrene/organic montmorillonite nanocomposite as lubricant additive of drilling fluid*, AIP Conference Proceedings 1894, China.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Alfredo Ismael Curbelo Garnica – 20%

Fabiola Dias da Silva Curbelo – 20%

Ítalo Xavier Queiroz – 20%

Elayne Andrade Araújo – 8%

Roxana Pereira Fernandes de Sousa – 8%

Evanice Medeiros de Paiva – 8%

Glauco Soares Braga – 8%

Edson de Andrade Araújo – 8%