



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

ESTUDO DE ALGUNS PARÂMETROS REOLÓGICOS DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO À BASE DE ÁGUA E ARGILA ADITIVADOS COM SILICATO DE SÓDIO INDUSTRIAL

Luciana Viana Amorim¹, Josiane Dantas Viana², Kássie Vieira Farias², Kepler Borges França³
Hélio de Lucena Lira⁴, Heber Carlos Ferreira⁴

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Doutorado em Engenharia de Processos
Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970, Campina Grande, Paraíba
luciana@labdes.ufpb.br - Bolsista ANP/PRH-25

² Universidade Federal de Campina Grande, Graduação em Engenharia de Materiais
josianedantas@bol.com.br; kassievieira@bol.com.br Bolsista CNPq/PIBIC

³ Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Eng. Química
kepler@labdes.ufpb.br

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia de Materiais
helio@dema.ufpb.br; heber@dema.ufpb.br

Este trabalho tem como objetivo o estudo de alguns parâmetros reológicos de fluidos de perfuração de poços de petróleo à base de água e argilas bentoníticas provenientes das jazidas de Boa Vista, PB aditivados com silicato de sódio industrial. Foram selecionadas três amostras de argilas bentoníticas naturais polycatiônicas e quatro de argilas bentoníticas sódicas industrializadas. As argilas naturais foram inicialmente tratadas com solução concentrada de Na_2CO_3 . Os fluidos de perfuração foram preparados com 4,86% em massa de argila, segundo as normas da Petrobras, e aditivados com quatro diferentes teores de silicato de sódio industrial. Após cura por 24 horas, foram determinadas as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) em viscosímetro Fann 35A e o volume de filtrado (VF) em filtro prensa da marca Fann. Os resultados mostraram modificações na reologia dos fluidos de perfuração, sendo observado, para os fluidos preparados com argilas industrializadas, queda nos valores de VA e aumento nos valores de VF, enquanto que para os fluidos preparados com as argilas naturais tratadas com Na_2CO_3 , verificou-se queda nos valores de VA e VF e aumento nos valores de VP, bem como mudança do estado floculado-gel para o estado parcialmente floculado.

Palavras-Chave: reologia; fluidos de perfuração; argilas bentoníticas; silicato de sódio industrial

The aim of this work is to study some rheological parameters of water based oil well drilling fluids and bentonite clay from Boa Vista, PB, treated with industrial sodium silicate. It were selected there samples of natural polycationics bentonite clays and four industrial sodium bentonite clays. The natural clays were treated with concentrated Na_2CO_3 solution. The drilling fluids were prepared with concentration of 4.86% w/w, according to Petrobras norms, and additivated with four different concentration of industrial sodium silicate. After 24 hours of cure, it were measured apparent viscosity (AV) and plastic viscosity (PV) by using a Fann 35A viscosimeter and water loss (WL) by using a Fann filter press. The results showed a change in the rheology of the drilling fluids. The drilling fluids prepared with industrialized clays showed a decrease in AV and an increase in WL. For the drilling fluids prepared with natural clays treated with Na_2CO_3 , it was observed a decrease in AV and WL and an increase in PV. Also, it was observed a change in the drilling fluids state from flocculated-gel to a partially flocculated.

Keywords: rheology; drilling fluids; bentonite clays; industrial sodium silicate

1. Introdução

O tratamento de argilas bentoníticas com diversos tipos de aditivos, como Na_2CO_3 , NaOH e $\text{Mg}(\text{OH})_2$, visando a melhoria de suas propriedades reológicas vem sendo estudado no mundo inteiro desde a década de 60 (Szanto et al., 1967; Souza Santos, 1968; Bleifuss, 1973; Lagaly et al., 1981; Alther, 1982; Lagaly, 1989). Em 1999, Yildiz et al. estudaram a influência da adição de NaCl e de hexametáfosfato de sódio no comportamento reológico de dispersões de argilas bentoníticas da Turquia.

Segundo Darley e Gray (1988), os polifosfatos de sódio foram um dos primeiros redutores de viscosidade utilizados em fluidos de perfuração, contudo seu uso tornou-se restrito por promover a desintegração e dispersão dos detritos de perfuração, em especial dos provenientes de formações hidratáveis (*shales*) aumentando assim a quantidade de sólidos no fluido.

