

**AVALIAÇÃO DE LUBRIFICANTES EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO
BASE ÁGUA**

Renalle Cristina Alves de Medeiros¹; Luciana Viana Amorim²; Lisiane Navarro de Lima Santana³

Resumo – Este trabalho objetiva avaliar a influência de aditivos lubrificantes nacionais no coeficiente de lubricidade de fluidos de perfuração base água em função de sua concentração. Os fluidos foram preparados com 2,5% de argila bentonítica sódica industrializada, tratada com aditivos poliméricos e lubrificantes. Suas propriedades reológicas, de filtração e lubricidade foram avaliadas com base nas normas da PETROBRAS. Com os resultados obtidos, conclui-se que: i) os fluidos preparados apenas com argila apresentaram comportamento Binghamiano, enquanto que os fluidos aditivados, comportamento pseudoplástico, ii) foi comprovada a necessidade da adição de um agente lubrificante em fluidos base água contendo argila bentonítica e polímero e iii) o teor de 1,0% de lubrificante é suficiente para adequar o coeficiente de lubricidade dos fluidos, com valores próximos ao de fluidos base óleo, considerados como fluidos de excelente lubricidade.

ABSTRACT: This work aims to evaluate the influence of national lubricant additives over the coefficient of lubricity in water based drilling fluids as a function of additives concentration. The fluids were prepared with 2.5% (12.5 g of argila/500 mL of water) mass of clay, treated with polymer additives and lubricants in different concentrations, based on PETROBRAS standard. Accordingly with the results it was concluded that: i) the fluids prepared only with clay had flow of Bingham plastic, while the treated fluids present flow of pseudoplastic fluid, ii) it was proven the necessity of adding an lubricating agent in water and bentonite clay based drilling fluids, iii) 1.0% of lubricant is enough to drive the lubricity of fluids quite near to that verified in oil based drilling fluids.

Palavras-chave: Fluidos base água, propriedades reológicas, coeficiente de lubricidade.

¹ Aluna do Curso de Engenharia de Materiais, Bolsista PRH-25/ANP, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: nalealves@hotmail.com

² Pesquisadora Visitante, ANP/PRH-25/UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970, Campina Grande, PB, Fone: 83-3310-1106, E-mail: luciana@cct.ufcg.edu.br

³ Profa. Doutora, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970, Campina Grande, PB, Fone: 83-3310-1180, E-mail: lisiane@dema.ufcg.edu.br

1- INTRODUÇÃO

Os fluidos de perfuração são indispensáveis durante as operações de perfuração, pois desempenham uma série de funções essenciais, como resfriar e lubrificar a broca de perfuração, reduzir o atrito entre a coluna de perfuração e as paredes do poço, transportar os detritos de perfuração e permitir sua separação na superfície e formar um filme de baixa permeabilidade (reboco) nas paredes do poço [1]. O desempenho dessas funções é diretamente dependente das suas propriedades reológicas, de filtração e lubrificidade (viscosidades, consistência de gel, controle de filtrado, reboco e coeficiente de lubrificidade).

Nas perfurações de poços *onshore* um dos componentes mais utilizados em fluidos de perfuração base água é a argila bentonítica, que tem como principal função viscosificar o fluido, propriedade que determina a facilidade que o fluido possui em conduzir os detritos à superfície. Essa argila, em quantidade de 4,0 % a 5,0 % em peso, é capaz de formar um sol necessário para transportar os detritos de perfuração e de formar um gel necessário para manter os detritos em suspensão quando a circulação do fluido é interrompida. Esse comportamento é conhecido como tixotropia. Segundo Thomas [2], o grau de tixotropia do fluido é obtido pela diferença entre as forças géis inicial e final. A força gel é um parâmetro de natureza reológica que indica o grau de gelificação devido à interação elétrica entre partículas dispersas.

A tixotropia é causada pela presença de partículas carregadas eletricamente que se encadeiam umas às outras, formando uma matriz rígida. Após um período de repouso, o fluido tixotrópico não escoar, a menos que uma tensão, igual ou superior ao limite de escoamento, seja aplicada. Porém, deve ser cuidadosamente controlada, pois se excessiva, o fluido poderá causar erosão nas paredes do poço em virtude de sua elevada capacidade de carregamento [3].

