

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



TÍTULO DO TRABALHO:

Efeito da metacaulinita e da *silica flour* como aditivos minerais em pastas cimentícias submetidas a altas temperaturas e pressão em poços de recuperação térmica

AUTORES:

Marcos Alyssandro Soares dos Anjos¹; Tiago Renovato dos Santos²; Pablo Diego Pinheiro de Souza³; Dulce Maria de Araújo Melo⁴; Antonio Eduardo Martinelli⁵; Júlio César de Oliveira Freitas⁶

INSTITUIÇÃO:

¹IFRN; ^{2,3,4,5,6}UFRN

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. 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 5ºPDPETRO.

EFEITO DA METACAULINITA E DA SILICA FLOUR COMO ADITIVOS MINERAIS EM PASTAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ALTAS TEMPERATURAS E PRESSÃO EM POÇOS DE RECUPERAÇÃO TÉRMICA

Abstract

This work analyzes the influence of different concentrations of silica flour and metakaolinite addition in paste for cementation of oil-wells subject to high temperature and pressure. One observes these materials show a silicate formation resistant to high temperatures, what makes possible to use them as additive to face retrogression if they are employed under concentration of 20% and 40%.

Introdução

A bacia Potiguar tem grandes campos produtores de óleo com alta viscosidade, para manter a produção satisfatória, em casos de redução da produção por idade avançada, recorre-se, comumente, a um procedimento de recuperação secundária por injeção de vapor, aquecido sob alta pressão. Esse processo termina por “sacrificar” um ou mais dos poços produtores e tem a finalidade de aumentar a pressão nos demais, de modo que esses passem a apresentar um maior escoamento de óleo, melhorando a sua produção.

A injeção de vapor em poços de óleo pesado vem sendo utilizada pela Petrobras para melhorar a sua recuperação. Entretanto, tem-se observado a perda do isolamento hidráulico entre as camadas do reservatório, o que aumenta os custos de produção. A perda do isolamento hidráulico da bainha de cimento é atribuída tanto a problemas de má cimentação quanto à retrogressão das propriedades mecânicas do cimento agravada pelas altas temperaturas.

A técnica de injeção de vapor em poços produtores de óleos pesados é uma prática comum, no entanto este procedimento pode ocasionar falhas na bainha de cimento com consequente perda do isolamento hidráulico. Estas falhas são provocadas pela instabilidade química dos produtos hidratados do cimento frente às altas temperaturas alcançadas nos poços de recuperação térmica, que podem atingir até 400°C.

O silicato de cálcio hidratado (C-S-H) é o principal produto de hidratação do cimento, sendo o principal responsável pela resistência das pastas cimentícias, além de ter boa estabilidade a temperaturas de até 110°C (230°F), no entanto para temperaturas acima destas o C-S-H sofre metamorfismo convertendo-se na fase α -C₂SH, mais cristalino e mais denso que o C-S-H convencional, sendo esta retração deletéria para a integridade da cimentação (NELSON, 1990).

LUKE (2004) afirma que a presença de grande quantidade de portlandita (Ca(OH)₂) e de silicato de cálcio hidratado rico em cálcio em pastas hidratadas são consideradas deletérias, pois resultam em uma permeabilidade elevada e uma baixa resistência à compressão.

Metodologia

Este trabalho avalia o efeito da metacaulinita e de *silica flour* como aditivos minerais em pastas cimentícias submetidas a altas temperaturas e pressão, como as geradas em poços de recuperação térmica. As características físicas e químicas dos precursores das pastas são apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Composição química dos precursores das pastas.

Compostos	CPE (%)	<i>silica flour</i> (%)	metacaulinita (%)
SiO ₂	20,17	95,0	53,00
Al ₂ O ₃	4,60	2,0	40,80
Fe ₂ O ₃	3,15	0,2	5,20
CaO	61,76	-	0,10
MgO	3,52	-	0,20
SO ₃	2,84	1,80	-
Na ₂ O	0,17	-	0,32
K ₂ O	0,90	-	0,72
CaO (livre)	1,93	-	-
PF	0,82	2,00	1,25

Tabela 2. Propriedades físicas do cimento Portland

Ensaio	CPE	<i>silica flour</i>	metacaulinita
Área específica (m ² /g)	2,63	36,45	12,50
Massa específica (g/cm ³)	3,10	2,65	2,50
Resíduo na peneira 75 µm (%)	5,20	0	0
Resíduo na peneira 45 µm (%)	19,9 %	0	0

