



Reologia de argilas bentoníticas do estado da Paraíba aditivadas com MgO – Resultados preliminares

N. F. C. Nascimento*, H. C. Ferreira, G. A. Neves

Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
*Rua Arpígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande – Paraíba

(Recebido em 12/08/2015; revisado em 03/09/2015; aceito em 22/10/2015)
(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

Argilas esmectíticas, bentoníticas ou não, são geralmente polycatiônicas e necessitam de adituações primárias e secundárias para que atendam às especificações para diversos usos industriais. Essas adituações geralmente são efetuadas através do Na_2CO_3 . Recentemente diversos autores têm obtido bons resultados através de adituações secundárias com MgO. Este trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos da aditivação individual e conjunta por Na_2CO_3 e MgO nas propriedades reológicas (VA, VP) e pH de argilas bentoníticas polycatiônicas do estado da Paraíba, para utilização como viscosificante de fluidos de perfuração base água e também como agente espessante de tintas de base aquosa. Foram utilizadas argilas bentoníticas polycatiônicas do estado da Paraíba das ocorrências de Boa Vista e Cubati, denominadas de Chocolate Boa Vista (CH BV) e Chocolate Campos Novos (CH CN), respectivamente. A caracterização física, química e mineralógica das amostras foi realizada pelos seguintes métodos: análise granulométrica (AG), fluorescência de raios X (EDX), difração de raios X (DRX), capacidade de troca de cátions (CTC), área específica (AE), análise térmica diferencial (ATD) e análise termogravimétrica (TG). Essas argilas foram tratadas com Na_2CO_3 e com MgO isoladamente e na forma combinada. Os resultados obtidos foram comparados com as especificações da Petrobras, API e ISO e as especificações para uso em tintas base água que também tem por base as especificações da API e ISO. Conclui-se que as bentonitas CH BV e CH CN atendem às especificações da Petrobras e também da API, ISO e podem ser utilizadas como espessantes de tintas de base aquosa.

Palavras-chave: Bentonitas; Na_2CO_3 ; fluidos de perfuração; tintas; MgO.

Abstract:

Smectite clays, bentonite or not, are generally polycationic and require primary and secondary activations to meet the specifications for various industrial uses. These activations are usually made through Na_2CO_3 . Recently several authors have obtained good results through secondary activations with MgO. This study aims to evaluate the effects of individual and joint additive for Na_2CO_3 and MgO in the rheological properties (VA, VP) and pH polycationic bentonite clays of the state of Paraíba, for use as viscosifier of water based drilling fluids and also as agent thickening of water-based inks. Polycationic bentonite clays have been used in the state of Paraíba occurrences of Boa Vista and Cubati, called Chocolate Boa Vista (CH BV) and Chocolate Campos Novos (CH CN) respectively. The physical, chemical and mineralogical samples was performed by the following methods: particle size analysis (AG), X-ray fluorescence (EDX), X-ray diffraction (XRD), cation exchange capacity (CEC), specific area (AE), differential thermal analysis (DTA) and thermal gravimetric analysis (TG). These clays were treated with Na_2CO_3 and MgO alone and in combination. The results were compared with the specifications of Petrobras, API and ISO and specifications for use in paints base water that is also based on the specifications of the API and ISO. It concludes that the bentonite CH BV and CH CN meet Petrobras specifications and also the API, ISO and can be used as thickeners for water-based paints.

Keywords: Bentonite; Na_2CO_3 ; drilling fluids; inks; MgO.

1. Introdução

As bentonitas são argilas resultantes da decomposição de cinzas vulcânicas em ambientes alcalinos com circulação restrita de água, ricas em sódio, tendo como argilomineral predominante a montmorilonita [1]. As argilas bentoníticas contem também outros argilominerais como caulinita, ilita,

clorita bem como acessórios a exemplo do quartzo e feldspato [2]. É de grande importância analisar as propriedades das bentonitas através da determinação da sua composição mineralógica e parâmetros físico-químicos que são indicativos do seu desempenho nas mais variadas aplicações industriais [3].

*Email: neyberfadiocn@gmail.com (N. F. C. Nascimento)

Segundo van Olphen [4], as dispersões de argilas bentoníticas apresentam um estado intermediário entre floculadas e defloculadas, sendo que as mais defloculadas apresentam o fenômeno de tixotropia enquanto que as mais floculadas apresentam o fenômeno de reopexia. O comportamento tixotrópico resulta do tratamento efetuado com agentes defloculantes, tais como Na_2CO_3 , NaOH , etc., enquanto que o comportamento reopético resulta de aditificações com agentes floculantes tais como $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Comportamentos intermediários entre os dois estágios acima mencionados poderão ser obtidos através da aditivação conjunta de agentes floculantes e defloculantes em proporção adequada de forma a atingir uma reologia especificada para um determinado uso industrial. Aditificações inorgânicas se sobressaem ao serem comparadas às orgânicas quanto à relação custo-benefício e, também não degradam, muito embora as ativações orgânicas sejam mais eficientes como viscosificantes de fluidos de perfuração e agentes espessantes para tintas base água [5].

