

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



TÍTULO DO TRABALHO:

**PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO
BASE AQUOSA ADITIVADOS COM POLIACRILAMIDA
PARCIALMENTE HIDROLISADA ANTES E APÓS
ENVELHECIMENTO**

AUTORES:

Julia Gracielle Gomes de Souza^{1*}, Daniele Cristina de Amorim², Angelo Marinho Vianna³, Grazielle Lopes¹, Luciana S. Spinelli^{1,2}
ju.gracielle@yahoo.com.br

INSTITUIÇÃO:

¹Programa de Engenharia de Nanotecnologia (PENt), COPPE, UFRJ, ² Laboratório de Macromoléculas e Coloides na Indústria de Petróleo, IMA, UFRJ, ³Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES), Petrobras.

**TÍTULO: PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE FLUIDOS DE
PERFURAÇÃO BASE AQUOSA ADITIVADOS COM
POLIACRILAMIDA PARCIALMENTE HIDROLISADA
ANTES E APÓS ENVELHECIMENTO**

Resumo

O bom desempenho dos fluidos de perfuração é essencial para o sucesso das operações de perfuração de poços de petróleo. Contudo, devido à escassez dos recursos energéticos, tem se tornado cada vez maior a perfuração de poços mais profundos que apresentam condições elevadas de temperatura e pressão, chamados de poços HPHT. Devido as questões ambientais e econômicas, que limitam o uso de fluido base óleo, é de grande interesse da indústria do petróleo o desenvolvimento de um fluido base aquosa com melhor desempenho, principalmente no que se refere a estabilidade das propriedades reológicas. O controle das propriedades reológicas (viscosidade aparente, viscosidade plástica, limite de escoamento e força gel) irá garantir a limpeza adequada do poço e a boa circulação do fluido. Muitos aditivos poliméricos são utilizados pela indústria de petróleo como modificadores reológicos, sendo a grande maioria deles polímeros que apresentam baixa resistência térmica. Alguns estudos mostram que a utilização de polímeros sintéticos, como as poliacrilamidas com altas massas molares, podem contribuir para melhorar a resistência térmica das formulações dos fluidos de perfuração, mantendo suas propriedades reológicas inalteradas. Diante disso, esse trabalho tem por objetivo avaliar o potencial de uma poliacrilamida comercial com 30% de hidrólise e alta massa molar (PHPA30) como um aditivo capaz de manter estáveis as propriedades reológicas dos fluidos aquosos quando submetidos ao envelhecimento em diferentes temperaturas. Os fluidos foram formulados em agitador Hamilton Beach, solubilizando o PHPA30 nas concentrações de 0,5%, 1,0%, 1,5% (m/v) por 10 minutos. Em seguida, os outros componentes comuns de formulação de fluidos base aquosa foram adicionados. As viscosidades dos fluidos foram obtidas antes e após seu envelhecimento em estufa rotatória a 70°C e 80°C por 16 horas. As propriedades reológicas foram calculadas a partir dos valores de deflexão obtidos em viscosímetro rotacional FANN 35A, nas rotações de 600, 300, 200, 100, 6 e 3 rpm. As formulações aditivadas com PHPA30 apresentaram valores de viscosidade, antes do envelhecimento, muito superiores aos valores obtidos para o fluido padrão e acima do estipulado pela norma API 13B. Após o envelhecimento a 70°C houve diminuição nos valores de viscosidades dos fluidos aditivados. Mas, ainda assim, continuaram superiores aos valores obtidos para o fluido padrão. Os fluidos após o envelhecimento a 80°C não foram avaliados no viscosímetro FANN devido a degradação do PHPA30, evidenciada pela liberação de amônia quando as células foram abertas. Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que o PHPA30 apresenta um limite de temperatura (70°C) onde consegue agir em sinergia com os outros aditivos da formulação mantendo estáveis os valores dos parâmetros reológicos. Assim, o PHPA30 não pode ser considerado um aditivo ideal para formulações de fluidos que serão aplicados em poços HPHT.