A perfuração de poços em profundidades cada vez maiores, bem como as atuais normas ambientais, tem exigido o desenvolvimento de tecnologias sofisticadas e específicas, e ao mesmo tempo ecologicamente corretas. Devido aos diferentes tipos de formação e condições encontradas em cada etapa, a perfuração é dividida em fases, utilizando-se em cada fase um fluido diferente. Esta troca de fluidos envolve um alto custo [4].

Na perfuração de poços artesianos e de petróleo quando há a necessidade de desvios, as forças de fricção entre a coluna de perfuração e as paredes do poço podem causar sérios problemas, como o torque excessivo na coluna de perfuração e a diminuição da taxa de penetração.

Alto torque e arraste podem exceder a capacidade dos equipamentos de perfuração e o limite do afastamento horizontal do poço. Dentre os muitos elementos que afetam o torque e o arraste, o coeficiente de fricção é o fator determinante [5]. Estes problemas podem ser minimizados, ou até mesmo evitados, pelo uso correto de fluidos de perfuração com propriedades lubrificantes. Os

fluidos de perfuração à base de óleo e os de base sintética produzem menores e, portanto, melhores coeficientes de lubricidade (CL) do que os fluidos à base de água, contudo, a utilização destes fluidos está cada vez mais limitada em virtude dos impactos ambientais e do alto custo.

Fluidos base óleo apresentam CL de 0,15, enquanto os fluidos base água, valores entre 0,35 e 0,50 e fluidos base água com aproximadamente 4,3 % de bentonita, 0,44 [1].

Por meio de aditivações, os fluidos de perfuração de base aquosa podem apresentar propriedades adequadas, a exemplo da lubricidade, e serem utilizados em várias fases de um poço, sendo ainda ecologicamente corretos e de menor baixo.

Growcock et al. [6], investigaram vários aditivos lubrificantes com o objetivo de conhecer quais eram eficientes na redução do coeficiente de lubricidade de fluidos hidroargilosos e de fluidos poliméricos e concluíram que o desempenho do lubrificante é aparentemente independente do tipo de fluido, embora tenha o seu desempenho diminuído com o aumento da quantidade de sólidos e de componentes de superfície ativa.

Com isso, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de aditivos lubrificantes nacionais e sua concentração no coeficiente de lubricidade de fluidos de perfuração base água.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 - MATERIAIS

Foram estudados os seguintes materiais:

- uma amostra de argila bentonítica sódica industrializada da Parafba na concentração de 2,5% (12,5g / 500 mL) em massa;
- dois aditivos poliméricos (goma xantana, conhecido comercialmente por Goma Gel e carboximetilcelulose de baixa viscosidade, conhecido por Celutrol ADS) na concentração de 0,8g / 12,5g de argila e
- dois agentes lubrificantes (Lub.1 e Lub.2) nas concentrações 1,0%, 1,5% e 2,0%.

2.2 - METODOLOGIA

2.2.1-Preparação dos Fluidos de Perfuração: Os fluidos de perfuração à base de água foram preparados com base na norma N-2605 [7]. Inicialmente, a argila foi misturada manualmente com o polímero em pó e, em seguida, adicionou-se a mistura de argila e polímero a 500 mL de água deionizada, agitando a uma velocidade de 17.000 rpm durante 20 minutos, em agitador mecânico da marca Hamilton Beach, modelo 936. Em seguida, o fluido permaneceu em repouso durante 24 h em recipiente fechado e após esse período foi adicionado o lubrificante sob agitação constante no mesmo agitador mecânico.

2.2.2-*Estudo reológico dos fluidos de perfuração*: Após repouso de 24 horas, o fluido foi agitado durante 5 min 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 35 A. Neste equipamento, seis valores de torque foram lidos com taxas de cisalhamento variando de 5,1 a 1022 s⁻¹. O viscosímetro foi acionado na velocidade de 600 rpm durante 2 min e efetuada a leitura. Logo após, foi mudado para velocidade de 300 rpm, efetuando a leitura após 15 seg. Novamente, mudou-se a velocidade para 200 rpm e esperou-se estabilizar para efetuar a leitura. O mesmo procedimento foi utilizado para as velocidades de 100 rpm, 6 rpm e 3 rpm.

