

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

EFEITO DA ADIÇÃO DE VERMICULITA EXPANDIDA NOS TESTES DE REOLOGIA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PASTAS PARA CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Tiago Renovato dos Santos¹; Eduardo Raimundo dias Nunes²; Flávia de Medeiros Aquino³; Marcos Alyssandro Soares dos Anjos⁴; Dulce Maria de Araújo Melo⁵; Andréa Cristine de Souza Carneiro⁶

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

EFEITO DA ADIÇÃO DE VERMICULITA EXPANDIDA NOS TESTES DE REOLOGIA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PASTAS PARA CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

ABSTRACT

The understanding and control of the rheological properties are of fundamental importance in the process of pumping of the cement slurry at oil wells, from a rheological the cement slurry in the fresh flows as a liquid, so its behavior should be studied from the concepts of rheology, the science dedicated to studying the deformation and flow of a fluid under influence of tension, the rheological parameters is important to be studied, both to facilitate the bombeio's slurry in the cementing of oil wells as the decisions of how it will be pumped to fill the space void formed between the rock formation and perforated metal cladding fell in the well. The rheology is to obtain readings in the rotating viscometer, from which the study is made of the flow and the rheological model to adopt for the displacement. Studies of resistance to compression in slurry already hardened in the state also has its importance in engineering well, as are tests that measure the efforts needed to break molded bodies of evidence in conditions that simulate the properties of the bottom of the well, must meet the minimum requirements set by the API (American Petroleum Institute). Currently, the petroleum industry has developed technology for the addition of new materials in cement pastes for oil wells that provide greater ductility and low densities in specific operations. In this work, we used the expanded vermiculite in the proportion of 6%, 8% and 10% of the mass of cement (BWOC), aiming to reduce the density of the folders and get resistors that are above the standards API, rheology tests were performed using a rotary viscometer of coaxial cylinders Chandler model 3500, according to the model that defines the Bingham plastic viscosity (PV) and the limit of disposal (LE) also determines the initial gel (Gi) and final gel (Gf), and resistance to compression tests, where the bodies of evidence were molded in a standard cubic 50 mm x 50 mm and stay in the thermal bath temperature of 38 ° C, after a period of 24, 48 and 7 days of immersion, the molds were removed from the bath and taken to break removed. The results were satisfactory, it showed that we can adapt new materials to promote changes in the physico chemical properties of cement pastes of maintaining all the requirements established by the American Petroleum Institute.

Introdução

A cimentação de um poço de petróleo pode ser definida como operação realizada para efetuar o bombeio de uma pasta de cimento, que irá preencher o espaço anular constituído entre a formação rochosa perfurada e o revestimento metálico descido no poço. Estas operações são executadas em todas as fases do poço, sendo previstas no programa do mesmo (THOMAS, 2001).

Dependendo do procedimento de mistura no equipamento, o tempo de bombeabilidade, geometria do poço, quantidades diferentes de energia são absorvidas pelas pastas antes das pastas curarem. Esses parâmetros controlam as diferentes propriedades reológicas da pasta de cimento. O sucesso do serviço de cimentação demanda o máximo de controle das propriedades das pastas de cimento (HODNEA *et al*, 2000).

A reologia consiste na obtenção das leituras em viscosímetros rotativos, a partir das quais é feito o estudo do regime de fluxo e do modelo reológico a adotar para o deslocamento. Contrariamente ao que acontece durante a perfuração propriamente dita, onde não se deseja perturbar a parede do poço, criando ali um reboco protetor, durante a cimentação deseja-se obter um efeito cisalhante que permita a remoção deste reboco para melhor aderência do cimento à formação, daí ser desejável o escoamento em fluxo turbulento.