Métodos

As pastas foram formuladas com metacaulinita (MK) em concentrações de 20% e 40% e de *silica flour* (S) em concentrações de 40% (BWOC), tendo sido produzida ainda uma pastas de referência sem aditivos, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Composição das pastas cimentícias

	CPE (g)	Concentração de aditivo - BWOC (%)	MK (g)	Sílica Flour (g)	Água (g)	Dispersante (g)	Anti- espumante (g)	FAC
PR	772,0	0	-	-	353,89	-	1,34	45,84
P20MK	649,62	20	129,92	-	337,29	3,81	0,93	51,92
P40MK	564,18	40	225,67	-	324,30	6,62	0,80	57,48
P40S	559,93	40	-	223,97	334,65	-	0,97	59,77

As pastas foram misturadas em um misturador de palheta com controlador de velocidade, sendo em seguida moldados corpos-de-prova para avaliação da resistência à compressão.

Os corpos-de-prova foram submetidos a dois ciclos de cura, o primeiro durante 32 dias a uma temperatura de 38°C. O segundo ciclo de cura simula a injeção de vapor, para tanto os corpos-de-prova foram curados durante 28 dias a uma temperatura de 38°C(BWOC), sendo em seguida colocados em uma câmara de cura pressurizada a uma temperatura de 280°C e pressão de 1000 psi, durante 3 dias.

Após o ciclo de cura os corpos-de-prova foram submetidos a um ensaio de compressão em uma máquina de ensaios universal da marca Shimadzu, com velocidade de carregamento de 17,9 kN/min.

Foram realizadas análises de DRX das amostras fraturadas, em um equipamento da Shimadzu modelo XRD-7000 utilizando-se uma fonte de radiação de CuK α com voltagem de 30kV, corrente de 30 mA .

Resultados e Discussão

Verifica-se que a adição de metacaulinita e *silica flour* não compromete a resistência à compressão das pastas cimentícias a baixa temperatura, e que a adição de 20%, provocou um ligeiro aumento na resistência, como pode ser observado na figura 1.

O segundo ciclo de cura que simula uma injeção de vapor a uma temperatura de 380°C, durante 3 dias, provocou a retrogressão da resistência à compressão de todas as pastas analisadas sendo mais severa para as pastas de referência. Verifica-se que a retrogressão foi menor nas pastas com a adição de *silica flour* e metacaulinita, comprovando a eficiência destes aditivos no combate a este fenômeno de diminuição da resistência com o aumento da temperatura.

No entanto, mesmo com essas diminuições nas resistências à compressão, as pastas com adições de 20% e 40% de metacaulinita e 40% de *silica flour* são capazes de suportar os esforços mecânicos gerados nos poços, pois apresentam resistências superiores a 17 MPa, que segundo SMITH (1980) são resistências adequadas para suportar os esforços mecânicos gerados nos poços.

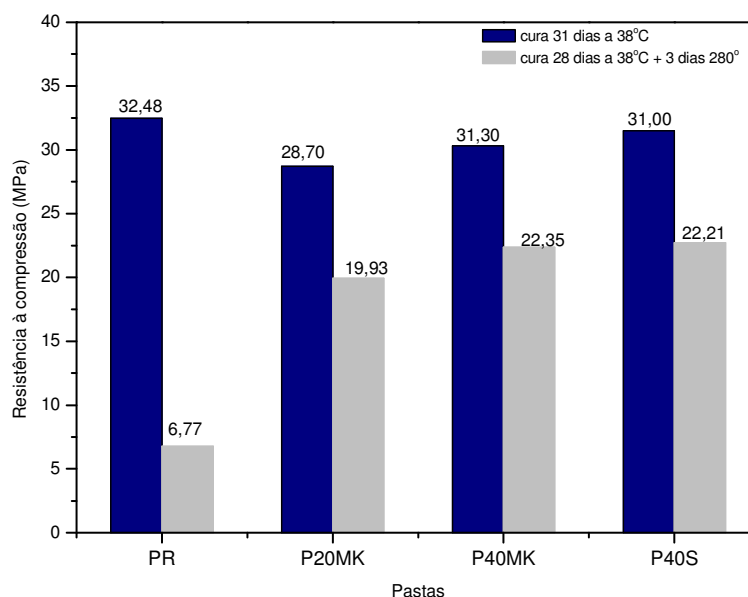


Figura 1. Resistência à compressão das pastas após o ciclo de alta temperatura.