Para obtenção da força gel inicial, agitou-se o fluido na velocidade de 600 rpm durante 15 seg, permanecendo em repouso durante 10 seg. Logo após, colocou-se na velocidade de 3 rpm efetuando-se a leitura. Em seguida, para a obtenção da força gel final, o fluido foi deixado em repouso durante 10 min e, logo após, efetuada a leitura na velocidade de 3 rpm.

Com os dados das leituras obtidas no viscosímetro, calculou-se a viscosidade aparente (VA), a viscosidade plástica (VP) e o limite de escoamento (LE) segundo a norma N-2605 [7], utilizando as equações abaixo.

- Viscosidade aparente (VA):

$$VA = \frac{L_{600}}{2} \quad (1)$$

- Viscosidade plástica (VP):

$$VP = L_{600} - L_{300} \quad (2)$$

- Limite de escoamento (LE):

$$LE = L_{300} - VP \quad (3)$$

2.2.3-*Lubricidade dos fluidos*: O coeficiente de lubricidade foi determinado em lubricímetro OFITE (*EP-Lubrlicity Tester*). Agitou-se o fluido por 5 minutos em um agitador mecânico Hamilton Beach, modelo 936, na velocidade de 17.000 rpm. Em seguida o fluido foi transferindo para o recipiente do equipamento, com torque inicial zero e uma velocidade de 60 rpm; aplicou-se lentamente uma força de 150 in/lb durante 5 min, efetuando-se a leitura do torque exercido pelo fluido. Com a leitura obtida pelo torque da água, calculou-se o fator de correção (FC), de acordo com a equação (4) e o coeficiente de lubricidade de acordo com a equação (5).

- Fator de Correção:

$$FC = \frac{34,0}{Leitura_{\text{água}}} \quad (4)$$

- Coeficiente de lubrificidade:

(5)

$$CL = \frac{FC \cdot Leitura_{obtida}}{100}$$

2.2.4-Determinação do Volume do Filtrado: Para essa determinação, os fluidos foram agitados durante 1 min, em agitador mecânico Hamilton Beach, modelo 936, na velocidade de 17.000 rpm. Em seguida, o fluido foi transferido para o recipiente do filtro-prensa da marca Fann, com aplicação de uma pressão da ordem de 7,0 kgf/cm² (100 psi). Após 30 minutos, o filtrado foi lido e obteve-se a medida do volume do filtrado, expresso em mL.

Todos os ensaios foram realizados em duplicata. Quando um dos resultados diferia da média de 10 %, esse era automaticamente eliminado e o ensaio repetido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 estão traçadas as curvas de fluxo dos fluidos hidroargilosos sem aditivação e aditivados com Goma Gel e lubrificantes (Lub.1 e Lub.2), e nas Figuras 3 e 4 estão traçadas as curvas de fluxo dos fluidos hidroargilosos sem aditivação e aditivados com Celutrol ADS e lubrificantes (Lub.1 e Lub.2), geradas após tratamento matemático, e que melhor representaram o comportamento reológico dos fluidos estudados e o coeficiente de determinação R².

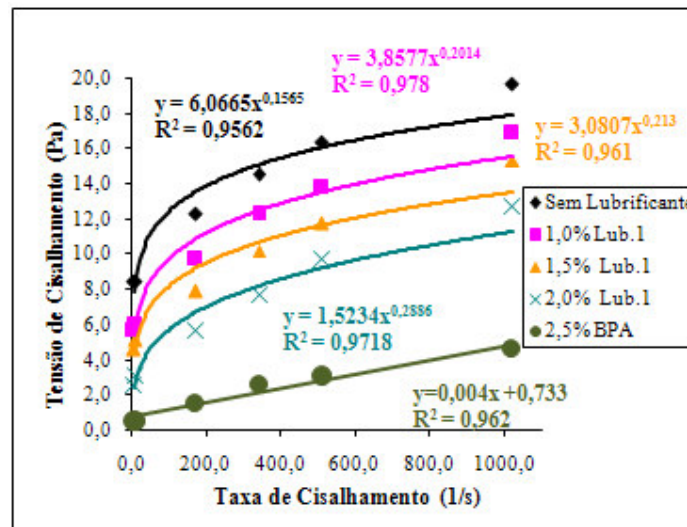


Figura 1: Curvas de fluxo dos fluidos de perfuração aditivados com Goma Gel e Lub.1