Atualmente a busca por materiais alternativos a serem utilizados em cimentação de poços de petróleo é uma atividade em pleno desenvolvimento. Mesmo assim, o cimento Portland ainda é o material mais utilizado pelas companhias de cimentação. Os desafios dizem

respeito à melhoria das propriedades termomecânicas de fragilidade, tenacidade e deformação plástica durante o processo de fratura, que são características inerentes às pastas cimentantes. Materiais alternativos devem ser adicionados na forma de aditivos de forma a não alterar a metodologia de preparação de pastas e cimentação atualmente adotadas pelas companhias de serviço (Lima, 2004).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo o estudo do efeito da adição da vermiculita expandida micron na pasta de cimento. A vermiculita tem a sua estrutura composta por superfícies lamelares de silicatos, intercaladas com camadas de água. Quando aquecida entre 650 e 1.000°C apresenta uma curiosa propriedade de expansão. Este fenômeno, chamado de esfoliação, promove um aumento no volume inicial do mineral bruto, que varia entre 15 e 25 vezes (FERRAZ, 1971). Logo, a vermiculita expandida consegue compatibilizar baixíssimo peso com boa resistência mecânica, o que outros agregados não conseguem.

Metodologia

Utilizou-se para a formulação da pasta, cimento do tipo portland Poty Especial fornecido pela empresa CIMESA; vermiculita expandida micron na concentração de 6, 8 e 10% em relação à massa do cimento fornecida pela empresa Mineração Santa Luzia; água fornecida pela empresa de abastecimento de água CAERN; aditivo 01 na concentração de 2% em relação à massa de cimento com o objetivo de obter maior rendimento da pasta, resultando em pastas mais leves, possibilitando maiores alturas de pasta por causarem menor pressão hidrostática; aditivo 02 possibilitando o afinamento da pasta, com isto permitindo adoção de maiores vazões com menores perdas de carga, causando melhor remoção do fluido de perfuração e um menor risco de fratura as formações; aditivo 03 visa evitar a desidratação prematura da pasta frente às zonas permeáveis, mantendo a bombeabilidade e impedindo que cause danos à formação produtora; aditivo 04 que evita a aeração da pasta impedindo que se formem bolhas de ar e cause fratura à pasta; e o aditivo 05 visa diminuir o tempo de espessamento e aumentar a resistência compressiva inicial da pasta.

Os volumes específicos dos materiais utilizados em cada formulação são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Volume específico dos materiais:

Material	Volume Específico (lb/gal)
Cimento	0,0382
Vermiculita Exp. Micron	0,1688
Água	0,1202
Aditivo 01	0,0499
Aditivo 02	0,1089
Aditivo 03	0,0700
Aditivo 04	0,1223
Aditivo 05	0,0685

A preparação e a caracterização das pastas, incluindo a homogeneização, ensaios de reologia e de resistência à compressão foram realizados conforme estabelecido no API (American Petroleum Institute) e pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Para efetuar a mistura utilizou-se um misturador Chandler modelo 80-60. Após a pesagem de todos os componentes da pastas. Foi adicionado ao misturador à água e o aditivo 04 durante 3 minutos a uma rotação de 900 rpm. Depois adicionou o aditivo 01 durante 20 minutos na mesma rotação, em seguida, adicionou o aditivo 03 durante 3 minutos na mesma rotação, depois o aditivo 05 durante 3 minutos na mesma rotação, a fim da realização de uma breve mistura. Foi realizada a mistura a uma velocidade inicial de $4000 \text{ rpm} \pm 200 \text{ rpm}$, lançando-se o cimento em 15 s, durante os quais a velocidade foi mantida constante. Após todo cimento ter sido ininterruptamente adicionado ao sistema água/aditivos, deu-se continuidade a agitação a uma velocidade alta $12000 \text{ rpm} \pm 500 \text{ rpm}$ durante 35 s, de acordo com as recomendações práticas API. Após o termino foi adicionado o aditivo 02 durante 3 minutos a uma rotação de 900 rpm e em seguida foi adicionado a vermiculita expandida micron na mesma rotação, visto que nos ensaios feitos com rotação superior ocorre a quebra da vermiculita.