A figura 2 apresenta os difratogramas de raios X das pastas analisadas neste trabalho, onde se verifica a formação de novas fases hidratadas, nas pastas com adição de 40% de sílica flour e de 20% e 40% de metacaulinita, fato não observado na pasta de referencia.

A adição destes materiais, ricos em sílica, favoreceu a formação de silicatos de cálcio cristalinos com propriedades mecânicas e de estabilidade superiores aos formados em pastas produzidas sem os referidos aditivos minerais. Este efeito está relacionado com a conversão das fases hidratadas, como o hidróxido de cálcio (portlandita) e silicato de cálcio hidratado, presentes nas pastas hidratadas a baixas temperaturas, em fases cristalinas ricas em sílica, ou seja, relação Ca/Si, do C-S-H, inferiores a 2.

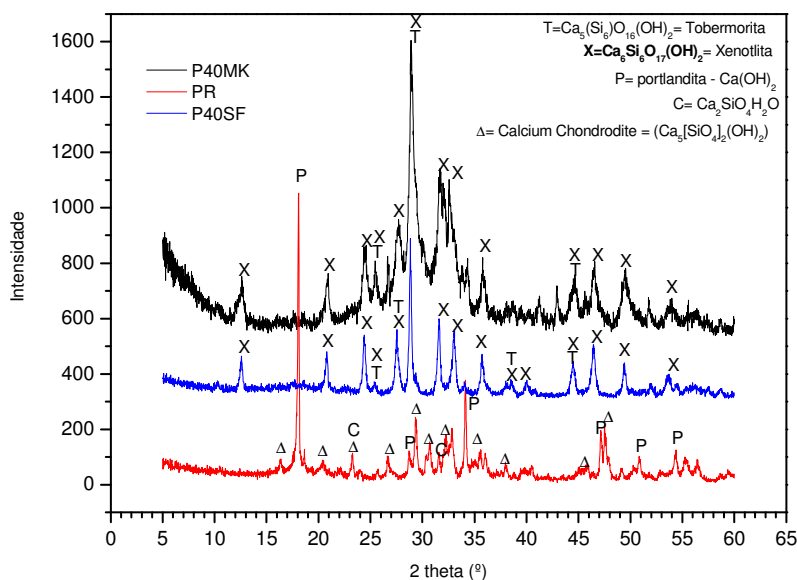


Figura 2. Difratoograma das pastas submetidas a alta temperatura e pressão (280°C e 1000 *psi*).

As fases xenotlita e a tobermorita, encontradas nas pastas com adição de *silica flour* e metacaulinita, são silicatos de cálcio hidratado mais cristalino, formados apenas quando a relação óxido de cálcio/dióxido de silício (CaO/SiO_2) da pasta anidra é da ordem de 1,0, sendo estes produtos hidratados responsáveis pela manutenção das resistências à compressão em níveis elevados.

Conclusões

- A adição de metacaulinita e *silica flour* proporciona uma pequena redução na resistência à compressão da pasta cimentícia, curadas a temperatura de 38°C.
- As adições de *silica flour* e metacaulinita são fundamentais manter a resistência à compressão em níveis aceitáveis, quando as pastas cimentícias são submetidas à temperatura de 280°C.
- A manutenção da resistência das pastas, submetidas à temperatura de 280°C, está relacionada com a conversão das fases hidratadas. As fases xenotlita e a tobermorita, formadas nas pastas com aditivos minerais, são as fases responsáveis pela manutenção destas resistências.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Petrobrás pelo apoio dado para execução deste trabalho.

Referências Bibliográficas

LUKE, K. "Phase studies of pozzolanic stabilized calcium silicate hydrates at 180°C." *Cement and Concrete Research*, 2004: 1725-1732.

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

NELSON, E. B. Well Cementing, Chapter 9. Houston: Dowell Schlumberger Educational Service, 1990, 9_1-9_19.

SMITH, D. K. "Silica flour - Mechanism for improving cementing composition for high-temperature well conditions." Petrol Eng 52, 1980: 43-48.