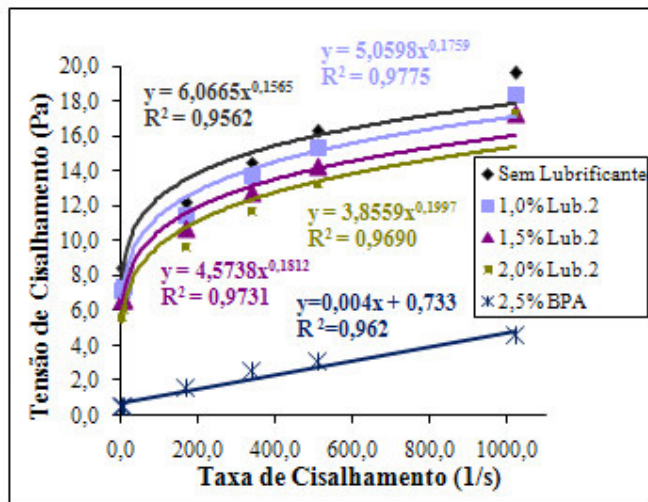


Figura 2: Curvas de fluxo dos fluidos de perfuração aditivados com Goma Gel e Lub.2

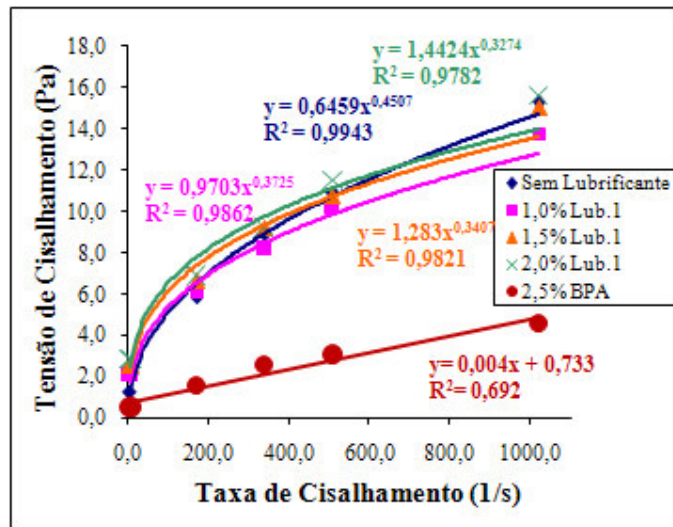


Figura 3: Curvas de fluxo dos fluidos de perfuração aditivados com Celutrol ADS e Lub.1

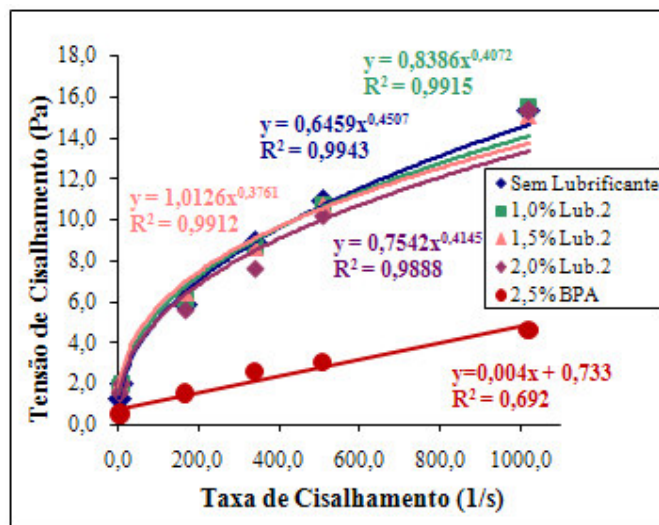


Figura 4: Curvas de fluxo dos fluidos de perfuração aditivados com Celutrol ADS e Lub.2

Os resultados mostraram que todos os fluidos preparados apenas com a argila Brasgel PA apresentaram comportamento de fluidos Binghamiano e após a aditivação, os fluidos passaram a apresentar comportamento de fluidos pseudoplásticos, com limite de escoamento. Essa mudança ocorre porque os aditivos poliméricos apresentam comportamento pseudoplástico.