Assim sendo, o tratamento de argilas esmectíticas por sódio aumenta o número de partículas finas hexagonais lamelares, enquanto íons Ca^{2+} formam estruturas em bandas e íons Mg^{2+} estruturas em rede ou tridimensionais [1,6]. As dispersões com grau de floculação intermediário são tipicamente usadas em fluidos de perfuração, enquanto que as dispersões floculadas, denominadas de floculadas-gel, formadas por um macrofloculo tridimensional (castelo de cartas) são usadas como agentes espessantes de tintas. Segundo Karaguzel et al. [7], as aditificações secundárias de bentonitas sódicas com MgO sofrem influência marcante do pH resultando na formação de Mg^{2+} , MgOH^+ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$. pH's acima de 9,5 transformam o Mg^{2+} em MgOH^+ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$, dependendo da concentração de MgO na dispersão. A formação de MgOH^+ resulta em altas viscosidades pela estrutura do gel formado. Quando o $\text{Mg}(\text{OH})_2$ é formado em pH's mais altos é precipitado juntamente com as partículas do argilomineral havendo heterocoagulação, destruindo a estrutura de castelo de cartas existente, resultando na separação de fases do sistema e com redução da viscosidade aparente (VA).

Karaguzel et al. [7] produziram viscosificantes para fluidos de perfuração e espessantes para tintas de base aquosa por meio do tratamento conjunto com Na_2CO_3 e MgO a partir de bentonitas turcas policatiônicas, nas proporções de 1,5% a 3% de Na_2CO_3 e 0,5% de MgO. Karakas et al. [6] produziram espessantes a base de bentonita para tintas de base aquosa, sendo a bentonita sódica aditivada com óxido de magnésio (MgO) para obtenção da estrutura floculada-gel. As propriedades adequadas foram conseguidas com 1,5% de MgO, com significativo aumento da viscosidade das dispersões.

Conforme Lebedenko e Plée [8], as indústrias européias ativam bentonitas policatiônicas de qualidade inferior com carbonato de sódio (Na_2CO_3), há muitas décadas, para otimização de propriedades reológicas de dispersões com 2 a 4% em massa de argila. Aqui no Brasil, sistemática similar é utilizada.

Em resumo, os fenômenos que resultam da aditivação de bentonitas dependem comumente da troca e/ou adsorção de íons bem como das interações entre partículas [7].

Zandonadi [9] avaliou o comportamento reológico de bentonitas nacionais como agente tixotrópico de fluidos de perfuração base água. Foram propostos 18 diferentes ensaios de troca por sódio das bentonitas policatiônicas, sendo escolhido o processo 18 como o mais eficiente. Posteriormente foram pesquisadas sistemáticas de troca de cátions incluindo tratamentos térmicos de forma a melhorar os coeficientes de difusão diminuindo o tempo de cura e melhorando sua eficiência [10,11].

A normalização para controle dos fluidos de perfuração é feita pela Petrobras [12], API [13] e ISO [14]. A norma da Petrobras [12] EP-1EP-00011-A recomenda para uma dispersão de 4,86% uma VA de 15cP, viscosidade plástica (VP) de 4cP e volume de filtrado (VF) de 18mL. As normas da API [13] e da ISO [14] são 13B-1 e 13500, respectivamente e recomendam para uma dispersão a 6% uma VA de 15 cP em um viscosímetro Fann 35, VF de 15 mL e índice de inchamento de 22 mL. A normalização de esmectitas aditivadas para uso como agentes espessantes de tintas base água são as mesmas da API [13] e ISO [14] destinadas a fluidos de perfuração base água de poços de petróleo.

Este trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos da aditivação individual e conjunta por Na_2CO_3 e MgO nas propriedades reológicas (VA, VP) e pH de argilas bentoníticas policatiônicas do estado da Paraíba, para utilização como viscosificante de fluidos de perfuração e também como agente espessante de tintas de base aquosa.

2. Materiais e Métodos

Foram utilizadas argilas bentoníticas paraibanas das ocorrências de Boa Vista e Cubati, denominadas de Chocolate Boa Vista (CH BV) e Chocolate Campos Novos (CH CN), respectivamente. A bentonita CH BV estava armazenada no Laboratório de Tecnologia de Materiais (LTM), enquanto que a argila CH CN foi fornecida por Homero Victorino Filho, da Bentonit União Nordeste (BUN), Campina Grande (PB). As amostras foram beneficiadas em moinho de bolas e posteriormente passadas em peneira ABNT n° 200 (0,074 mm). Os aditivos usados para tratamento das bentonitas foram o Na_2CO_3 sólido da Jand Química. O MgO de elevada área específica foi obtido a partir do $\text{Mg}(\text{OH})_2$ da Labsynth, sendo calcinado à 1000°C por 2 h.

A caracterização física, química e mineralógica das amostras foi realizada pelos seguintes métodos: análise granulométrica por difração de laser (AG), equipamento CILAS modelo 1064, em modo úmido; análise química por fluorescência de raios X (EDX), equipamento 720 da Shimadzu; difração de raios X (DRX), equipamento D-6000 da Shimadzu, com radiação $K\alpha$ do Cu (40kV/30mA) e velocidade do goniômetro de 2°/min. e passo de 0,02°, com faixa de 2° a 30°. As medidas da capacidade de troca de cátions (CTC) e área específica (AE) das amostras esmectíticas foram realizadas por meio do método de

adsorção de azul de metileno, seguindo procedimento proposto por Ferreira et. al. [15]. Por último foram efetuadas análises termogravimétricas (TG) e análises térmicas diferenciais (ATD) a partir de um sistema de Análises Térmicas modelo RB-3000 da BP Engenharia Indústria e Comércio, com razão de aquecimento de 12,5° C/min., temperatura máxima para ambos de 1000° C e o padrão utilizado na ATD foi o óxido de alumínio (Al₂O₃) calcinado.