Mais recentemente, Amorim et al. (2002), apresentaram os resultados de um estudo realizado em 1994 com argilas bentoníticas de Boa Vista, PB. Nesse trabalho, foram estudadas dispersões de argilas no estado floculado-gel (estado no qual as associações entre partículas são do tipo face-aresta e aresta-aresta, gerando uma estrutura do tipo castelo-de-cartas) e parcialmente floculado (estado intermediário entre os estados floculado e defloculado, com propriedades reológicas que satisfazem as especificações da Petrobras (1998) para uso em fluidos de perfuração à base de água) e aditivadas com silicato de sódio industrial. Os resultados mostraram que a aditivação secundária com o silicato de sódio industrial conduziu as dispersões a mudança do estado floculado-gel para o estado parcialmente defloculado (estado intermediário entre os estados defloculado e floculado, no qual as partículas de argila estão dispersas no meio líquido com poucas interações elétricas e de massa), bem como, que dispersões no estado parcialmente floculado são pouco sensíveis a este tratamento.

Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), os beneficiadores/fornecedores de argilas bentoníticas para uso em fluidos de perfuração estão concentrados no Estado da Paraíba, Brasil, onde estão localizados os maiores depósitos desse mineral (Trindade, 2001). Estas argilas foram descobertas no início dos anos 60 e de acordo com Amorim et al. (2002a) após décadas de exploração, é observada queda na qualidade tanto das matérias primas quanto dos produtos industrializados, sendo necessário o desenvolvimento de estudos específicos para melhorar a reologia das argilas e, desta forma, potencializar o uso das argilas de qualidade inferior.

Este trabalho tem como objetivo o estudo de alguns parâmetros reológicos de fluidos de perfuração de poços de petróleo à base de água e argilas bentoníticas provenientes das jazidas de Boa Vista, PB aditivadas com silicato de sódio industrial.

2. Materiais

2.1. Argilas Bentoníticas

Foram selecionadas três amostras de argilas bentoníticas, naturalmente policatiônicas, denominadas de Bofe, Chocolate e Verde-lodo e quatro amostras de argilas bentoníticas sódicas industrializadas comercialmente conhecidas por Dolomil, Fungel, Brasgel e Brasgel PA. As amostras são provenientes das jazidas do Município de Boa Vista, PB e compostas mineralogicamente por argilominerais do grupo da esmectita e com presença do mineral quartzo (Amorim, 2001; Amorim et al. 2002b). A amostra Fungel apresenta ainda illita e caulinita (Amorim, 2001; Amorim et al. 2002b).

2.2. Aditivos

Foram utilizados o carbonato de sódio (Na_2CO_3), denominado de aditivo primário, em solução concentrada (0,2g/ml) para a transformação das argilas naturalmente policatiônicas em sódicas e o silicato de sódio industrial ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), denominado de aditivo secundário, de densidade $1,65 \text{ g/cm}^3$, produzido pela PQ Pernambuco Química S.A. Esse aditivo é de uso corrente na indústria cerâmica clássica como ligante e defloculante.

3. Metodologia

3.1. Transformação das Argilas Bentoníticas Naturais em Sódicas

As argilas naturais foram aditivadas com solução concentrada de Na_2CO_3 nas seguintes proporções: 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100 \text{ g}$ de argila seca para a argila Bofe; 75 meq e 200 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100 \text{ g}$ de argila seca para a argila Chocolate e 100 meq e 200 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100 \text{ g}$ de argila seca para a argila Verde-lodo. Após 05 dias de cura em câmara úmida com 100 % de umidade relativa, foram preparados os fluidos de perfuração de acordo com o item 3.2.

3.2. Preparação dos Fluidos de Perfuração

Os fluidos de perfuração foram preparados com concentração de 4,86 % em massa de argila (24,3 g de argila em 500ml de água deionizada), de acordo com a norma N-2605 (Petrobras, 1998a).