Os coeficientes de correlação R^2 , apresentados nas Figuras 1, 2, 3 e 4, medem a associação entre as variáveis quantitativas; isto é, uma medida que julga o quanto a nuvem de pontos do gráfico de dispersão aproxima-se de uma curva. Como no caso de variáveis qualitativas, essa medida irá assumir valores de -1 a 1; quanto mais próximo de 1, ou de -1, mais os dados aproximam-se da curva [8].

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os valores das propriedades reológicas de filtração e o coeficiente de lubricidade dos fluidos de perfuração aditivados com Goma Gel e lubrificantes e os fluidos aditivados com Celutrol ADS e lubrificantes, respectivamente.

Tabela 1. Propriedades reológicas, de filtração e coeficiente de lubricidade dos fluidos aditivados com Goma Gel e lubrificantes.

Tipos de aditivos	Quantidade de lubrificante	VA (cP)	VP (cP)	LE (N/ m ²)	FG	VF (mL)	ER (mm)	CL
0,8g Goma Gel + Lub.1	-----	19,3	6,5	25,5	4,5	14,0	1,172	0,36
	1,0%	16,5	6,0	21,0	9,0	14,0	1,181	0,11
	1,5%	15,0	7,0	16,0	5,5	13,5	0,855	0,11
	2,0%	14,0	6,0	13,0	5,0	12,0	0,876	0,10
0,8g Goma Gel + Lub.2	-----	19,3	6,5	25,5	4,5	14,0	1,172	0,36
	1,0%	18,0	6,0	24,0	4,0	14,8	1,194	0,15
	1,5%	17,0	6,0	22,0	7,0	13,8	1,180	0,12
	2,0%	17,0	8,0	18,0	6,0	13,0	1,038	0,12
Especificações [9]	-----	≥15,0	≥4,0	≤ 1,5xVP	NE	≤18,0	NE	NE

Observou-se na Tabela 1 que os resultados obtidos de VA, LE diminuíram com a adição do lubrificante e continuou a decrescer com o aumento da quantidade do mesmo. Apenas os fluidos com 2,0 % de Lub.1 não estão de acordo com as especificações [9] apresentadas na Tabela acima, uma vez que os valores de VA e LE não atendem os limites exigidos. Os valores de VP e VF praticamente não variaram com a adição do lubrificante, permanecendo próximos a 6,5 e 14,0 respectivamente. A força gel (FG) dos fluidos apresentaram valores que variaram de 4,0 a 9,0; com a adição do lubrificante houve um pequeno aumento da FG, isto provavelmente ocorre devido a uma maior interação entre as partículas.

Com os resultados apresentados na Tabela 2, observou-se que os valores de VA para os fluidos aditivados com Lub.1 reduziram com a adição do lubrificante; e com o aumento da quantidade de lubrificante houve um aumento nos valores de VA. Apenas os fluidos aditivados com a concentração de 2,0% de Lub.1 apresentaram VA de acordo com o mínimo especificado pela PRROBRAS [9]. As propriedades VP, LE, VF permaneceram quase constantes, com valores que de acordo com a especificação da PETROBRAS [9]. Não houve variações significativas da FG, estando com valores aproximadamente de 12,5 para os fluidos preparados com Celutrol ADS e 2,0% de Lub.2 e 16,5 para os fluidos preparados com Celutrol ADS e 2,0% de Lub.1.

Tabela 2. Propriedades reológicas, de filtração e coeficiente de lubrificidade dos fluidos aditivados com Celutrol ADS e lubrificantes.

Tipos de Aditivos	Quantidade de lubrificante	VA (cP)	VP (cP)	LE (N/ m ²)	FG	VF (mL)	ER (mm)	CL
0,8g Celutrol ADS + Lub.1	-----	15,0	8,5	13,0	11,0	12,0	1,470	0,39
	1,0%	13,5	7,0	13,0	13,0	12,5	1,053	0,07
	1,5%	14,8	8,5	12,5	12,5	10,1	0,932	0,06
	2,0%	15,3	8,0	14,5	16,5	10,2	0,868	0,06
0,8g Celutrol ADS + Lub.2	-----	15,0	8,5	13,0	11,0	12,0	1,470	0,39
	1,0%	15,3	9,5	11,5	7,0	13,3	1,153	0,10
	1,5%	14,8	8,5	12,5	12,0	11,6	0,946	0,11
	2,0%	15,0	10,0	12,0	12,5	11,4	0,927	0,11
Especificações [9]	-----	≥15,0	≥4,0	≤ 1,5xVP	NE	≤18,0	NE	NE

Para os fluidos aditivados com Lub.2, observou-se que a adição do lubrificante não influenciou as variáveis VA, VP e LE. Os valores obtidos estão de acordo com os padrões da PETROBRAS [9].

