

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

USO DE ÁGUA PRODUZIDA NA FORMULAÇÃO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

AUTORES:

Laís Sibaldo Ribeiro, Tereza Neuma de Castro Dantas, Afonso Avelino Dantas Neto, Klismeryane Costa de Melo, João Victor Tomaz Anacleto

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

Uso de Água Produzida na Formulação de Fluidos de Perfuração

Abstract

Drilling fluids have fundamental importance in the petroleum activities, since they are responsible for remove the cuttings, maintain pressure and well stability, preventing collapse and inflow of fluid into the rock formation and maintain lubrication and cooling the drill. There are basically three types of drilling fluids: water-based, non-aqueous and aerated based. The water-based drilling fluid is widely used because it is less aggressive to the environment and provide excellent stability and inhibition (when the water based drilling fluid is a inhibition fluid), among other qualities. Produced water is generated simultaneously with oil during production and has high concentrations of metals and contaminants, so it's necessary to treat for disposal this water. The produced water from the field of Urucu-AM have high concentrations of contaminants, metals and salts such as calcium and magnesium, complicating their treatment and disposal. Thus, the objective was to analyze the use of synthetic produced water with similar characteristics of produced water from Urucu-AM for formulate a water-based drilling mud, noting the influence of varying the concentration of calcium and magnesium into filtered and rheology tests. We conducted a simple 3^2 factorial experimental design for statistical modeling of data. The results showed that the varying concentrations of calcium and magnesium did not influence the rheology of the fluid, where in the plastic viscosity, apparent viscosity and the initial and final gels does not varied significantly. For the filtrate tests, calcium concentration in a linear fashion influenced chloride concentration, where when we have a higher concentration of calcium we have a higher the concentration of chloride in the filtrate. Volume of filtrate was observed that the calcium concentration influences quadratically, this means that high calcium concentrations interfere with the power of the inhibitors used in the formulation of the filtered fluid. The magnesium concentration was significant only for chloride concentration in a quadratic way. The mud with maximum concentration of magnesium (9,411g/L), but minimal concentration of calcium (0,733g/L) showed good results. Therefore, a maximum water produced by magnesium concentration of 9,411g/L and the maximum calcium concentration of 0,733g/L can be used for formulating water-based drilling fluids, providing appropriate properties for this kind of fluid.

Introdução

Em 1900, com o início da perfuração rotativa de poços de petróleo, surgiu o fluido de perfuração. Na época o fluido era composto apenas de água e argila e circulado intermitentemente no poço para transporte dos cascalhos e estabilização das paredes do poço.

Misturas complexas de sólidos, líquidos (água ou óleo), produtos químicos (aditivos) e, às vezes, até gases, constituem o fluido de perfuração. Do ponto de vista químico, eles podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão, dependendo do estado físico dos componentes (THOMAS, 2001).

Os fluidos têm como funções carrear os cascalhos gerados do fundo do poço para a superfície, suportar e proteger as paredes do poço, evitar dano à formação, resfriar e lubrificar a coluna de perfuração e a broca, prevenir a corrosão dos equipamentos e permitir a aquisição de informações sobre a formação (LYONS, 2011).

Grandes volumes de água são necessários para produzir os fluidos de perfuração seja de base aquosa ou não. Nos fluidos de base aquosa a água é a fase contínua, correspondendo de 50% a 90% em volume da sua formulação e nos fluidos não aquosos a água também está presente, porém em menor volume.

Durante a produção de petróleo, existe a geração simultânea de um efluente aquoso, denominado água produzida, que é a maior corrente de resíduo na produção de óleo cru (LIMA, 2008).

A água de produção é também proveniente do resultado da recuperação terciária de poços de petróleo por meio de injeção de água. Tal método de recuperação ocorre com frequência em poços maduros com o objetivo de aumentar os níveis de produção evitando o seu declínio (ALMEIDA, 2004).