3.3. Tratamento dos Fluidos de Perfuração com Silicato de Sódio Industrial ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)

Após preparação, os fluidos de perfuração foram tratados com silicato de sódio industrial, nas proporções de 0,05 ml/24,3 g de argila seca, 0,10 ml/24,3 g de argila seca, 0,15 ml/24,3 g de argila seca e 0,20 ml/24,3 g de argila seca, agitados por 5 min e curados por 24 h em câmara úmida com 100 % de umidade relativa.

3.4. Estudo Reológico

Após cura, foram determinadas as viscosidade aparente (VA) e plástica (VP), em viscosímetro Fann 35A, o volume de filtrado (VF), em filtro prensa Fann, e o pH, de acordo com a norma N-2605 (Petrobras, 1998a).

4. Resultados e Discussão

A Tabela 1, apresenta as propriedades reológicas dos fluidos de perfuração preparados com as argilas naturais após aditivação primária com solução concentrada de Na₂CO₃. Através dos resultados, observou-se que os fluidos preparados com as argilas Chocolate, tratada com 200 meq de Na₂CO₃/100 g de argila seca, e Verde-lodo, tratada com 100 e 200 meq de Na₂CO₃/100 g de argila seca, apresentaram estado floculado-gel, caracterizado por elevados valores de VA e baixos valores de VP.

Comparando os dados contidos na Tabela 1 com as especificações da Petrobras (1998), observou-se que nenhum dos fluidos de perfuração estudados estão de acordo com essa normatização.

Tabela 1. Propriedades reológicas dos fluidos de perfuração preparados com as argilas naturais após aditivação primária

Amostras	Teor de Na ₂ CO ₃ (meq/100 g de argila seca)	Propriedades Reológicas			pH
		VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
Bofe	150	12,5	4,8	17,7	10,0
Chocolate	75	18,5	3,8	16,0	9,9
	200	23,8	0,5	15,0	10,0
Verde-lodo	100	16,9	1,5	22,0	10,2
	200	16,5	1,5	25,5	10,2
Especificação N-2604 (Petrobras, 1998)		≥ 15,0	≥ 4,0	≤ 16,0	≤ 10,0

A Tabela 2, apresenta as propriedades reológicas dos fluidos de perfuração preparados com as argilas sódicas industrializadas. Através dos resultados, observou-se que dentre as quatro amostras estudadas apenas a Brasgel PA apresentou propriedades reológicas de acordo com as especificações da Petrobras (1998), para uso em fluidos de perfuração à base de água.

Tabela 2. Propriedades reológicas dos fluidos de perfuração preparados com as argilas industrializadas

Amostras	Propriedades Reológicas			pH	
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)		
Dolomil	11,8	4,3	20,5	9,9	
Fungel	6,6	4,3	18,3	9,4	
Brasgel	8,3	5,0	20,5	9,8	
Brasgel PA	16,1	4,0	16,3	9,9	
Especificação N-2604 (Petrobras, 1998)		≥ 15,0	≥ 4,0	≤ 16,0	≤ 10,0

A Figura 1, apresenta as propriedades reológicas dos fluidos de perfuração preparados com as argilas naturais após aditivação secundária com silicato de sódio industrial. Observou-se que a adição do silicato de sódio provocou alterações nas propriedades reológicas dos fluidos, com queda nos valores de VA e VF e aumento nos valores de VP. Ao contrário do observado em estudos anteriores (Amorim et al., 2002), os fluidos no estado floculado-gel (fluidos preparados com as argilas Chocolate e Verde-lodo tratadas com 200 meq de Na₂CO₃/100 g de argila seca) não apresentaram maior sensibilidade ao tratamento.

Comparando os dados obtidos para os fluidos (Figura 1) com as especificações da Petrobras (1998), observou-se que os fluidos preparados com a argila Chocolate tratada com 75 meq de Na₂CO₃/100 g de argila seca e aditivados com 0,10 ml de silicato de sódio, apresentaram propriedades reológicas de acordo com essa normatização. Também de acordo com as especificações supracitadas estão os fluidos preparados com a argila Chocolate tratada com 200 meq de Na₂CO₃/100 g de argila seca após aditivação com o silicato de sódio, contudo, os altos valores de VA e VP, conduzem a elevados valores de limite de escoamento, o que é indesejável; fluidos com essa característica poderá causar problemas no bombeamento quando da retomada de sua circulação.