Quando comparado o LE dos fluidos preparados com Goma Gel com os fluidos preparados com Celutrol ADS, observou-se um maior valor de LE para os fluidos preparados com Goma Gel, isto porque este polímero tem ação viscosificante, cuja função é conferir viscosidade ao fluido, já o Celutrol ADS é composto por um polímero à base de celulose, o carboximetilcelulose (CMC), de baixa viscosidade, que tem como função reduzir o filtrado. Portanto, os fluidos preparados com Goma Gel necessitam de uma maior tensão para que inicie o escoamento.

Na Tabela 2, o VF dos fluidos preparados com o Lub.1 estão próximos a 10 mL e os fluidos com o Lub.2 apresentaram valores próximos a 12 mL. A ER não sofreu variações significativas, e reduziu com a redução do VF.

A ER está diretamente relacionada com o VF, isto porque a formação de um reboco espesso significa que uma grande quantidade de fase líquida do fluido está passando para a formação geológica. O filtrado é reduzido quando se tem a formação de um reboco de pequena espessura e de baixa ou mínima permeabilidade. Para se ter um bom controle durante a perfuração essa relação é bastante importante, pois o excesso de reboco na parede do poço pode causar, por exemplo, aprisionamento da coluna de perfuração ou prisão diferencial.

As Figuras 5 e 6 apresentam o comportamento do coeficiente de lubricidade dos fluidos estudados. Observa-se que os fluidos sem a presença do lubrificante apresentaram CL próximos de 0,4 e, após a adição do lubrificante, todos os fluidos apresentaram valores próximos a 0,10. Esse comportamento mostra que a aditivção de fluidos hidroargilosos com agentes lubrificantes reduz significativamente o CL dos fluidos. Essa redução está associada às características do lubrificante, pois este é composto por um tensoativo de peso molecular elevado (em torno de 800 g/mol) e possui dipolos e cargas. Assim, ele forma um filme sobre as superfícies capaz de interações mais fortes que os óleos comuns e proporciona menores valores de coeficiente de lubricidade.

Comparando os resultados obtidos com o Lub.1 e com o Lub.2, observa-se que os fluidos aditivados com o Lub.1 apresentaram melhores coeficientes de lubricidade, com valores inferiores aos apresentados por fluidos base óleo, considerados neste trabalho como referência [1] e representados, nos gráficos das Figuras 5 e 6, em linhas horizontais.

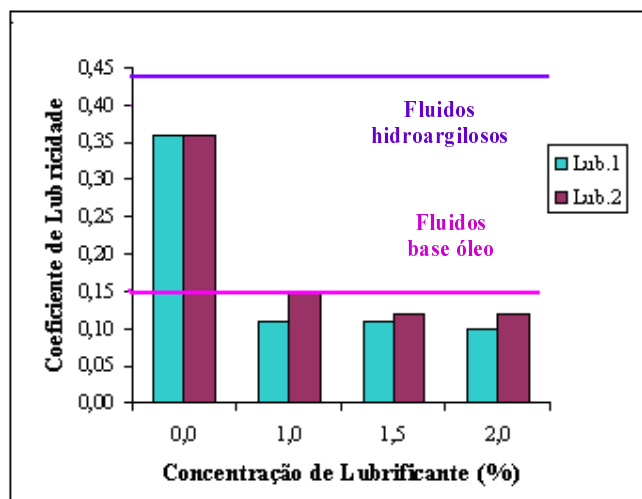


Figura 5: Coeficiente de lubricidade dos fluidos preparados com Goma Gel e Lubrificantes.