Tais águas geralmente apresentam altos teores de contaminantes tóxicos como metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ag, Ni, Zn), produtos químicos adicionados durante a injeção para recuperação secundária como inibidores de corrosão, inibidores de incrustação, desemulsificantes, metanol, glicol, polieletrólitos, além de compostos orgânicos e inorgânicos onde estes variam suas composições com a vida do campo petrolífero (LIMA, 2008).

Atualmente, a água produzida obtida durante a produção de petróleo e gás pode ser tratada para remover o óleo disperso, a matéria orgânica, as partículas em suspensão, gases, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, sais dissolvidos e contaminantes tóxicos. Após determinado tratamento, pode ser usada para recuperação secundária de poços, descarregada em cursos d'água, aplicada nas operações de petróleo e gás, empregada em sistemas de irrigação e até utilizada para consumo animal e humano (FAKHRU'L-RAZI et al., 2009).

Entretanto, o tratamento desse efluente não é simples, pois o volume gerado é muito grande, então raramente é realizado um tratamento completo dessas águas, pois se faz necessário um grande número de processos de separação para o tratamento, resultando em um procedimento bastante oneroso.

A água produzida de Urucu no estado do Amazonas é um problema pois a perfuração nessa região ocorre em áreas remotas, não existem condições de realizar o tratamento desta água nessa região nem locais para descarte da mesma.

Sabendo da importância dos fluidos de perfuração e conhecendo a problemática da água produzida, esse trabalho tem como objetivo utilizar a água produzida, baseada na formulação da água produzida de Urucu, na formulação de fluidos de perfuração de base aquosa aproveitando alguns componentes da própria água produzida, para reduzir a adição destes à formulação do fluido além de variar a concentração de cálcio e magnésio visando observar as suas influências nos parâmetros reológicos e do filtrado do fluido.

Metodologia

A água de Urucu-AM apresenta altas concentrações de Cálcio e Magnésio, o que gerou o interesse em variar suas concentrações e formular fluidos com essas águas. Para isso foi proposto um planejamento experimental, utilizando o Software STATISTICA 7.0, com dois níveis que foram concentração de magnésio e concentração de cálcio, onde as concentrações máximas propostas foram as concentrações encontradas na água produzida de Urucu e as concentrações mínimas foram as concentrações que normalmente são usadas em sondas de perfuração.

Com o objetivo de obter um fluido de perfuração de base aquosa, cuja composição está apresentada na Tabela 1, com propriedades reológicas e filtrado ótimas, em função das concentrações de cálcio e magnésio da água produzida, cuja composição está apresentada na Tabela 2, diversas formulações de água produzida foram testadas variando-se as concentrações de cálcio e magnésio. Em seguida, com as águas formuladas, os fluidos de perfuração de base aquosa foram formulados e testados, em duplicata, utilizando o planejamento fatorial completo 3², totalizando 9 formulações de água produzida e de fluidos de perfuração, com réplica para cada formulação afim de estimar o erro experimental para cada uma das formulações de água utilizada. Os testes realizados com os fluidos foram de reologia com o Viscosímetro Fann VG modelo 35^a e de filtrado com o Filtro Prensa Fann.

Tabela 1. Materiais para formulação do fluido de perfuração aquoso.

Produto
Água produzida sintética
Removedor de cálcio
Viscosificante
Alcalinizante/ Controlador de pH
Coagulante

Controlador de Filtrado
 Controlador de Filtrado
 Agente adensante/
 supressor de argila
 Obturante 1
 Obturante 2
 Agente adensante
 Bactericida
 Inibidor de Argila

Tabela 2. Concentração dos sais usados para formular a água produzida sintética do campo de Urucu-AM.

Fórmula Molecular
K ₂ SO ₄
MgCl ₂ .6H ₂ O
CaCl ₂ .6H ₂ O
Li ₂ SO ₄
NaCl

A Tabela 3 apresenta os níveis e fatores do planejamento experimental proposto.

Tabela 3. Variáveis independentes do planejamento fatorial completo 3² para a formulação da água produzida.