A VA e VP foram medidas por meio de viscosímetro Fann 35 conforme normas Petrobras [12] EP-1EP-00011-A, API 13B-1 e ISO 13500 sendo modificada a concentração das dispersões para 3%, 4%, 5% e 6% de argila. Neste caso, a concentração de argila prevista pela Petrobras, foi modificada de 4,86% para 5%. O pH foi quantificado por meio de potenciômetro Gehaka PG 1800.

As bentonitas foram aditivadas de forma individual e combinada conforme metodologia de Karaguzel et al. [7]. As dispersões foram homogêneas por agitador Marconi 500 W com aproximadamente 15000 rpm. Os percentuais dos aditivos Na₂CO₃ e MgO foram de 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 3,0% e 4,0% quando utilizados de forma individual e de 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% de Na₂CO₃ com 0,5%, 1,0%, 1,5% de MgO de modo que todas as combinações fossem analisadas. As composições foram representadas pela expressão XA-YMgO-ZNa₂CO₃, em que X, Y, e Z são os teores de argila (A), MgO e Na₂CO₃, respectivamente.

3. Resultados e Discussão

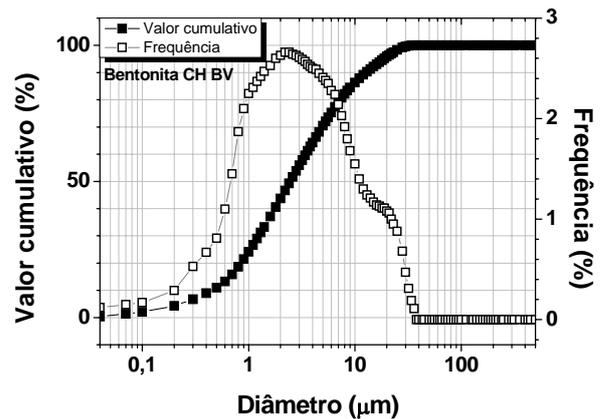
A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas simples e acumuladas das argilas CH BV e CH CN. As amostras têm distribuições granulométricas monomodais com tamanho médio de partículas de 4,77µm para a bentonita CH BV e de 6,78µm para a CH CN. Observa-se a concentração de partículas na faixa de 2µm de 43,76% para a bentonita CH BV e 26,44% para a CH CN.

Na Tabela 1 estão contidos os valores da composição química (EDX) das amostras estudadas, na forma de óxidos. Verifica-se que as amostras apresentaram elevados teores de SiO₂ (>40%) e Al₂O₃ (>15%), associados às camadas tetraédrica e octaédrica dos argilominerais e acessórios. Os teores de ferro resultam de sua presença na camada octaédrica das esmectitas e acessórios. A bentonita CH CN apresenta elevado valor de CaO, típico do mineral acessório calcita. O valor da perda ao fogo está relacionado com as perdas das águas livre e adsorvida, desidroxilação da camada octaédrica dos argilominerais e acessórios.

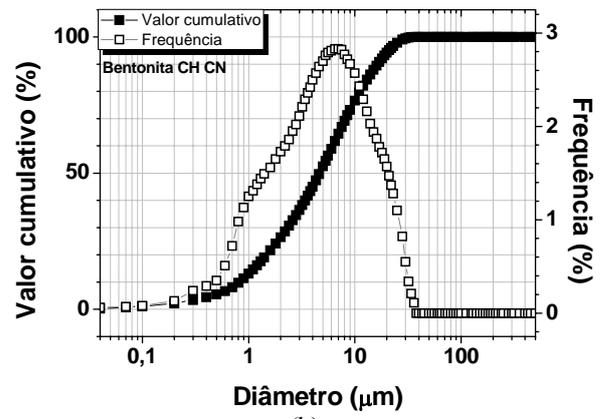
Tabela 1. Composição química das argilas bentoníticas CH BV e CH CN

Óxidos	CH BV (%)	CH CN (%)
SiO ₂	52,6	41,6
Al ₂ O ₃	20,3	16,4
Fe ₂ O ₃	7,2	8,6
MgO	3,1	3,5
CaO	1,7	8,4
Outros	1,7	2,4
P. F.	13,5	19,0

A partir das análises dos difratogramas de raios X, Figura 2, constata-se que todas as bentonitas têm argilominerais esmectíticos (distância interplanar de 15-16 Å), semelhantes aos resultados obtidos com estudos com argilas esmectíticas da região de Boa Vista e vizinhanças [16], de Cubati [17] e também de Sossego [18], Paraíba. O quartzo, feldspato e a calcita são os acessórios presentes na argila Campos Novos, caracterizando elevado teor de componentes não plásticos nesta bentonita.



