

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo de fluidos de perfuração emulsionados com fase oleosa vegetal e bioaditivo da concha de molusco como redutor de filtrado.

AUTORES:

Lorraine Vieira Simão Borges, Jardyelle Beatriz de Santana, Maria Eduarda Araújo Pessoa, José Cavalcante de Queiroz Neto, Júlio César de Oliveira Freitas, Fabiola Dias da Silva Curbelo.

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal da Paraíba (UFPB); Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

ESTUDO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO EMULSIONADOS COM FASE OLEOSA VEGETAL E BIOADITIVO DA CONCHA DE MOLUSCO COMO REDUTOR DE FILTRADO

Resumo

Os fluidos de perfuração à base de emulsão são essenciais para a indústria de petróleo e gás, pois oferecem uma capacidade superior de estabilização do poço, resistência à erosão e melhor lubricidade em comparação aos fluidos à base de água. Contudo, o uso de tensoativos comerciais em suas formulações é limitado devido às restrições ambientais. Aliado a isso, a economia circular vem sendo fomentada, agregando valor a materiais normalmente descartados, como as conchas de mariscos, um resíduo do consumo de moluscos. O CaCO_3 , um aditivo obturante comum em fluidos de perfuração, é utilizado neste estudo na forma de pó de concha do molusco (PCM) da espécie *Anomalocardia brasiliiana*. A base emulsionada foi preparada utilizando um diagrama de fases pseudoternário com glicerina/água (1:1 em massa); óleo de coco; tensoativo aniônico, derivado da saponificação do óleo de coco, e butanol, como cotensoativo. A proporção de 80% de fase aquosa, 10% de fase oleosa e 10% de fase tensoativa, em massa, foi selecionada. O PCM, com granulometria de -200+250# e diâmetro médio de 0,06 mm, foi adicionado em diferentes concentrações para formar três fluidos: F1 (0%), F2 (5%) e F3 (10%). Ensaios de reologia e filtração foram realizados conforme a norma API 13B. Todas as formulações exibiram comportamento de fluido não-Newtoniano, com o modelo de Herschel-Bulkley ajustando-se aos dados experimentais. À medida que a concentração de PCM aumentou, a viscosidade plástica (VP) e o limite de escoamento (LE) aumentaram, com valores de VP de 52,5, 64,5 e 67,0 mPa.s e de LE de 28,6, 31,7 e 41,0 Pa para os fluidos F1, F2 e F3, respectivamente. Os valores de força gel inicial de F2 e F3 foram 15% e 20% superiores a F1 (10,9 Pa), enquanto a força gel final aumentou 10% e 33% em relação a F1 (16,3 Pa), para F2 e F3, respectivamente. O processo de filtração resultou em tortas finas e compactas com espessuras inferiores a 2 mm. O volume de filtrado (VF) reduziu significativamente, com valores de 10 mL, 6,4 mL e 3,2 mL para F1, F2 e F3, respectivamente, evidenciando o potencial desse material como redutor de filtrado e sua compatibilidade com fluidos de perfuração emulsionados que utilizam uma fase oleosa de origem vegetal.

Palavras-chave: fluidos de perfuração emulsionado, pó da concha de molusco, redutor de filtrado, economia circular.

Abstract

Emulsion-based drilling fluids are essential for the oil and gas industry, offering superior well stabilization, erosion resistance, and better lubricity compared to water-based fluids. However, the use of commercial surfactants in their formulations is limited due to environmental restrictions. Additionally, circular economy practices are being promoted, adding value to materials that are usually discarded, such as shellfish shells, a byproduct of mollusk consumption. CaCO_3 , a common sealing additive in drilling fluids, is used in this study in the form of shell powder (MSP) from the mollusk species *Anomalocardia brasiliiana*. The emulsion base was prepared using a pseudoternary phase diagram with glycerin/water (1:1), coconut oil, anionic surfactant derived from the saponification of coconut oil, and butanol as a cosurfactant. A proportion of 80% aqueous phase, 10% oil phase, and 10% surfactant phase was selected. The MSP, with a granulometry of -200+250# and an average diameter of 0.06 mm, was added in different concentrations to form three fluids: F1 (0%), F2 (5%), and F3 (10%).