Níveis	Fatores	(-)	0	(+)
1	Concentração de Magnésio (g/L)	0,209	4,81	9,411
2	Concentração de Cálcio (g/L)	0,733	22,186	43,63

Resultados e Discussão

A análise através do *software* STATISTICA 7.0 mostrou que não há relação estatística significativa entre as concentrações de cálcio e magnésio e a reologia dos fluidos. Para a análise da influência do cálcio na reologia do fluido, utilizou-se os resultados dos fluidos formulados a partir das águas produzidas com as concentrações mínima (0,73g/L), média (22,18g/L) e máxima (43,63g/L) de cálcio e foi feita uma média entre os resultados obtidos para uma mesma concentração de cálcio. A Tabela 4 apresenta os parâmetros reológicos.

Tabela 4. Análise da reologia dos fluidos novos com diferentes concentrações de cálcio na água.

Concentração de Ca (g/L)	V _{av} (cP)	V _p (cP)	G _i (lb/100ft ²)	G _f (lb/100ft ²)	G _f -G _i (lb/100ft ²)	Le (lb/100ft ²)
0,73	24,50	16,33	4,33	5,33	1	17,17
22,19	22,92	15,67	4,33	5,33	1	14,17
43,63	19,75	14,50	3,83	4,83	1	10,50

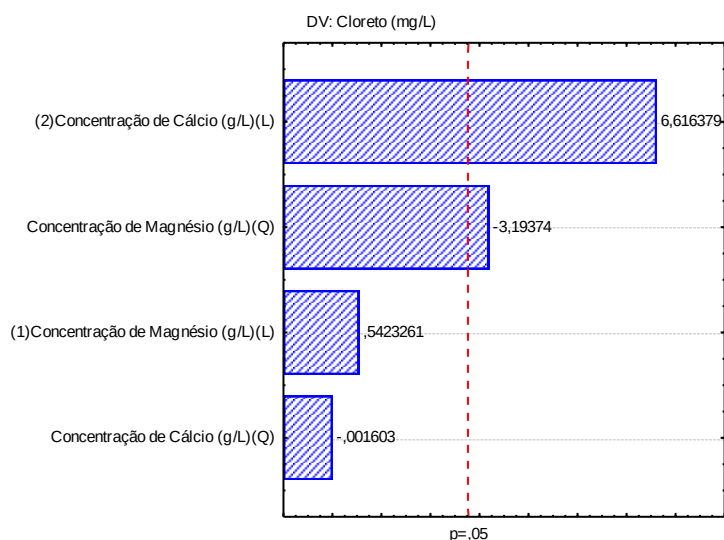
Para todos os fluidos estudados o grau de tixotropia (G_f-G_i) é em torno de 1. Observamos que a tixotropia desse fluido é baixa e a presença do cálcio não alterou os resultados. A viscosidade aparente

(V_{av}) reduziu com o aumento das concentrações de cálcio. Isso ocorreu pois o aumento da concentração de cálcio reduziu a eficiência dos agentes viscosificantes (polímeros). Para a viscosidade aparente (V_{pv}), observa-se que com o aumento da concentração de cálcio o atrito entre as partículas dispersas e entre as moléculas do líquido dispersante reduziu e a viscosidade plástica diminuiu, sendo que quanto maior o teor de cálcio menor a viscosidade plástica. Observa-se que com o aumento da concentração de cálcio ocorre redução do limite de escoamento, significa dizer que o aumento da concentração reduz as forças de interação entre as partículas dispersas e a resistência que o fluido exercerá para circular, exigindo menos trabalho das bombas.

Para o filtrado a análise estatística realizada pelo software STATISTICA foi significativa, onde observou-se que as concentrações de cálcio e magnésio influenciam no volume de filtrado e na concentração de cloretos.

Com a análise estatística obteve-se os efeitos estimados para 95% de confiança, a partir da variação das duas variáveis estudadas. Esse efeito é visualizado no gráfico de Pareto apresentado na Figura 1.

Figura1. Efeito das variáveis estudadas na concentração de cloreto a partir do gráfico de Pareto, com 95% de confiança.