(a)



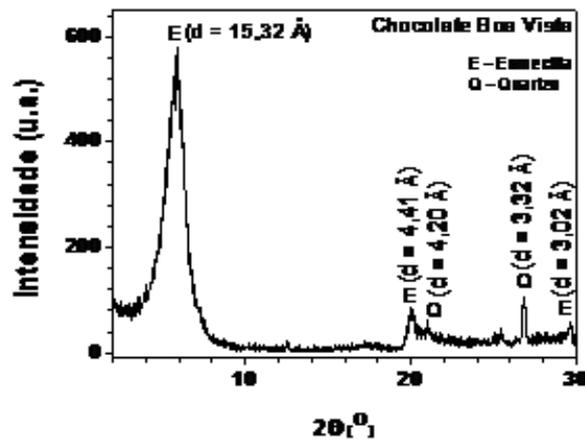
(b)

Figura 1. Curvas granulométricas das bentonitas a) CH BV e b) CH CN

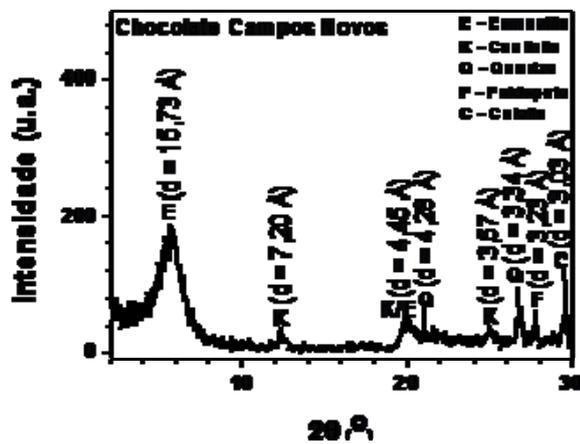
A Tabela 2 apresenta os valores de CTC e área específica (AE) das bentonitas estudadas. Verifica-se que as amostras apresentaram valores de CTC bem distintos, sendo o valor da argila bentonítica CH BV de 96meq/100g, que está de acordo com os valores da faixa do grupo das esmectitas que é de 80 a 150meq/100g [1]. Este resultado também é semelhante aos valores obtidos nas amostras de Boa Vista, PB [19]. A bentonita CH CN apresentou CTC de 60meq/100g, que está de acordo com os valores da faixa do grupo das esmectitas que é de 40 a 150meq/100g [20]. A presença do argilomineral caulinitico e acessórios justifica o valor reduzido de área específica da argila Chocolate Campos Novos. Este valor de

AE pode ser correlacionado com sua menor reatividade quando da aditivação.

mineral calcita. Ambas as curvas de ATD apresentaram mudanças da linha de base nas temperaturas de 880°C e 920°C, aproximadamente, associadas a alteração da capacidade calorífica do material devido a elevada formação de fase vítrea. Ambos os termogramas apresentaram perdas de massa iniciais correspondentes à perda das águas livre e adsorvida e também da eliminação das hidroxilas. As perdas de massa totais para as argilas CH BV e CH CN foram de aproximadamente 23%.



(a)



(b)

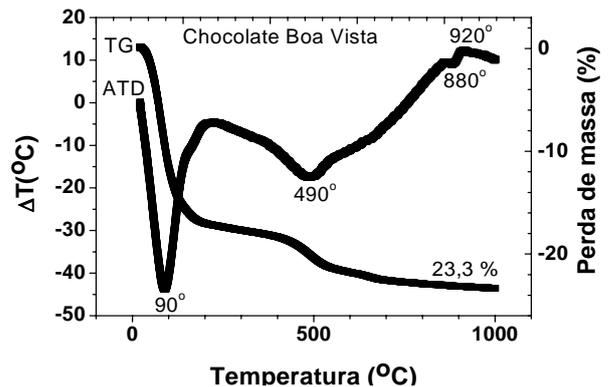
Figura 2. Difratogramas das bentonitas a) CH BV e b) CH CN

Tabela 2. CTC e área específica das argilas bentoníticas CH BV e CH CN

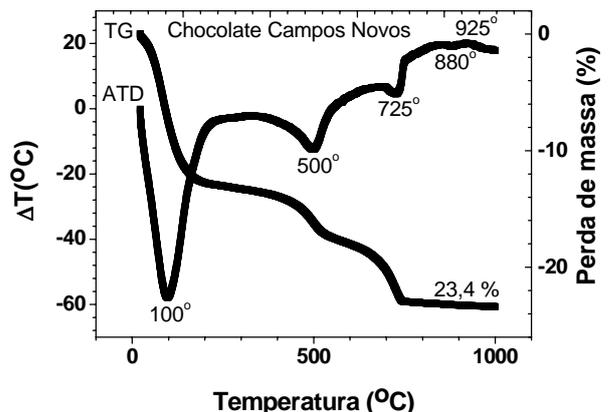
Bentonitas	CTC (meq/100g)	Área específica (m ² /g)
CH BV	96	749
CH CN	60	468

As curvas de análise térmica diferencial (ATD) e termogravimétrica (TG) das amostras estão na Figura 3.