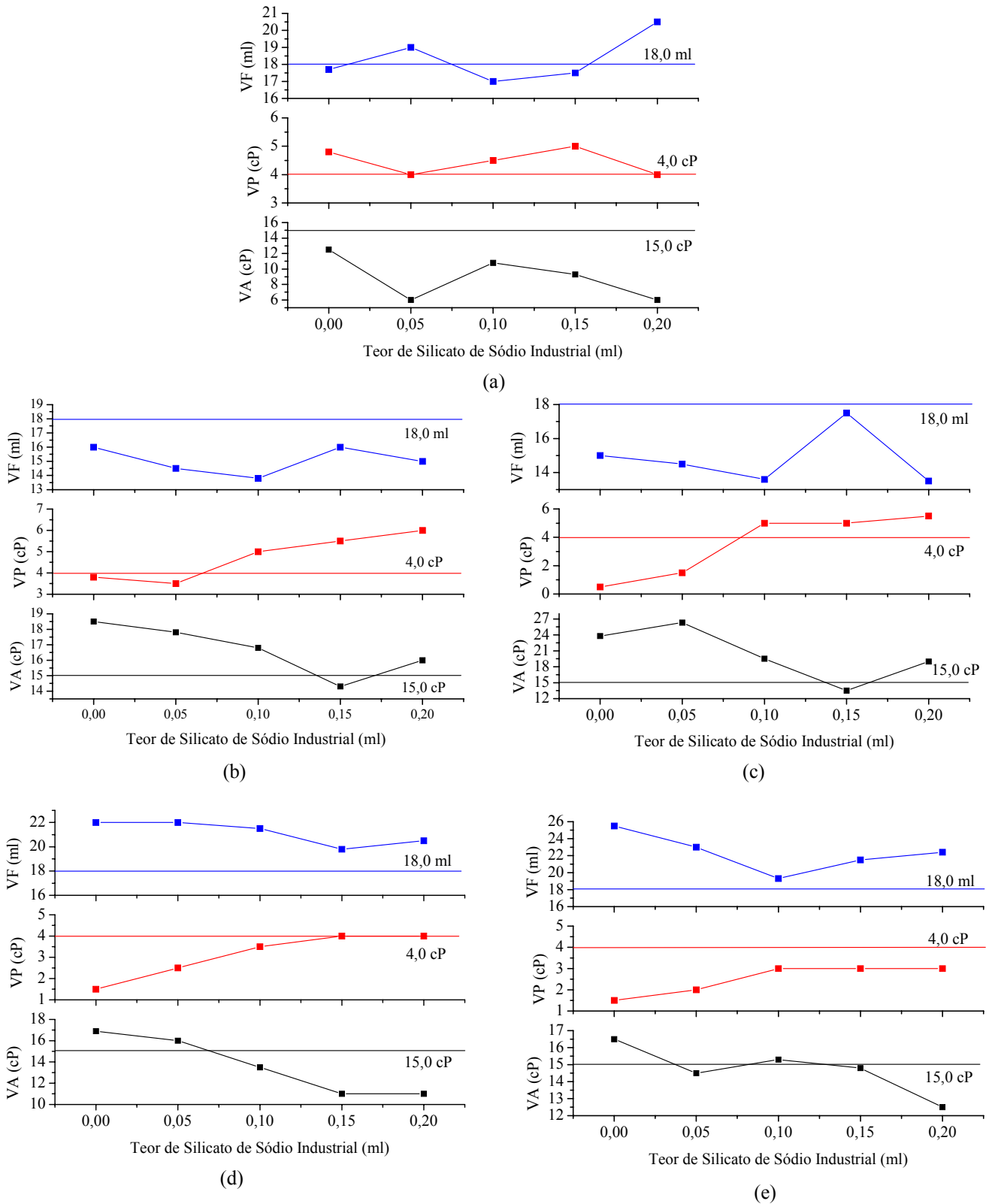


Figura 1. Propriedades reológicas dos fluidos aditivados com silicato de sódio industrial. (a) Fluidos preparados com a argila Bofe tratada com 150 meq de Na_2CO_3 /100 g de argila seca. (b) e (c) Fluidos preparados com a argila Chocolate tratada com 75 e 200 meq de Na_2CO_3 /100 g de argila seca, respectivamente. (d) e (e) Fluidos preparados com a argila Verde-lodo tratada com 100 e 200 meq de Na_2CO_3 /100 g de argila seca, respectivamente