Rheology and filtration tests were performed according to API 13B standards. All formulations exhibited non-Newtonian fluid behavior, with the Herschel-Bulkley model fitting the experimental data. As the MSP concentration increased, the plastic viscosity (PV) and yield point (YP) also increased, with PV values of 52.5, 64.5, and 67.0 mPa.s and YP values of 28.6 Pa, 31.7 Pa, and 41.0 Pa for F1, F2, and F3, respectively. The initial gel strength values of F2 and F3 were 15% and 20% higher than F1 (10.9 Pa), while the final gel strength increased by 10% and 33% compared to F1 (16.3 Pa) for F2 and F3, respectively. The filtration process resulted in thin and compact filter cakes with thicknesses below 2 mm. The filtrate volume (FV) significantly decreased, with values of 10 mL, 6.4 mL, and 3.2 mL for F1, F2, and F3, respectively, indicating the potential of this material as a filtrate reducer and its compatibility with emulsion drilling fluids that utilize a vegetable oil phase.

Keywords: emulsion drilling fluids, mollusk shell powder, filtrate reducer, circular economy.

Introdução

O processo de perfuração atravessa várias camadas de formação rochosa, que podem variar em termos de temperatura, salinidade e pressão. Além disso, o atrito constante durante a perfuração aumenta a taxa de desgaste dos instrumentos utilizados. Para garantir o sucesso da operação, os fluidos de perfuração desempenham funções essenciais, como a remoção dos cascalhos, a formação de uma torta de filtração fina e de baixa permeabilidade, o resfriamento da ferramenta de perfuração e a promoção da lubricidade necessária para seu funcionamento (Caenn, Darley e Gray, 2017).

Nesse contexto, destacam-se os fluidos de perfuração à base de água (FPBA) e os fluidos de perfuração de base não aquosa (FPBNA). Em geral, os FPBA apresentam vantagens econômicas e ambientais, mas são limitados a perfurações menos complexas. Em contrapartida, os fluidos de perfuração à base de emulsão (FPBE) apresentam boas propriedades de estabilização do poço (inclusive em formação de xisto), alta lubricidade, resistência à erosão e baixo arrasto e torque em comparação aos FPBA (Kumar *et al.*, 2020; Paswan, Kumar e Mahto, 2022).

Ao longo dos anos, diversas bases oleosas, inclusive aquelas derivadas de petróleo, como óleo diesel e outros óleos minerais, foram utilizadas. Além das consequências ecológicas, o uso de fluidos à base de óleo diesel também acarreta em altos custos, principalmente para o processo eficiente de limpeza da perfuração (Paswan, Kumar e Mahto, 2022). Portanto, há um aumento nos estudos sobre a viabilidade de utilizar fases oleosas vegetais, como óleo de soja (Paswan, Kumar e Mahto, 2022), óleo de girassol (Liu *et al.*, 2023; Paswan e Mahto, 2020), óleo de semente de manga (Kumar *et al.*, 2020) e óleo de pinho (Leal *et al.*, 2022).

Para garantir a estabilidade do sistema emulsionado, são utilizados tensoativos. No entanto, um estudo realizado por Johnson *et al.* (2021) apontou riscos à saúde humana e ao meio ambiente relacionados ao uso de tensoativos convencionais, como poli-hidroxi Gemini, polisorbatos (T80, T60, etc.) e nonifenóis etoxilados (NP100, NP150, etc.). Tensoativos naturais podem ser obtidos a partir da esterificação/transesterificação ou epoxidação de diferentes óleos comestíveis e não comestíveis. O óleo de coco e o sebo são matérias-primas tradicionais para a produção de diversos tensoativos (Karsa, 2006; Paswan, Kumar e Mahto, 2022).