Palavras-chave: Fluido de Perfuração, Aditivos, Poliacrilamida, Reologia, poços HPHT

Abstract

The good performance of drilling fluids is essential for the success of oil well drilling operations. However, due to the scarcity of energy resources, there has been an increasing need to drill deeper wells that present high-temperature and high-pressure conditions, known as HPHT wells. Due to environmental and economic issues that limit the use of oil-based fluids, the development of a water-based fluid with better performance is of great interest to the oil industry, particularly regarding the stability of rheological properties. Controlling the rheological properties (apparent viscosity, plastic viscosity, yield point, and gel strength) will ensure proper well cleaning and good fluid circulation. Many polymeric additives are used by the oil industry as rheological modifiers, with most being polymers that exhibit low thermal resistance. Some studies show that the use of synthetic polymers, such as high molecular weight polyacrylamides, can help improve the thermal resistance of drilling fluid formulations while maintaining their rheological properties. Therefore, this work aims to evaluate the potential of a commercial polyacrylamide with 30% hydrolysis and high molecular weight (PHPA30) as an additive capable of maintaining stable rheological properties of aqueous fluids when subjected to aging at different temperatures. The fluids were formulated using a Hamilton Beach mixer, dissolving PHPA30 at concentrations of 0.5%, 1.0%, and 1.5% (w/v) for 10 minutes. Then, the other common components of water-based fluid formulations were added. The viscosities of the fluids were measured before and after aging in a rotary oven at 70°C and 80°C for 16 hours. The rheological properties were calculated from the deflection values obtained using a FANN 35A rotational viscometer at 600, 300, 200, 100, 6, and 3 rpm. The formulations with PHPA30 showed viscosity values, before aging, much higher than those obtained for the standard fluid and above the values stipulated by API 13B. After aging at 70°C, the viscosity values of the fluids with the additive decreased, but they were still higher than those obtained for the standard fluid. The fluids aged at 80°C were not evaluated using the FANN viscometer due to the degradation of PHPA30, evidenced by the release of ammonia when the cells were opened. Based on the results obtained in this work, it can be concluded that PHPA30 has a temperature limit (70°C) at which it can synergize with the other formulation additives, maintaining stable rheological parameter values. Therefore, PHPA30 cannot be considered an ideal additive for fluid formulations that will be applied in HPHT wells.

Keywords: Drilling Fluid, Additives, Polyacrylamide, Rheology, HPHT drilling wells

Introdução

Os fluidos de perfuração são essenciais nas operações de perfuração de poços de petróleo, desempenhando funções como lubrificação e resfriamento da broca, controle de pressão de poço, transporte de cascalho para a superfície e controle da perda de fluido para a formação (DARLEY, 1988, BOURGOYNE et al. 1986). Os fluidos apresentam em sua formulação aditivos que atuam no controle de diversos parâmetros que são essenciais para garantir que a operação de perfuração ocorra de forma eficiente e segura (GALINDO et al., 2015).

Os polímeros naturais e sintéticos, como as poliacrilamidas parcialmente hidrolisada, são amplamente utilizados nas formulações de fluidos devido às suas propriedades que contribuem significativamente para a eficiência e segurança das operações. A poliacrilamida pode atuar como agente viscosificante, ajudando a suspender e transportar os sólidos gerados até a superfície, prevenindo a acúmulo de fragmentos de rocha no poço. Elas também atuam como redutor de perda de filtrado através da formação

de uma película protetora nas paredes do poço minimizando a perda de fluidos e protegendo as formações (DE LIMA *et al*, 2009)

Contudo, as propriedades dos fluidos sob condições de envelhecimento térmico precisam ser mais bem compreendidas para melhorar as formulações e garantir um desempenho eficiente em condições de alta pressão e alta temperatura (HPHT). Por esse motivo, o presente trabalho tem por objetivo estudar o comportamento, em condições de temperaturas mais elevadas, das formulações de fluidos de perfuração base aquosa aditivados com diferentes concentrações de uma poliacrilamida comercial com 30% de hidrólise.

Metodologia

Neste trabalho foram formulados fluidos de perfuração aquosos aditivados ou não com uma poliacrilamida comercial com 30% de hidrólise (PHPA30) doada pela empresa SNF Water-Soluble Polymers.

Utilizando um agitador Hamilton Beach, foi preparado uma formulação padrão (não aditivada) e mais quatro formulações, em duplicata, contendo o PHPA30 nas concentrações de 0,5%, 1,0% e 1,5% p/v conforme descrito na Tabela 1.