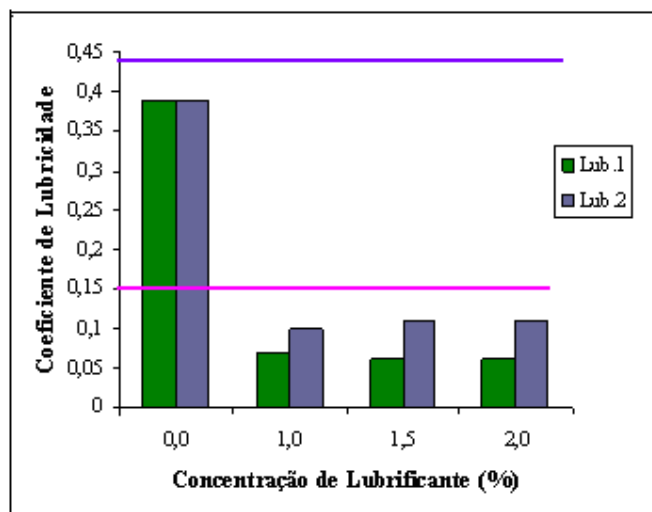


Figura 6: Coeficiente de lubrificidade dos fluidos preparados com Celutrol ADS e Lubrificantes.

Observou-se ainda que não houve variações significativas no CL com o aumento da concentração de lubrificante nos fluidos de perfuração, sendo o teor de 1% considerado adequado para a aditivação de fluidos base água contendo argilas bentoníticas e polímeros. É importante ressaltar que tradicionalmente empresas multinacionais de fluidos utilizam uma concentração de 3,0 % de lubrificante em fluidos base água.

Knox e Jiang [10], reportaram valores de CL entre 0,102 (3,0 % de lubrificante) e 0,299 (1,0 % de lubrificante) para fluidos à base de água salgada, contendo goma xantana, amido, MgO, CaCO₃ e lubrificante (foram avaliadas 10 amostras de lubrificantes).

Os dados apresentados neste trabalho estão de acordo com os da literatura e, para todos os fluidos, os resultados de CL foram inferiores, confirmando assim a capacidade lubrificante dos fluidos de perfuração à base de água doce contendo bentonita e polímero. Esta lubrificidade se faz importante visto que fluidos com esta propriedade tendem a reduzir o torque e o arraste presentes durante as operações de perfuração.

4. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho, concluiu-se que:

- os fluidos base água aditivados com bentonita, polímeros e lubrificantes apresentaram comportamento de fluidos pseudoplásticos, com limite de escoamento;
- a adição do lubrificante não alterou significativamente as propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração;
- há a necessidade da adição de um agente lubrificante em fluidos base água contendo argila bentonítica e polímero e

- o teor de 1,0 % de lubrificante é suficiente para garantir bons resultados de lubricidade.

5. AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional do Petróleo - ANP, ao PRH-25, à FINEP, ao CTBRASIL, ao CTPETRO, ao CNPq (Processo N°010592/2006-2) pelo apoio financeiro, à Empresa Bentonit União Nordeste Ltda – BUN pelo fornecimento da argila bentonítica, à Empresa System Mud Indústria e Comércio Ltda. e Denver-Cotia Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda., pelo fornecimento dos aditivos estudados e ao LABDES pelo uso de suas instalações físicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DARLEY, H.C.H; Gray, G.R. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. Fifth Edition, Gulf Publishing Company, 1988.
- [2] THOMAS, J.E., Fundamentos de Engenharia de Petróleo, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2001.
- [3] AMORIM, L.V. Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluidos Hidroargilosos para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - CCT/UFCEG, Campina Grande - PB, 2003.
- [4] SCHAFFEL, S. B. A Questão Ambiental na Etapa de Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil. Tese (Doutorado) - COPPE, UFRJ. Rio de Janeiro, 2002.
- [5] DZLALOWSKI, A., Mahajan, S., Lubricity and Wear of Shale: Effects of Drilling Fluids and Mechanical Parameters, paper SPE/IADC 25730, 1993.
- [6] GROWCOCK, F.B., Sinor, L.A., Reece, A.R. and Powers, J.R., Innovative Additives Can Increase the Drilling Rates of Water Based Muds, paper SPE 28708, 1990.
- [7] PETROBRAS, Argila Aditivada para Fluido de Perfuração à Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo. Método, N -2605 (1998a).
- [8] BUSSAB, W.O.; Morettin, P.A. Estatística Básica, 4. Ed. São Paulo, 1987.
- [9] PETROBRAS, Argila Aditivada para Fluido de Perfuração à Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo. Especificação, N -2604 (1998b).
- [10] KNOX, D., Jiang, P., Drilling Futher Water-Based Fluids: Selecting Right Lubricant, paper SPE/IADC 92002, 2005.