Baseado numa motivação ambiental, as comunidades da região costeira do Rio Paraíba se dedicam à pesca de moluscos, uma importante fonte de renda para essas comunidades tradicionais. Os

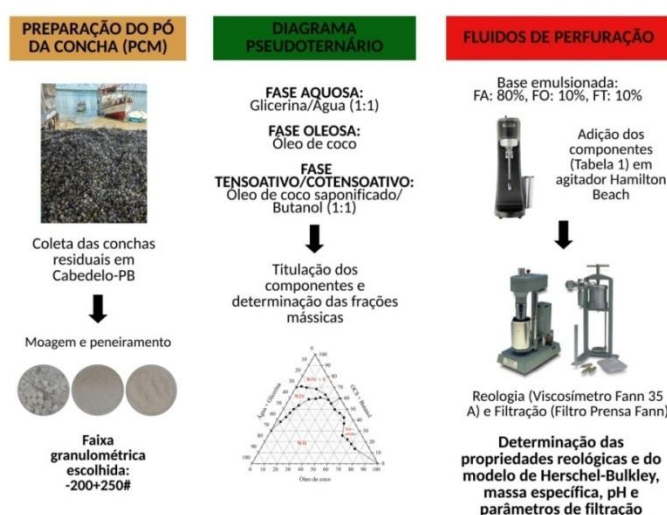
mariscos bivalves, como a espécie *Anomalocardia brasiliiana*, são abundantes nos bancos aluviais do Rio Paraíba. O consumo e a comercialização são realizados pelas comunidades ribeirinhas, que aproveitam apenas a carne dos moluscos. As cascas são um resíduo dessa atividade, sendo, geralmente, descartadas nas margens dos rios (Fagundes e Silva, 2022).

Essas cascas, ou conchas, são, majoritariamente, formadas por CaCO_3 , que é um aditivo utilizado como redutor de filtrado e adensante em fluidos de perfuração. Desta forma, este estudo propõe uma utilização alternativa desses resíduos, através da incorporação das cascas em forma de pó, denominado pó da concha de molusco (PCM), em fluidos de perfuração, avaliando seu potencial como redutor de filtrado. Propõe-se a utilização de um sistema emulsionado contendo fase oleosa de origem vegetal (óleo de coco) e tensoativo derivado da saponificação deste mesmo óleo (óleo de coco saponificado – OCS). Os estudos reológicos e de filtração foram realizados e avaliados com o objetivo de propor um sistema de fluido de perfuração ambientalmente sustentável, atendendo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU, especificamente os objetivos 11, 12, 14 e 15.

Metodologia

O fluxograma da Figura 1 resume os procedimentos experimentais adotados para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 1. Fluxograma das etapas experimentais.



Inicialmente, a concha *Anomalocardia brasiliiana* foi coletado no município de Cabedelo – PB, como resíduo da atividade de marisqueiros locais, que retiraram a carne do marisco para comercialização e consumo. O material foi limpo com água destilada e detergente. Posteriormente, a concha foi triturada em moinho de bolas da marca Viatest e classificada granulometricamente em mesa vibratória para peneiras redondas, da marca Bertel. A faixa escolhida para formulação dos fluidos foi a de -200+250#.

Paralelamente, um diagrama de fases pseudoternário foi obtido utilizando iguais proporções mássicas de água e glicerina como fase aquosa, óleo de coco como fase oleosa e tensoativo OCS com cotensoativo butanol (1:1) como fase de tensoativo. Para a elaboração do diagrama, uma titulação dos componentes do sistema foi realizada, determinando as regiões de Winsor, a partir das frações mássicas destes componentes. O ponto de 80% FA, 10% FO e 10% FT foi escolhido como base para a formulação

dos fluidos emulsionados. Os aditivos utilizados estão exibidos na Tabela 1, com diferentes composições de PCM.

Tabela 1. Composição dos fluidos de perfuração emulsionados.