Na bentonita CH BV, Figura 3 a) foram observadas as seguintes transformações: grande pico endotérmico em 90°C característico da perda de águas livre e adsorvida e pico endotérmico em 490°C típico da desidroxilação da folha octaédrica das esmectitas. Na Figura 3 b), bentonita CH CN, foram verificadas as seguintes transformações: grande pico endotérmico em 100°C característico da perda de águas livre e adsorvida; pico endotérmico em 500°C típico da desidroxilação da folha octaédrica das esmectitas e caulinitas e pico endotérmico em 725°C relativo à decomposição do



(a)



(b)

Figura 3. ATD e TG das argilas bentoníticas a) CH BV e b) CH CN

Os resultados de VA e VP da bentonita CH BV aditivada com MgO, Na₂CO₃ e de suas misturas estão apresentados na Figura 4. As dispersões bentoníticas aditivadas apenas com MgO não atendem às especificações requeridas pela Petrobras [12], API [13] e ISO [14]. A composição 3A-0,0MgO-2,0Na₂CO₃ apresenta valores de viscosidade de acordo com as especificações Petrobras [12], API [13] e ISO [14], enquanto que a composição 3A-0,0MgO-4,0Na₂CO₃, dispersões com 5% de argila (exceto 5A-0,0MgO-0,5Na₂CO₃) e com 6% de argila também aditivadas apenas com Na₂CO₃ se enquadram nas normas API [13] e ISO [14]. Sendo assim, todas estas composições podem ser utilizadas como fluidos de perfuração

base água assim como agentes espessantes de tintas de base aquosa. Verifica-se nas dispersões aditivadas com Na_2CO_3 que quanto maior o teor do aditivo e percentagem de argila, maior a VA.

Conforme resultados da Figura 4 e) e f) – dispersões aditivadas com ambos aditivos, as composições 3A-0,5MgO-1,5 Na_2CO_3 e 4A-0,5MgO-1,5 Na_2CO_3 apresentam valores de viscosidade de acordo com as especificações Petrobras [12], API [13] e ISO [14], enquanto que as dispersões bentoníticas

3A-1,0MgO-1,0 Na_2CO_3 , 3A-1,0MgO-1,5 Na_2CO_3 , 3A-1,5MgO-1,0 Na_2CO_3 , 3A-1,5MgO-1,5 Na_2CO_3 , todas de concentração de 4% (exceto 4A-0,5MgO-1,5 Na_2CO_3), 5% e 6% de argila atendem apenas às características especificadas pela API [13] e ISO [14] de bentonitas como viscosificantes minerais de fluidos de perfuração base água. Logo, todas estas composições podem também ser utilizadas como espessantes de tintas de base aquosa.

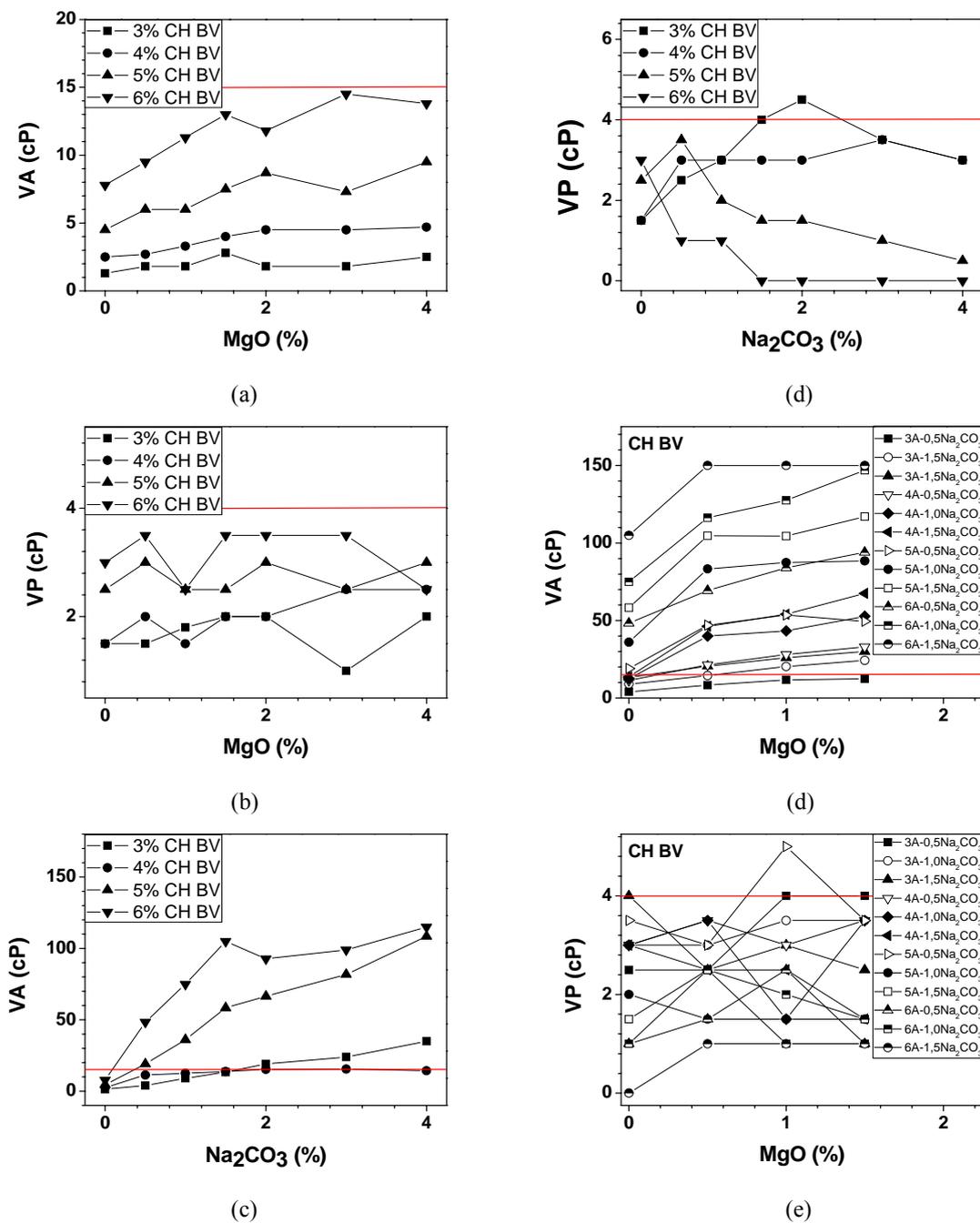


Figura 4. VA e VP da bentonita CH BV ativada com MgO, Na_2CO_3 e ambos aditivos combinados