As mudanças observadas na reologia dos fluidos de perfuração com a adição do silicato de sódio industrial podem ser justificadas pela neutralização ou redução da intensidade das interações elétricas face-aresta entre as partículas de argila. Essa neutralização ou redução se dá pela adsorção seletiva do silicato nas arestas das partículas de argila, conduzindo o sistema a um estado de maior defloculação. Esse mecanismo, denominado por alguns autores de quimisorção (Darley e Gray, 1998) ocorre quando da adição de sais de sódio contendo certos complexos aniônicos,

especialmente polifosfatos e lignosulfonatos, em fluidos de perfuração à base de água visando a prevenção ou reversão do estado de floculação.

Segundo Darley e Gray (1998), embora a quimisorção pareça ser o mecanismo envolvido quando se utiliza pequenas quantidades de defloculantes, outro mecanismo, responsável pela diminuição do limite de escoamento dos fluidos de perfuração quando do uso de grandes quantidades de aditivo, pode estar presente. Nesse caso, provavelmente ocorre a troca do ânion monovalente presente na aresta do cristal pelo ânion polivalente do defloculante.

Desta forma, é possível que nos fluidos tratados com as concentrações de 0,15 ml e 0,20 ml de silicato de sódio industrial, nas quais foram observados os menores valores de VA, também esteja presente uma troca iônica nas faces do cristal, envolvendo também os cátions trocáveis; ocorre a liberação do íon Na^+ do aditivo que passa a ocupar as posições dos policátions, como por exemplo, Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Para os fluidos preparados com as argilas industrializadas, o comportamento observado foi diferente do apresentado pelos fluidos preparados com as argilas naturais, com queda nos valores de VA e VP e aumento bastante pronunciado nos valores de VF, como mostra a Figura 2. A justificativa para esse comportamento pode estar baseada nos seguintes fatores: i) as argilas industrializadas são obtidas a partir da mistura (*blending*) de diversas tipos de argilas, sendo atualmente empregadas argilas de qualidade inferior, a exemplo da Bofe, segundo informações dos produtores de argila (Dantas, 2002); ii) nas indústrias de maior porte, as condições de cura das argilas industrializadas após adição da solução de carbonato de sódio é realizada sob temperaturas da ordem de 70°C , o que favorece a troca de cátions, tendo ao final um produto de melhor qualidade e iii) provavelmente, durante o processo industrial são utilizados aditivos secundários para melhorar a reologia das argilas.