Analisando o gráfico de Pareto, constata-se que a variável concentração de cálcio (g/L) foi estatisticamente significativa na forma linear ($p < 0,05$), apresentando efeito positivo na resposta (cloreto (mg/L)). A concentração de magnésio (g/L) no modelo quadrático também foi significativa, na forma quadrática ($p < 0,05$), e apresenta efeito negativo na resposta (cloreto (mg/L)).

Considerando os coeficientes de regressão linear e quadráticos significativos para o intervalo de confiança de 95%, foi possível escrever o modelo estatístico representado pela Equação (1):

$$\text{Cloreto (mg/L)} = 93000,71 - 2125,00 * (\text{Conc}_{Mg}^{+2})^2 + 10168,8 * \text{Conc}_{Ca}^{+2} \quad (1)$$

Para efeitos significativos, o coeficiente de determinação (R^2) do modelo estatístico foi calculado e seu valor é apresentado na Tabela 5, que apresenta a análise da variância (ANOVA) para o Cloreto(mg/L), variável resposta da variação das concentrações de cálcio e magnésio.

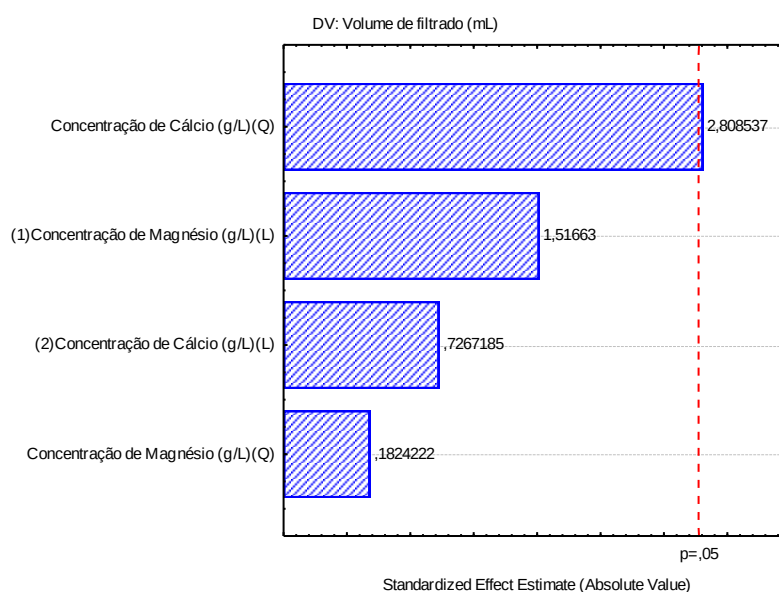
Tabela 5. ANOVA para variação das concentrações de cálcio e magnésio na concentração de cloreto.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	F tabelado	R ²
Regressão	657333333,3	4	164333333,3	46,4	6,388	0,979
Erro	14166667	4	3541666,667			

Observa-se pela Tabela 5 que o coeficiente de determinação para o modelo obtido foi de 0,979, mostrando que o modelo representa bem os resultados obtidos experimentalmente. O teste da análise de variância, o teste F, foi realizado onde o F_{tabelado} foi de 6,388 e o $F_{\text{calculado}}$ foi de 46,4, satisfazendo a condição exigida pela análise estatística, mostrando que o modelo pode ser utilizado para fins preditivos dentro do domínio dos fatores estudados.

A Figura 2 apresenta o gráfico de Pareto obtido pela análise estatística, para 95% de confiança, a partir da variação das duas variáveis estudadas na influencia do volume de filtrado.

Figura2. Efeito das variáveis estudadas no volume de filtrado a partir do gráfico de Pareto, com 95% de confiança.



Constatou-se pelo gráfico da Figura 2 que a variável concentração de cálcio (g/L) foi estatisticamente significativa na forma quadrática ($p < 0,05$), apresentando efeito positivo na resposta volume de filtrado (mL) e a concentração de magnésio (g/L) nos modelos quadrático e linear não foram significativos na resposta volume de filtrado (mL).