Os resultados de VA e VP da bentonita CH CN aditivada com MgO, Na₂CO₃ e suas misturas estão apresentados na Figura 5. Mesmo após ser aditivada com MgO ou Na₂CO₃ (isoladamente), a bentonita CH CN não atinge os valores de viscosidades características das normas Petrobras [12], API [13] e ISO [14].

Apenas uma composição da bentonita CH CN aditivada com ambos aditivos (6A-0,5MgO-1,5Na₂CO₃) está conforme características especificadas pela Petrobras [12], API [13] e ISO [14]. A partir disso, essa composição pode também ser utilizada como espessante de tintas de base aquosa.

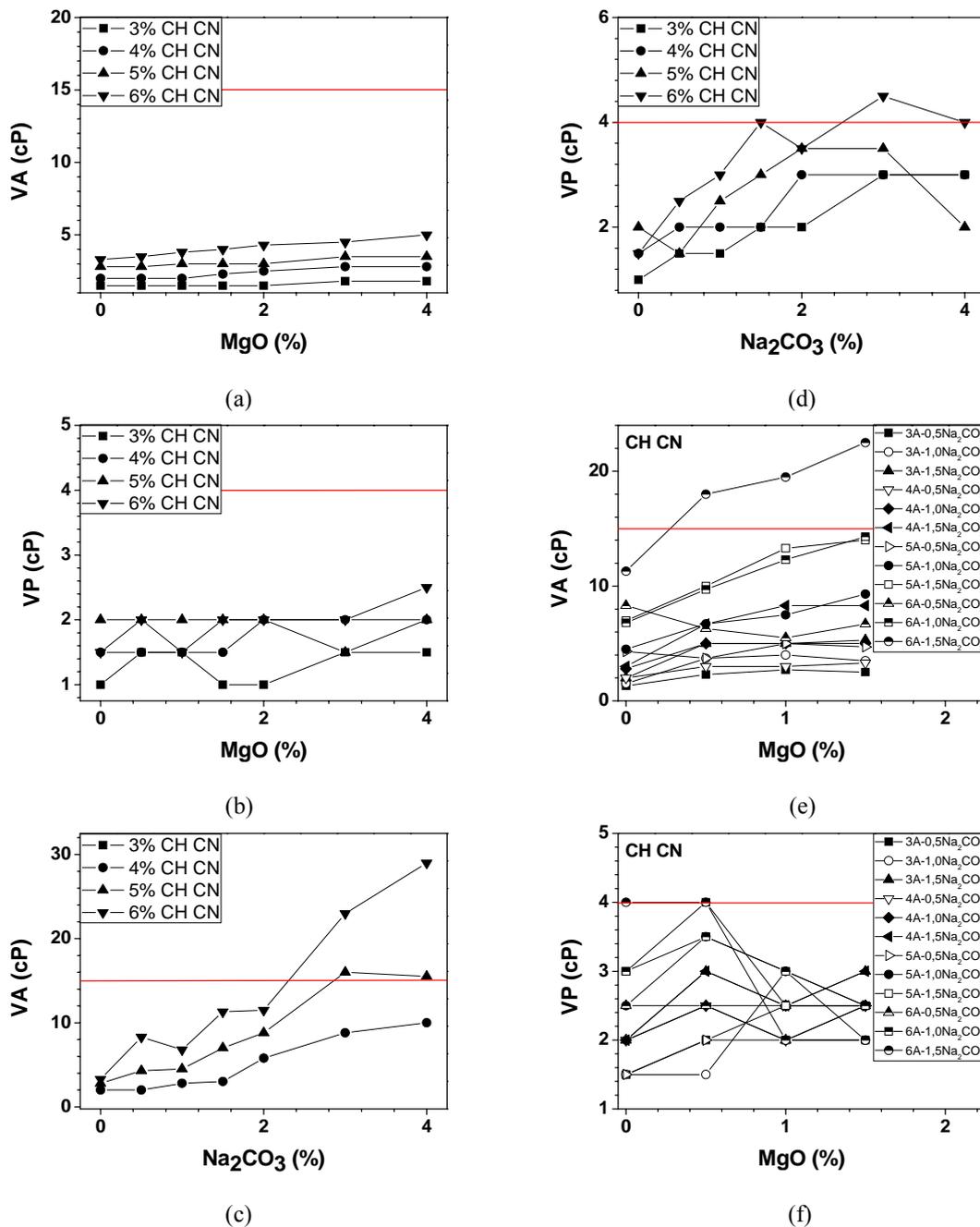


Figura 5. VA e VP da bentonita CH CN ativada com MgO, Na₂CO₃ e ambos aditivos combinados