Fluidos	Aditivos					
	Base (g)	Goma Xantana (g)	Carboximetilcelulose (g)	NaCl (g)	Baritina (g)	PCM (g)
F1	400	2,05	1,15	6,4	82	-
F2	400	2,05	1,15	6,4	82	20
F3	400	2,05	1,15	6,4	82	40

A massa específica foi determinada em uma balança de lama da marca Fann, e as medidas de pH foram feitas em pHmetro de bancada. As leituras reológicas foram obtidas em viscosímetro Fann 35^a, para as rotações de $i = 3, 6, 100, 200, 300$ e 600 rpm, com ângulos de deflexão (θ_i) aferidos seguindo a norma API 13B-1, bem como a força-gel (G_0 e G_{10}) das formulações. A viscosidade plástica (VP) e o limite de escoamento (LE) dos fluidos foram determinados de acordo com as fórmulas (1) e (2), respectivamente:

$$LE = 0,48 \cdot (\theta_{300} - VP) \text{ (Pa)} \quad (1)$$

$$VP = \theta_{600} - \theta_{300} \text{ (mPa.s)} \quad (2)$$

O modelo de Herschel-Bulkley (HB) foi escolhido para representar os dados experimentais, conforme Equação 3:

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad (3)$$

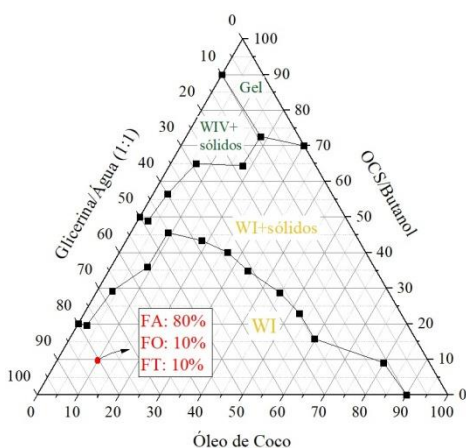
Em que: τ_0 é a tensão inicial de escoamento (Pa); k é o índice de consistência do fluido ($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-n}$) e n é o índice de comportamento do fluxo (adimensional).

O ensaio de filtração foi realizado no filtro prensa API, sob pressão de 100 psi, durante 30 min, a uma temperatura de 28 °C, com o filtro de papel Whatman nº 50. O volume de filtrado foi coletado e a espessura da torta de filtro foi determinada com auxílio de um paquímetro.

Resultados e Discussão

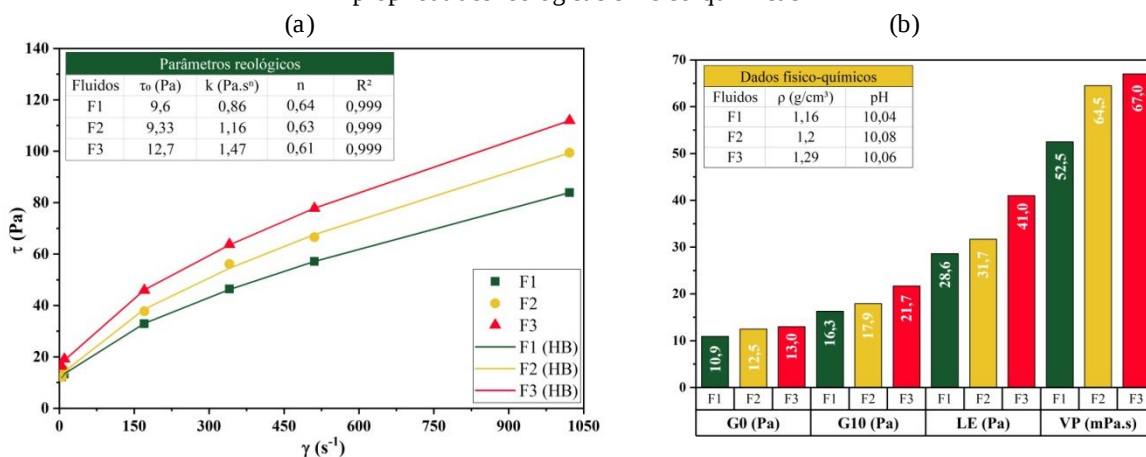
A Figura 2 exibe os resultados do comportamento de fases do sistema pseudoternário composto por glicerina/água (1:1), óleo de coco e óleo de coco saponificado/butanol (1:1), atuando como fase aquosa (FA), oleosa (FO) e tensoativa/cotensoativa (FT), respectivamente. As regiões de Winsor foram identificadas e um ponto pertencente a região de Winsor I, caracterizada pelo equilíbrio entre a fase microemulsionada e a fase orgânica, foi escolhido como base para o sistema emulsionado do presente estudo.