Foi possível escrever o modelo estatístico representado pela Equação (2), considerando os coeficientes de regressão quadrático significativo para o intervalo de confiança de 95%,

$$\text{Volume de filtrado (mL)} = 6,355582 + 1,283253 * (\text{Conc}_{\text{Ca}^{2+}})^2 \quad (2)$$

O modelo apresentado pela Equação (2) representa a variável resposta Volume de filtrado (mL) nos níveis reais assumidos pelas variáveis; concentração de magnésio (g/L) e concentração de cálcio (g/L), no modelo quadrático. O coeficiente de determinação (R^2) do modelo estatístico foi calculado e seu valor é apresentado na Tabela 6, que apresenta a análise da variância (ANOVA) para o Volume de filtrado (mL), variável resposta da variação das concentrações de cálcio e magnésio.

Tabela 6. ANOVA para variação das concentrações de cálcio e magnésio no volume de filtrado.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	F tabelado	R^2
Regressão	20,93444444	4	5,233611111	12,53976705	6,388	0,926
Erro	1,66944	4	0,417361111			
Total	22,60389	8				

Na Tabela 6 observa-se que o coeficiente de determinação para o modelo obtido foi de 0,926, mostrando que o modelo representa bem os resultados obtidos experimentalmente. Pelos graus de liberdade apresentados, o F_{tabelado} foi de 6,38 e o $F_{\text{calculado}}$ foi de 12,53, satisfazendo a condição exigida pela análise estatística mostrando que o modelo pode ser utilizado para fins preditivos dentro do domínio dos fatores estudados.

Conclusões

Foi possível formular fluidos de perfuração de base aquosa, com características desejáveis, utilizando água produzida. No estudo da influência de diferentes teores de cálcio e magnésio da água produzida sintética nas propriedades do fluido de perfuração aquoso, pode-se concluir que elevadas concentrações de cálcio e magnésio, levaram aos resultados não satisfatórios de reologia, onde os parâmetros reológicos apresentaram redução com o aumento da concentração de cálcio e magnésio, resultando em queda nos valores das viscosidades plástica e aparente e as forças géis (inicial e final), gerando um fluido com baixo poder de limpeza do poço e carregamento dos cascalhos e nos testes de filtrado conclui-se que quanto maior o teor de cálcio, pior a qualidade do fluido, onde fluidos com maiores concentrações de cálcio apresentaram rebocos mais espessos e elevados volumes de filtrado, podendo ocasionar prisão de coluna e perdas de circulação durante a perfuração do poço de petróleo. Para as variações das concentrações de magnésio, não foi observada influência significativa nos resultados de reologia e de filtrado dos fluidos formulados. Portanto, conclui-se que tanto na concentração máxima de magnésio quanto na mínima o fluido possui comportamento desejável. Através do planejamento experimental e dos modelos estatísticos obtidos, o fluido com concentração máxima de magnésio (9,411g/L) e concentração mínima de cálcio (0,733g/L) apresentou os melhores resultados. Concluindo-se finalmente que uma água produzida que possua concentração máxima de magnésio de 9,411g/L e de cálcio de 0,733g/L pode ser utilizada para formulação de fluidos de perfuração de base aquosa, conferindo propriedades adequadas a esse tipo de fluido. Esses resultados constituem-se em uma boa alternativa para o reaproveitamento de água produzida.

Agradecimentos

À CAPES que me deu subsídio para desenvolver esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, Alberto S. de. Recuperação secundária em campos de produção. **SEMINÁRIO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DO BRASIL: PETRÓLEO, GÁS, URÂNIO E CARVÃO**, 2004.
- FAKHRU'L-RAZI, Ahmadun et al. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 2, p. 530-551, 2009.
- LIMA, Rosilda Maria Gomes et al. Remoção do íon amônio de águas produzidas na exploração de petróleo em áreas offshore por adsorção em clinoptilolita. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1237-1242, 2008.
- LYONS, William C. et al. **Standard handbook of petroleum and natural gas engineering**. Gulf Professional Publishing, 2011.