Imediatamente após a mistura, foi realizada a homogeneização das pastas, em um consistômetro atmosférico Chandler modelo 1200, durante 20 min a $150 \text{ rpm} \pm 15 \text{ rpm}$, conforme o API. Neste processo, foi realizado o aquecimento das pastas com taxa de $2,22^\circ\text{C}/\text{min}$ para a temperatura de teste. A temperatura de teste foi determinada em $31,5^\circ\text{C}$.

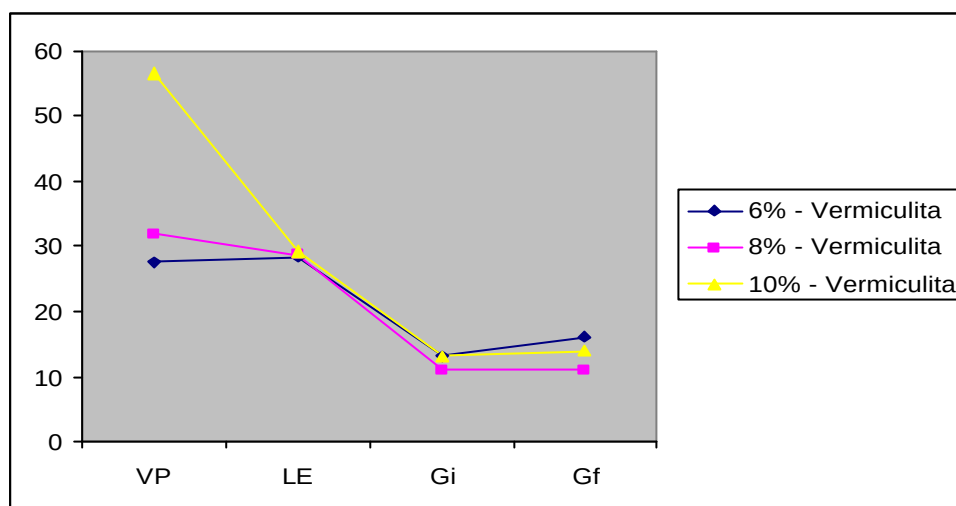
Após a homogeneização das pastas no consistômetro atmosférico, estas foram colocadas no copo do viscosímetro, para determinação dos parâmetros reológicos, onde se efetuou as leituras nas rotações de 3 rpm, 6 rpm, 10 rpm, 20 rpm, 30 rpm, 60 rpm, 100 rpm, 200 rpm e 300 rpm, de maneira ascendente e descendente, com intervalos de 10s entre as leituras, calculando-se posteriormente os valores médios das duas medidas. Após a última leitura de 3 rpm, aumentou-se a velocidade do rotor para 300 rpm, mantendo-a por 1 min. Em seguida, o motor foi desligado e após 10 s, o mesmo foi novamente acionado a 3 rpm, registrando-se a deflexão máxima observada, que é denominada de gel inicial (Gi). Desligou-se mais uma vez o motor por 10 min, no fim dos quais o motor foi novamente ligado, registrando-se a deflexão máxima observada, denominada de gel final (Gf). O objetivo de um teste de reologia é determinar as propriedades reológicas das pastas de cimento utilizando um viscosímetro rotativo de cilindros coaxiais Chandler modelo 3500, de acordo com o modelo de Bingham que define a viscosidade plástica (VP) e o limite de escoamento (LE). Determina-se também o gel inicial (Gi) e gel final (Gf). Tais parâmetros são utilizados para a determinação do regime de escoamento e previsão das pressões geradas durante as operações de cimentação.