Figura 2. Diagrama de fases pseudoternário.



A Figura 3 apresenta as curvas de fluxo, obtidas a partir do modelo de Herschel-Bulkley, bem como os parâmetros reológicos das formulações F1, F2 e F3.

Figura 3. Reologia das formulações: (a) Curvas de fluxo e do modelo de HB e (b) comparação das propriedades reológicas e físico-químicas



Conforme observado na Figura 3a, as curvas de fluxo são típicas de fluidos não-Newtonianos, com valores do índice de comportamento do fluxo (n) inferiores a 1 e com tensão inicial de escoamento (τ_0). A menor decantação do cascalho do fluido pode ser entendida observando o comportamento do índice de consistência do fluido (k). Nesse caso, o cascalho tende a sedimentar mais rapidamente em F1 do que nos demais fluidos, que apresentam valores de k superiores (Khalil e Jan, 2012). Como a tensão de escoamento (τ_0) representa a força mínima necessária para que o fluido comece a escoar, os resultados obtidos indicam que uma condição de bombeamento mais potente seria necessária para fazer a formulação F3 fluir, em comparação com F1 e F2.

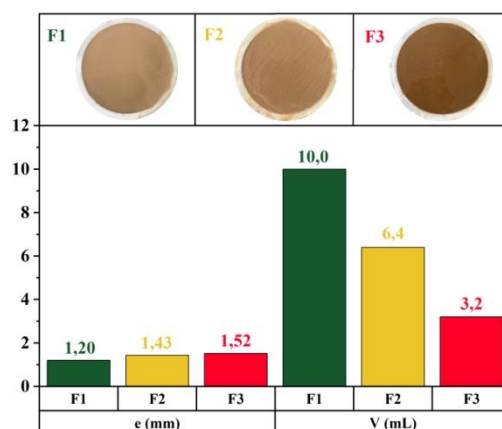
Os parâmetros reológicos, apresentados na Figura 3b, definem as características de fluxo, desempenho de suporte de cascalho e os cálculos relativos às condições hidráulicas, durante a perfuração (Caenn e Chillingar, 1996). A viscosidade plástica (VP) é a resistência ao fluxo causada pelo atrito gerado, sendo um parâmetro dependente da viscosidade do fluido base e da concentração de sólidos (Caenn, Darley e Gray, 2017; Paswan, Kumar e Mahto, 2022). O limite de escoamento (LE) é um indicador das forças atrativas no fluido sob condições de fluxo. Assim como para a viscosidade plástica, maiores valores de LE foram obtidos com o aumento da concentração de PCM. Finalmente, o caráter

tixotrópico dos fluidos pode ser confirmado pelos valores de força gel medidos, indicativos da capacidade de suspensão do cascalho em condição estática. Estas observações da força gel seguem os critérios sugeridos por Putra *et al.* (2020), que indicam que G_{10} não deve ser superior a duas vezes o valor de G_0 para evitar a exigência de alta pressão durante a recirculação do fluido. Assim como para as demais propriedades, G_0 e G_{10} também apresentam tendência de crescimento com maiores teores de PCM.