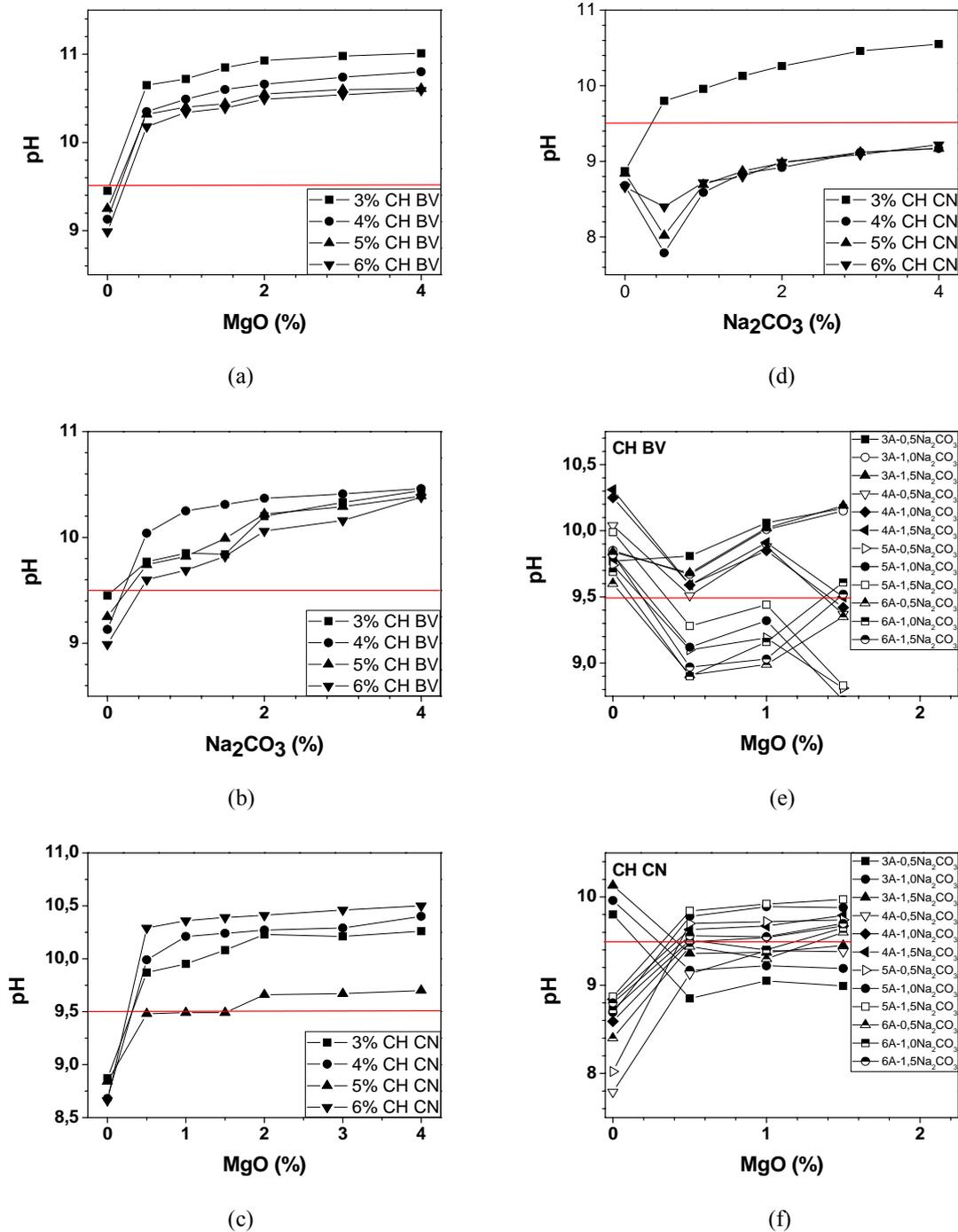


Figura 6. pH das bentonitas aditivadas com MgO, Na₂CO₃ e ambos aditivos combinados

Os resultados de pH das bentonitas aditivadas com MgO, Na₂CO₃ e suas misturas estão apresentados na Figura 6.

Os pH's de dispersões que satisfizeram as normas da API [13] e ISO [14] variaram na faixa de 8,81 a 10,44 situando-se no entorno do valor crítico do pH 9,5 que corresponde,

segundo Karaguzel et al. [7], a um valor a partir do qual, caso haja disponibilidade de Mg, será formado o Mg(OH)₂ que precipitará juntamente com as partículas de argila. Através do controle reológico, verificamos que o fenômeno de heterocoagulação, com precipitação da fase argila e Mg(OH)₂

tornando o sistema bifásico, não ocorreu em virtude da baixa disponibilidade de Mg no sistema.