TABELA 1 – Formulação básica de um fluido aquoso

Fluido Aditivos	Padrão (branco)	PHPA30 0,5% p/v	PHPA30 1,0% p/v	PHPA30 1,5% p/v
Água	350mL	350mL	350mL	350mL
Goma Xantana	1,5g	1,5g	1,5g	1,5g
KCl	16g	16g	16g	16g
HPA	2,0g	2,0g	2,0g	2,0g
Lubrificante	7g	7g	7g	7g
Barita	15g	15g	15g	15g
Alcalinizante	qsp	qsp	qsp	qsp
Antiespumante	4 gotas	4 gotas	4 gotas	4 gotas
PHPA30	-----	0,5% p/v	1,0% p/v	1,5% p/v

As propriedades dos fluidos foram avaliadas, antes e após envelhecimento em estufa rotatória, nas temperaturas de 70°C e 80°C por 16 horas. As propriedades reológicas, descritas na Tabela 2, foram

determinadas utilizando um viscosímetro rotacional FANN 35A. Os ensaios de filtração foram realizados em filtro prensa LPLT à pressão 100psi e temperatura ambiente e o filtrado foi recolhido por 30 minutos. As densidades específicas foram determinadas em balança de lama FANN.

TABELA 2 – Parâmetros reológicos obtidos através da viscosidade em viscosímetro Fann 35A

Propriedades	Determinação	Unidade	Limite
Viscosidade Aparente (VA)	L600/2	Cp	15 - 35
Viscosidade Plástica (VP)	L600-L300	Cp	≥4
Limite de Escoamento (LE)	L300-VP	N/m ²	15
Gel Inicial (Gi)	Após 10s de repouso	Lbf/100ft ²	3-12
Gel Final (Gf)	Após 10 min. de repouso	Lbf/100ft ²	8-20

Resultados e Discussão

Os valores de densidade específica de cada fluido, antes e após o envelhecimento, estão na Tabela 3.

TABELA 3 – Densidade específica dos fluidos formulados com e sem PHPA30

Antes do Envelhecimento					Após o Envelhecimento (70°C/16horas)			
Fluidos	Padrão	0,5% p/v	1,0% p/v	1,5% p/v	Padrão	0,5% p/v	1,0% p/v	1,5% p/v
Dens. (lb/gal)	9,7	9,9	9,4	9,4	9,9	10,0	7,9	8,5

Antes do envelhecimento todos os fluidos formulados apresentaram densidades dentro do valor estabelecido pela API (9-10lb/gal), indicando boa capacidade de controlar as pressões durante a perfuração. Após o envelhecimento, somente o fluido contendo 0,5% p/v de PHPA30 manteve sua densidade específica, e os fluidos com 1,0% p/v e 1,5% p/v apresentaram redução, sugerindo possível degradação de aditivo.

Os resultados referentes aos parâmetros reológicos, antes e após o envelhecimento, estão apresentados nas Figuras 1 e 2

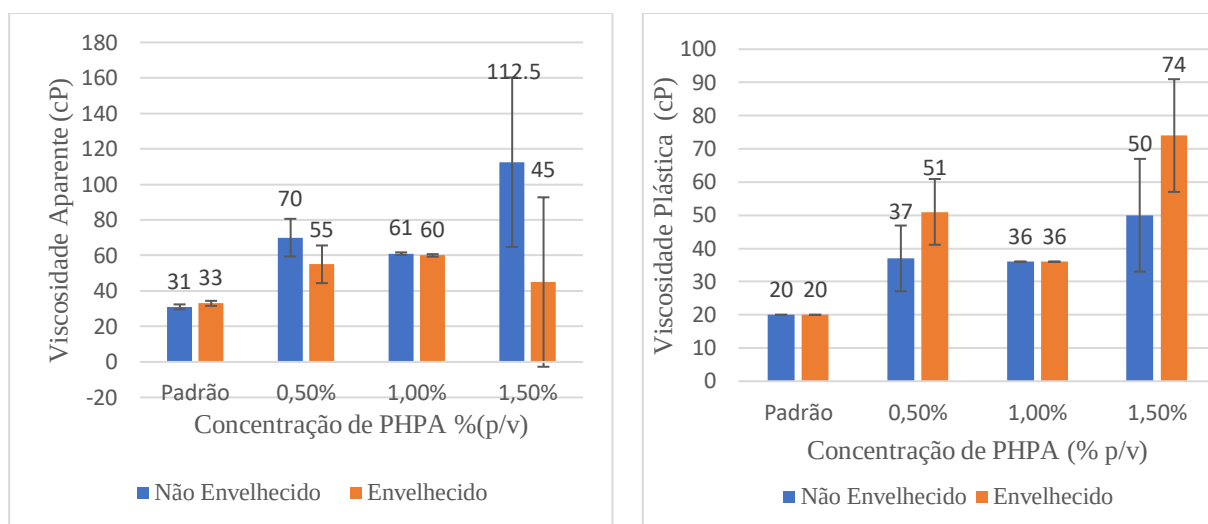
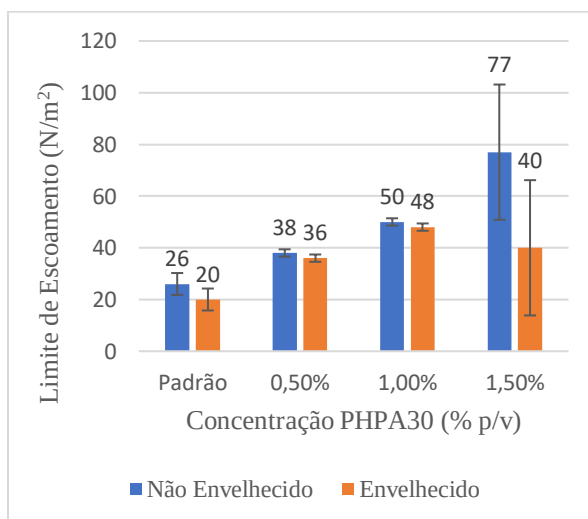