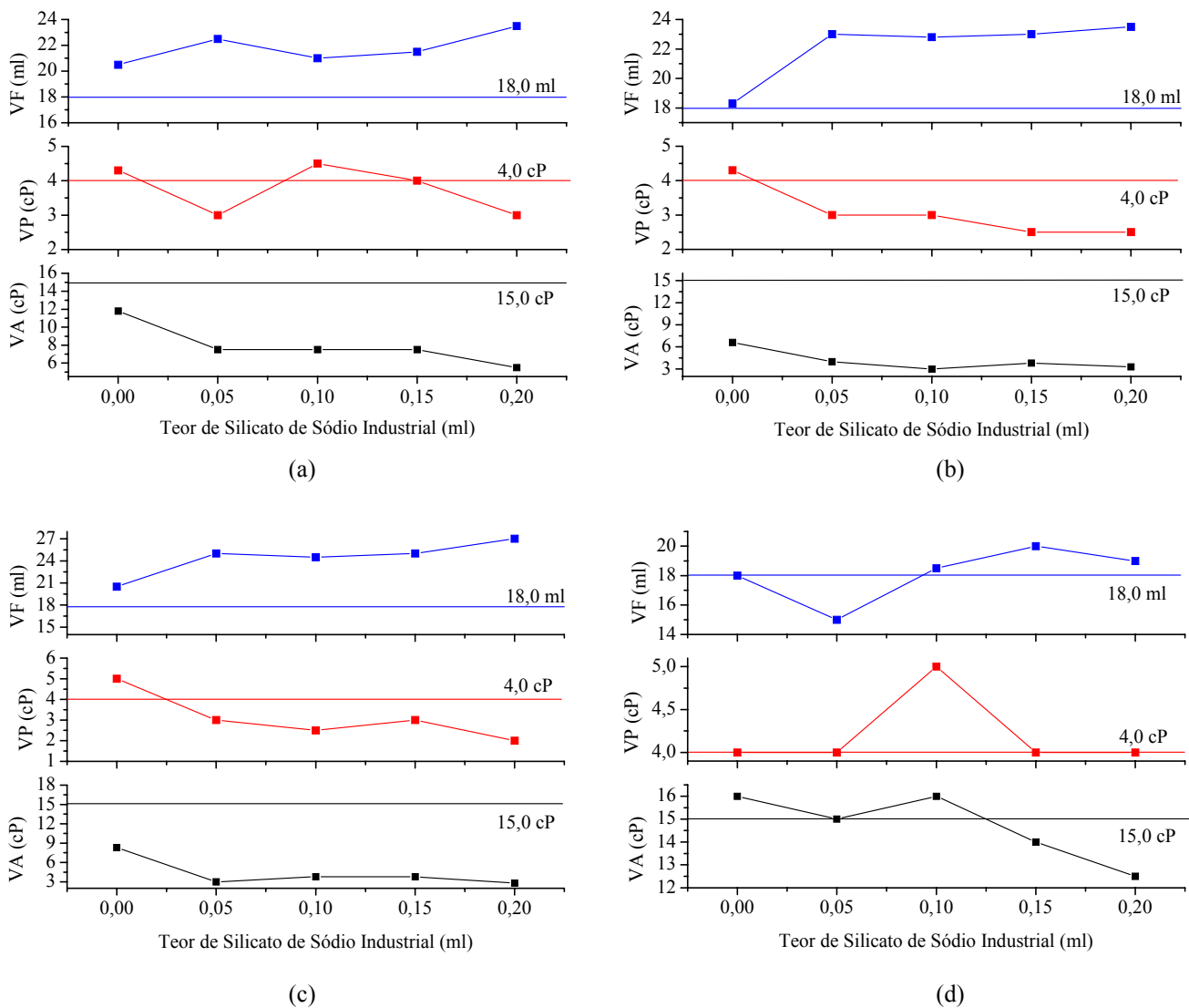


Figura 2. Propriedades reológicas dos fluidos aditivados com silicato de sódio industrial e preparados com as argilas (a) Dolomil, (b) Fungel, (c) Brasgel e (d) Brasgel PA

É importante ressaltar que o silicato de sódio industrial, por se tratar de um composto inorgânico, pode ser adicionado às argilas bentoníticas para modificação de sua reologia durante o processo industrial, não havendo o comprometimento quanto à sua degradação. Além disso, é um aditivo de baixo custo.

Com base nos recentes estudos realizados com as argilas bentoníticas pelo grupo de pesquisas da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, novos trabalhos estão sendo iniciados, visando a otimização do uso das jazidas de Boa Vista. Com esse trabalho, pretende-se além de aumentar em muito a vida útil das jazidas, obter, através de misturas de argilas contendo as de qualidade inferior, fluidos de perfuração à base de água com propriedades reológicas que atendam as especificações da Petrobras (1998).