Adicionalmente, a potencialidade do sistema emulsionado com óleo vegetal e tensoativo obtido da mesma fase oleosa também foi comprovada por outros estudos semelhantes (Paswan, Kumar e Mahto, 2022; Paswan e Mahto, 2020; Said e El-sayed, 2018), mostrando bom desempenho reológico, inclusive quando comparados ao óleo diesel. A presença do PCM não apenas alterou as propriedades reológicas, mas também proporcionou um adensamento do sistema, em que a utilização de 5% (F2) e 10% (F3) de PCM promoveu um aumento na massa específica superior a 3% e 11%, respectivamente, em relação a F1.

A Figura 4 mostra os resultados obtidos para as formulações submetidas ao processo de filtração estática.

Figura 4. Volume de filtrado e espessura do reboco das formulações.



Apesar de o PCM fornecer mudanças reológicas significativas, conforme discutido anteriormente, a maior contribuição desse aditivo eco-friendly foi como redutor de filtrado. A análise gráfica indica uma redução de 36% no volume de filtrado para F2 e 68% para F3, quando comparados ao fluido de referência F1. Essa redução aconteceu sem promover um aumento significativo na espessura das tortas, que permaneceram com valores inferiores a 2 mm.

Conclusões

Este trabalho desenvolveu fluidos de perfuração emulsionados ecologicamente corretos na presença de óleo de coco e tensoativo derivado do mesmo óleo. Os resultados mostraram que o sistema apresentou bom desempenho reológico, de modo a permitir uma eficiência quanto ao transporte e retenção de cascalho. Aliado a isso, a aplicação de PCM como redutor de filtrado proporcionou uma diminuição na perda de fluido, formando rebocos finos, além de promover uma alternativa circular quanto aos resíduos gerados na atividade de pesca de comunidades ribeirinhas.

Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPQ, à CAPES e à FAPESQ pelo provimento de bolsas de iniciação científica (UFPB), doutorado (UFRN - Programa de Demanda Social nº 88887.886448/2023-00), mestrado (Termo nº16/2022 – FAPESQ) e de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - DT2.

Referências Bibliográficas

CAENN, R.; CHILLINGAR, G. V. Drilling fluids: State of the art. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 14, p. 221–230, 1996.

CAENN, R.; DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. R. Drilling fluid components. *In: Composition and properties of drilling and completion fluids.*

FAGUNDES, T. F. DA S.; SILVA, L. B. DA. Potencial uso dos resíduos de conchas de moluscos: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022.

KARSA, D. R. What are surfactants? *In: Chemistry and technology of surfactant.* p. 1–23.

KHALIL, M.; JAN, B. M. Herschel-Bulkley rheological parameters of a novel environmentally friendly lightweight biopolymer drilling fluid from xanthan gum and starch. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 124, p. 595–606, 2012.

KUMAR, S. *et al.* A novel oil-in-water drilling mud formulated with extracts from Indian mango seed oil. **Petroleum Science**, v. 17, n. 1, p. 196–210, 2020.

LEAL, G. L. R. *et al.* Formulation of novel ecofriendly microemulsion-based drilling fluids for improving rheological and filtration characteristics. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 215, 2022.

LIU, X. *et al.* Wood-derived lignocellulose nanomaterials as multifunctional agents in eco-friendly pickering emulsion-based drilling fluids. **Chemical Engineering Journal**, v. 475, n. 66, 2023.

PASWAN, B. K.; KUMAR, S.; MAHTO, V. Evaluation of a soybean oil derived surfactant in the development of oil-in-water (O/W) emulsion drilling mud for shale formation. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 217, 2022.

PASWAN, B. K.; MAHTO, V. Development of environment-friendly oil-in-water emulsion based drilling fluid for shale gas formation using sunflower oil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 191, 2020.

PUTRA, P. H. M. *et al.* Effect of temperature and concentration of industrial waste graphene on rheological properties of water based mud. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...**2020

SAID, M. M.; EL-SAYED, A. H. The use of palm oil fatty acid methyl ester as a base fluid for a flat rheology high-performance drilling fluid. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 166, p. 969–983, 2018.