FIGURA 1 - Viscosidade plástica (VA) e viscosidade aparente (VP) dos fluidos antes e após o envelhecimento a 70°C/16 horas.

Antes e após o envelhecimento, as formulações aditivadas com PHPA30 mostram valores muito altos de VA e VP, com um aumento proporcional à concentração de PHPA30. Altos valores de VP indicam um aumento no teor de sólidos devido a uma solubilização ineficiente ou interação com outro aditivo, resultando em precipitação não visualizada. Após o envelhecimento, observa-se uma leve redução nos valores de VA para as formulações com PHPA30, embora ainda permaneçam altos, possivelmente devido à degradação causada pelo envelhecimento. Os valores elevados de VP após o envelhecimento apoiam a hipótese de degradação térmica, sugerindo um aumento no teor de sólidos em suspensão no fluido.



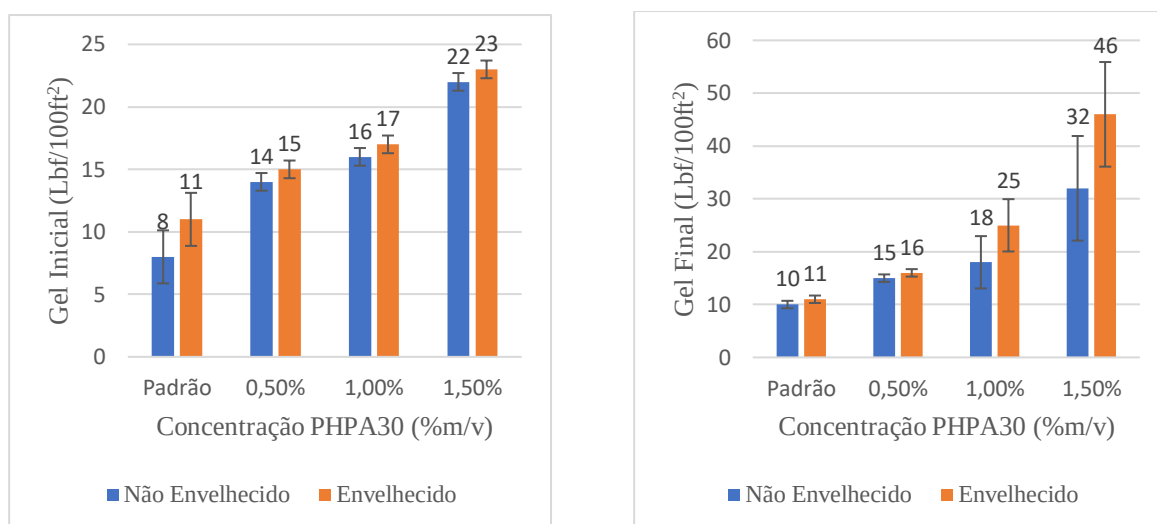


FIGURA 2 – Gel Inicial (Gi), Gel Final (Gf) e Limite de Escoamento (LE) dos fluidos antes e após o envelhecimento a 70°C/16 horas.