Para o ensaio de resistência à compressão adotou-se a mesma sequência utilizada para o ensaio de reologia. No entanto, após a homogeneização das pastas no consistômetro atmosférico, e levados à cura, à temperatura ambiente e a pressão atmosférica, em um Banho Termostático Nova Ética Modelo 500/3DE com água, que possui dimensões adequadas à imersão completa dos moldes e também um sistema de circulação realizado por um agitador (NBR9825, 1993). As curas foram realizadas em 24 h, 7 dias e 28 dias de imersão, os moldes foram removidos do banho, após o tempo específico de cura de cada um, e desmoldados. Depois foram enxutos com papel absorventes e suas dimensões foram medidas com um paquímetro para avaliar possíveis rebaixamentos, não ultrapassando cinco minutos nessa etapa. A ruptura dos mesmos foi realizada em uma Máquina Universal de Ensaio Shimadzu Autograph Modelo AG-I, controlada pelo programa TRAPEZIUM2. Este ensaio mede o esforço necessário para romper corpos de prova moldados em condições que simulem as do fundo do poço e a resistência à compressão mínima, em 8 horas de cura, que varia de 300 a 1500 psi para o cimento classe G, a depender da natureza da operação.

Resultados e Discussão

Os parâmetros reológicos de viscosidade plástica, limite de escoamento, gel inicial e gel final estão apresentados no Gráfico 1.

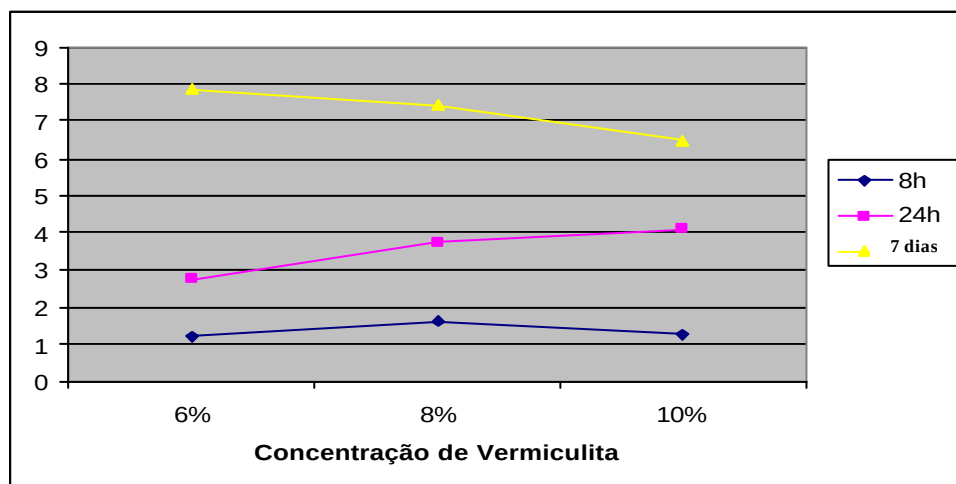
Gráfico 1 – Resultados obtidos na reologia:



Pode ser observado que há um aumento da viscosidade plástica (VP) com o aumento da concentração de vermiculita na pasta e que a pasta com 10% de vermiculita apresentou o dobro do resultado obtido na pasta com 6% de vermiculita. Os valores de limite de escoamento (LE) em função da concentração de vermiculita apresentaram um aumento gradativo, entretanto, houve uma pequena variação de 0,89 lbf/100 pé² entre a pasta com 6% de vermiculita e a pasta com 10% de vermiculita. Nos resultados comparativos entre o efeito da concentração de vermiculita sobre a força gel das pastas observou-se que tanto o gel inicial (Gi) como o gel final (Gf) não apresentaram grandes diferenças, com variação de 2 lbf/100 pé² e 5 lbf/100 pé², respectivamente.