4. Conclusões

Para a bentonita CH BV, a dispersão 3A-0,0MgO-2,0Na₂CO₃ atende às especificações de viscosidades da Petrobras, API e ISO enquanto que a composição 3A-0,0MgO-4,0Na₂CO₃, dispersões com 5% de argila (exceto 5A-0,0MgO-0,5Na₂CO₃) e com 6% de argila também aditivadas apenas com Na₂CO₃ se enquadram nas normas API e ISO para utilização como viscosificante de fluidos de perfuração e também como agente espessante de tintas de base aquosa. No que se refere às dispersões com ambos os aditivos, as composições 3A-0,5MgO-1,5Na₂CO₃ e 4A-0,5MgO-1,5Na₂CO₃ apresentam valores de viscosidade de acordo com as especificações Petrobras, API e ISO, enquanto que as dispersões bentoníticas 3A-1,0MgO-1,0Na₂CO₃, 3A-1,0MgO-1,5Na₂CO₃, 3A-1,5MgO-1,0Na₂CO₃, 3A-1,5MgO-1,5Na₂CO₃, todas de concentração de 4% (exceto 4A-0,5MgO-1,5Na₂CO₃), 5% e 6% de argila atendem apenas às características especificadas pela API e ISO para utilização como viscosificante de fluidos de perfuração e também como agente espessante de tintas de base aquosa.

Apenas a composição 6A-0,5MgO-1,5Na₂CO₃ da bentonita CH CN está conforme características especificadas pela Petrobras, API e ISO para utilização como viscosificante de fluidos de perfuração e também como agente espessante de tintas de base aquosa.

O pH de todas as composições que atenderam as normas Petrobras, API e ISO apresentaram valores no entorno do valor crítico de 9,5. As amostras que apresentaram valores superiores a 9,5 não apresentaram heterocoagulação (separação de fases).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/CAPEs e à Bentonit União Nordeste).

Referências

- [1] Souza Santos, P. Ciência e tecnologia de argilas, vol. 1, 2ª Ed., São Paulo: Edgar Blücher, São Paulo, 1992.
- [2] Abdou, M. I., Al-sabagh, A. M., Dardir, M. M. Egyptian Journal of Petroleum, v. 22, p. 53-59, 2013.
- [3] Rabah, A. A., Abdelrahman, F. E. Potential use of local bentonite as drilling fluid. Conference on Chemical, Civil and Environment Engineering, p. 290-292, 2012.
- [4] Van Olphen, A. N. Introduction to Clay chemistry. New York, 1997.
- [5] Barbosa, M. I., Amorim, L. V., Ferreira, H. C. Compostos poliméricos como aditivos de argilas bentoníticas. Cerâmica, 53, 354-360, 2007.
- [6] Karakas, F., Pyrgiotakis, G., Çelik, M. S., Moudgil, B. M. Na-bentonite and MgO mixture as a thickening agent for water-based paints. Kona Powder and Particle Journal, 29, 96-106, 2011.
- [7] Karaguzel, C., Çetinel, T., Boylu, F., Çinku, H., Celik, M. S. Activation of (Na, Ca) bentonites with soda and MgO and their utilization as drilling mud. Applied Clay Science, 48, 398-404, 2010.
- [8] Lebedenko, F., Plée, D. Some consideration on the ageing of Na₂CO₃ activated bentonites. Applied Clay Science, 3, 1-10, 1988.
- [9] Zandonadi, A. R. Estudo tecnológico de argilas montmoriloníticas brasileiras [tese de doutorado]. Instituto de Química da USP, São Paulo, 1972.
- [10] Lira, H. L. Modificação de propriedades reológicas de fluidos de perfuração de poços de petróleo [dissertação de mestrado]. UFPB, Paraíba, 1987.
- [11] Valenzuela Diaz, R. F. Preparação a nível de laboratório de algumas argilas esmectíticas organofílicas [tese de doutorado]. USP, São Paulo, 1994.
- [12] Petrobras. Viscosificante para fluidos usados na exploração de produção de poços de petróleo e gás. EP-1EP-00011-A-2011A, 2011.
- [13] American Petroleum Institute. Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids, API 13B-1, 2003.
- [14] ISO. Petroleum and natural gas industries – Drilling Fluids materials – Specifications and tests. ISO 13500, 2008.
- [15] Ferreira, H. C., Chen, T., Zandonadi, A. R., Souza Santos, P. Correlações lineares entre áreas específicas de caulins determinadas por diversos métodos – aplicação a alguns caulins do Nordeste brasileiro (estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte). Cerâmica, 18, 326-333, 1972.
- [16] Souza Santos, P. Estudo tecnológico de argilas montmoriloníticas do distrito de Boa Vista, município de Campina Grande, Paraíba [tese de cátedra]. USP, São Paulo, 1968.
- [17] Menezes, R. R., Melo, R. L. R., Fonseca, F. A. S., Ferreira, H. S., Martins, A. B., Neves, G. A. Caracterização de argilas bentoníticas do município de Sossego, Paraíba, Brasil. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 3 (2), 36-43, 2008.
- [18] Menezes, R. R., Campos, L. F. A., Ferreira, H. S., Marques, L. N., Neves, G. A., Ferreira, H. C. Estudo do comportamento reológico de argilas bentoníticas de Cubati, Paraíba, Brasil. Cerâmica, 55, 349-355, 2009.
- [19] Amorim, L. V., Gomes, C. M., Lira, H. L., França, K. B., Ferreira, H. C. Bentonites from Boa Vista, Brazil: physical, mineralogical and rheological properties. Materials Research, 7 (4), 583-593, 2004.
- [20] Murray, H. H. Applied Clay Mineralogy – Occurrences, Processing and Applications of Kaolin, Bentonites Palygorskite-Sepiolite and Common Clays. Developments in Clay Science, v. 2, p. 110-130, 2006.