Os valores obtidos para o LE, Gi e Gf, refletem os valores de VA e o possível aumento na presença de sólidos, justificado pelos valores de VP. Os três parâmetros, para todos os fluidos formulados com o aditivo PHPA30, ficaram bem acima do especificado pela API, indicados na Tabela 2. De acordo com a norma API-13B, um fluido de perfuração é considerado eficiente se seus parâmetros reológicos atenderem aos valores descritos na Tabela 2. Porém, valores de VA considerados ideais deve ser entre 25 e 35 cP e VP >10 cP. Propriedades reológicas com valores muito altos prejudicam a eficiência do fluido de perfuração aumentando o risco de danos à formação, desequilíbrio das pressões e até total colapso do poço.

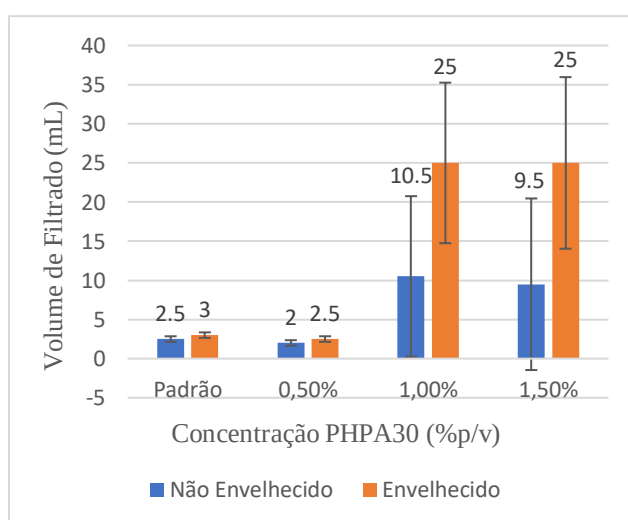


FIGURA 3 - Volume de filtrado (VF) dos fluidos, antes e após o envelhecimento a 70°C/16 horas.

Os valores de volumes de filtrado, antes do envelhecimento, foram satisfatórios (Figura 3). As formulações com 0,5% p/v de PHPA30 mantiveram seus valores de filtrado após envelhecimento, enquanto as outras apresentaram VF muito maiores. A diferença pode ser explicada pela teoria de que o PHPA30, em menor concentração, interage melhor com outros aditivos, ficando mais “protegido” contra a degradação térmica e formando um reboco mais eficiente e impermeável.

Não foi possível realizar as avaliações de propriedades dos fluidos formulados com PHPA30 e envelhecidos em estufa a 80°C por 16 horas, uma vez que foi identificada a degradação total da poliacrilamida, evidenciada pelo forte odor de amônia observado quando as células foram abertas.

Conclusões

Os resultados mostram que a adição de PHPA30 em fluidos base aquosa não gerou formulações adequadas para utilização em perfuração de poços, devido aos altos valores de viscosidade antes e após o envelhecimento a 70°C por 16 horas. Formulações envelhecidas a 80°C por 16 horas apresentaram degradação do PHPA30, indicada pela liberação de amônia. Portanto, conclui-se que o PHPA30 não melhora a resistência térmica das formulações de fluidos aquosos, sendo necessários estudos adicionais para obter um polímero que mantenha as propriedades dos fluidos mesmo em condições extremas de temperatura.

Agradecimentos

Petrobras, ANP, PRH 16.1

Referências Bibliográficas

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Glossary of Drilling fluids and associated terms, 2ª Edição, Bulletin D 11, 1979.

AMORIM, L. V.; BARBOZA, M. I. R.; FERREIRA, H. C. - Desenvolvimento de compostos bentonita/polímeros para aplicação em fluidos de perfuração - *Revista Matéria*, v. 13: 209 - 219; 2008.

BOURGOYNE JR, A. T. et. al. *Applied Drilling Engineering*. TEXA USA: SPE Textbook, 2 v, 1986.

GALINDO, K. A.; ZHA, W.; ZHOU, H.; DEVILLE, J. P. High temperature, high-performance water-based drilling fluid for extreme high-temperature wells. In: SPE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OILFIELD CHEMISTRY, 2015, The Woodlands, Texas. Proceedings. Richardson: Society of Petroleum Engineers, 2015.

DE LIMA, B. V.; VIDAL, R. R. L.; DOS REIS, J. H. C.; BALABAN, R. de C. Hidrólise de poliacrilamida contendo grupos hidrofóbicos associativos: Efeito dos graus de hidrólise e da força iônica sobre a viscosidade em meio aquoso. 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – outubro/2009.