Os dados de resistência à compressão das pastas com 6, 8 e 10 % de vermiculita, na granulometria micron, com 8, 24 e 168 horas encontram-se no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Resultados obtidos no ensaio de resistência mecânica:



Pode ser observado que as diferentes concentrações de vermiculita não alteraram significativamente os valores de resistência mecânica para o mesmo tempo de cura. Com o tempo de cura em 8 horas a pasta com 8% de vermiculita apresentou o maior valor. Com o tempo de 24 horas a pasta com 10% apresentou maior valor, mas muito próximo ao valor da pasta com 8% de vermiculita. Após 7 dias, a pasta com 6% de vermiculita foi a que apresentou maior valor de resistência à compressão e a pasta de 8% de vermiculita apresentou valores próximos.

Conclusão

Foi observado que na reologia, a viscosidade plástica (VP) e o limite de escoamento (LE) apresentaram um aumento com o aumento da concentração de vermiculita e que na pasta com a concentração de 10% de vermiculita este aumento foi bem significativo no que se refere à viscosidade plástica, enquanto que o limite de escoamento o aumento foi gradativo e com pouca diferença entre a pasta de 6% e 10% de vermiculita. O aumento destas propriedades reológicas está relacionado com a absorção da água através dos espaços lamelares vazios presente na estrutura da vermiculita expandida e também com o aumento da área superficial do material.

Os resultados da força gel inicial (Gi) e força gel final (Gf) obtidos na reologia apresentaram valores com pouca diferença entre si, pois a pasta com vermiculita apresenta uma característica chamada de tixotropia, que é o fenômeno da diminuição da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, a uma taxa de cisalhamento constante onde esta é também devida à quebra de uma estrutura organizada no fluido. Se deixarmos em repouso durante algum tempo um sistema tixotrópico, a viscosidade aparente aumentará devido à formação de uma estrutura mais organizada das partículas em suspensão que imobiliza o líquido entre as partículas. Se, a seguir, submetermos o sistema a cisalhamento, a uma velocidade de agitação constante, a viscosidade aparente decrescerá com o tempo até atingirmos o equilíbrio entre quebra e reconstrução da estrutura.

No ensaio de resistência à compressão foram obtidos valores abaixo de 2,06 MPa em 8 horas de cura, que é o mínimo exigido para pasta de densidade 15,6 Lb/gal, no entanto, as pastas analisadas apresentam densidade de 13,0 lb/gal. Foi observado que a pasta com 8% de vermiculita apresentou maior resultado, com 1,64 MPa, no tempo de 8 horas de cura, e que em 7 dias de cura houve uma perda de resistência, causado pelo aumento da massa de vermiculita na pasta. Observou-se também que durante os ensaios de resistência à compressão o aumento da massa de vermiculita apresentou um efeito dúctil nas pastas analisadas, o comportamento dúctil traz para a pasta uma boa característica de absorção de energia antes de sua ruptura, podendo ela contrair e voltar a sua forma original sem ocorrer à fratura.

A pasta contendo 8% de vermiculita expandida foi a que obteve melhores médias e resultados em relação a todos os ensaios realizados, podendo ser uma pasta utilizada para uma cimentação de topo, em locais onde a formação não suporta muitos esforços e necessita de pastas com baixo peso hidrostático.

Referências Bibliográficas

API (American Petroleum Institute)

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

Ferraz, C.P., Vermiculita – Um Importante Mineral Industrial, in: I Simpósio de Mineração, nº32, EDUSP, São Paulo, 1971.

Hodnea, H., Saasenb, A., O'Hagana, A.B., Wicka, S.O. Effects of time and shear energy on the rheological behaviour of oilwell cement slurries. Cement and Concrete Research, v. 30, p. 1759 – 1766, ago. 2000.

Thomas, J.E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo - Petrobrás. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2001.

Costa, J.C.C.; Cimentação de pólos de petróleo. 2004. 38 f. Monografia (Departamento de Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo do LENEP) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro.

Lima, F. (2004). Desenvolvimento de Cimentos do tipo Portland/Materiais alternativos para Cimentação de poços de petróleo. *Monografia* .