5. Conclusões

Com o objetivo de estudar a influência do silicato de sódio industrial nas propriedades reológicas de fluidos de perfuração de poços de petróleo à base de água e argilas bentoníticas provenientes do Município de Boa Vista, PB, concluiu-se que:

- i) a adição do silicato de sódio industrial provocou alterações nas propriedades reológicas dos fluidos preparados com as argilas naturais, com queda nos valores de VA e VF e aumento nos valores de VP;
- ii) os fluidos no estado floculado-gel apresentaram menor sensibilidade ao tratamento com o silicato de sódio, ao contrário do observado em estudos realizados na década de 90;
- iii) dentre os fluidos estudados, os preparados com a argila Chocolate tratada com 75 meq de Na_2CO_3 e aditivados com 0,10 ml de silicato de sódio apresentaram propriedades reológicas de acordo com as especificações da Petrobras;
- iv) a adição do silicato de sódio industrial aos fluidos preparados com as argilas industrializadas provocou queda em VA e VP e aumento em VF, com valores que não satisfazem as especificações da Petrobras, muito provavelmente em virtude das condições aplicadas durante o processamento industrial das argilas.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Agência Nacional do Petróleo - ANP, ao CNPq/CTPETRO, ao MCT, à FINEP, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

7. Referências

- ALTHER, G. R. The role of bentonite in soil sealing applications. *Bull. Assoc. Eng. Geol.*, v. 19, n. 4, p. 401-409, 1982.
- AMORIM, L. V. Otimização da Reologia e da Durabilidade de Fluidos de Perfuração à Base de Água e Argila, Exame de Qualificação, Doutorado em Engenharia de Processos, UFPB, Campina Grande, PB, 2001. Orientadores: Dr. Kepler Borges França, Dr. Hélio de Lucena Lira e Dr. Heber Carlos Ferreira.
- AMORIM, L. V., GOMES, C. M., FERREIRA, H. S., FERREIRA, H. C. Influência de aditivações secundárias inorgânicas na reologia de dispersões de esmectitas sódicas. In: *XV Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia de Materiais*, Natal, Brasil: nov., 2002.
- AMORIM, L. V., GOMES, C. M., LIRA, H. L., FERREIRA, H. C. Bentonites from Boa Vista, Brazil. Physical, mineralogical and rheological properties. *Appl. Clay Sci.*, 2002a. Artigo submetido.
- AMORIM, L. V., GOMES, C. M., KIYOHARA, P. K., LIRA, H. L., FERREIRA, H. C. Microstructural characterization of bentonite clays from Paraíba, Brazil. *Acta Microscopia.*, 2002b.
- BLEIFUSS, R. L. Activation of non-swelling bentonite. *Clay Miner.* v. 10, p. 41-45, 1973.
- DANTAS, F. A. Embramil. Comunicação verbal, junho 2002.
- DARLEY, H. C. H., GRAY, G. R. *Composition and properties of drilling and completion fluids*, Gulf Publishing Company, 1988.
- LAGALY, G. Principles of flow of kaolin and bentonite dispersion. *Appl. Clay Sci.*, v. 4, p. 105-123, 1989.
- LAGALY, G., MULLER-VONMOOS, M., KAHR, G., FAHN, R. Vorgange bei der sodaaktivierung von bentoniten am beispiel eines bentonits von Neuseeland. *Keram. Z.*, v. 33, p. 278-283, 1981.
- PETROBRAS, Ensaio de viscosificante para fluido de perfuração baase de água na exploração e produção de petróleo. Método, N-2605, Rio de Janeiro, Brasil, 1998.
- PETROBRAS, Viscosificante para fluido de perfuração baase de água na exploração e produção de petróleo. Método, N-2604, Rio de Janeiro, Brasil, 1998a.
- SOUZA SANTOS, P. Estudo Tecnológico de Argilas Montmoriloníticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba. Tese de Cátedra, Universidade de São Paulo, Brasil, 1968.
- SZANTO, F., GILDE-FARKAS, M., VARKONYI, B., BALAZS, J. Binding of Na_2CO_3 by bentonite fractions. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, v. 11, n. 4, p. 409-418, 1991.
- TRINDADE, M.H.A. Bentonita. www.dnpm.org.br, 20 de setembro, 2001.
- YILDIZ, N., SARAKAYA, Y., ÇALIMLI, A. The effect of the electrolyte concentration and pH on the rheological properties of the original and the Na_2CO_3 -activated Kutahya bentonite. *Appl. Clay Sci.*, v. 14, p. 319-327, 1999.