



## COMPORTAMENTO REOLOGICO E ESTABILIDADE À DECANTAÇÃO DE PASTAS DE CIMENTO CONTENDO POLICARBOXILATO E NAFTALENO APLICADOS EM POÇOS PETROLÍFEROS

Tancredo Dantas<sup>1</sup>; Júlio Cezar de Oliveira Freitas<sup>2</sup>; Marcondes Luiz da Silva Azevedo<sup>2</sup>;  
Fabricio Pereira Feitoza da Silva<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa da Pós Graduação em Ciências e Engenharia de  
Petróleo - [tancredo.dts@hotmail.com](mailto:tancredo.dts@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química - [juliofreitasj@hotmail.com](mailto:juliofreitasj@hotmail.com) ,  
[Marcondes.gp@gmail.com](mailto:Marcondes.gp@gmail.com)

<sup>3</sup> Fundação Norte Riograndense de Pesquisa e Cultura, Universidade Potiguar – [Fabriciopfsilva@gmail.com](mailto:Fabriciopfsilva@gmail.com)

### RESUMO

Na cimentação de poços de petróleo são utilizados materiais tais como cimento Portland, água e aditivos químicos e/ou físicos. Os aditivos tais como, dispersante, controlador de filtrado e retardadores são adicionados com a finalidade de ajustar os parâmetros da pasta para sua aplicação no poço. Os dispersantes são utilizados para reduzir os parâmetros reológicos: viscosidade aparente, o limite de escoamento e a força gel, garantindo a fluidez do sistema. Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades reológicas e a estabilidade, quanto a decantação, de pasta de cimento contendo aditivos dispersantes do tipo policarboxilato (PC) e polinaftaleno sulfonato de sódio (NS). As condições utilizadas para a avaliação dos aditivos foram baseadas em uma simulação de cimentação primária para um poço hipotético de 2000 m de profundidade e gradiente geotérmico de 1,9°F/100ft. Os resultados demonstraram uma grande eficiência dispersiva do policarboxilato. O aditivo mesmo a baixa concentração promoveu alta fluidez da pasta. Porém, a altas concentrações foi verificado, nos teste de estabilidade, o efeito de sedimentação das partículas de cimento. Já o dispersante à base de naftaleno se mostrou eficiente somente a altas concentrações. No entanto, foi observada que a utilização do mesmo mostrou baixa sedimentação comparada ao sistema contendo policarboxilato.

**Palavras chaves:** Cimentação, Dispersante, Policarboxilato, Naftaleno, Reologia, Estabilidade.



## 1. INTRODUÇÃO

Uma das operações mais importantes realizada em um poço de petróleo é a cimentação. Ocorre após o término de cada seção perfurada e visa preencher o espaço anular entre a coluna de revestimento e a formação rochosa do poço. Sua função é promover a vedação entre zonas permeáveis, propiciar suporte mecânico à coluna de revestimento [NELSON, 1990; OLIVEIRA, 2004; VLACHOU, 1997].

Para aplicação de uma pasta de cimento em um poço de petróleo, vários parâmetros físico-químicos devem ser levados em consideração. As temperaturas e pressões dos poços podem acelerar a pega do cimento, causando problemas operacionais durante o seu deslocamento. Os parâmetros reológicos devem ser ajustados para evitar alterações nas pressões de bombeio.

Os aditivos químicos são utilizados para adequar as propriedades da pasta de cimento aos requisitos exigidos pela operação no poço. Diversos tipos de bases químicas são utilizadas para compor um sistema de pasta de cimento. Os dispersantes são utilizados para reduzir as propriedades reológicas das pastas, pois facilitam a mistura, reduzem a fricção e permitem a confecção de pastas com elevada densidade.

Os polinaftalenos sulfonato de sódio (NS), também conhecidos como superplastificantes de segunda geração, permitem redução de até 25% da quantidade de água das misturas [HSU, *et al.*, 1999] quando usados como redutores de água. Os aditivos à base naftaleno apresentam cadeias de tamanho médio de compostos orgânicos que também se ionizam em contato com a água, causando repulsão eletrostática. Segundo HARTMANN [2002], os NS são uma

resina obtida por meio da polimerização do ácido naftaleno sulfônico com formaldeído. As etapas para sua obtenção consistem na sulfonatação, condensação, neutralização e filtração. O monômero que caracteriza sua estrutura molecular está apresentado na figura 1.

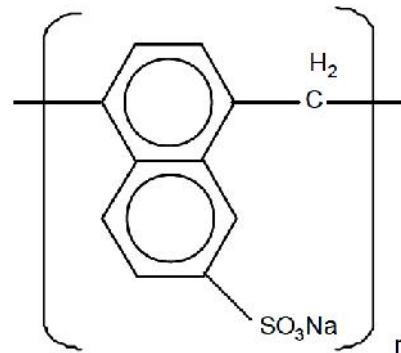


Figura 1: Estrutura molecular de um monômero de naftaleno HARTMANN [2002]

O mecanismo de atuação do NS ocorre através da adsorção pela superfície carregada das partículas de cimento, conferindo-lhe a mesma carga e, provocando repulsão eletrostática e consequente dispersão da mistura [AITCIN, 1998].

Segundo HARTMANN [2002], o policarboxilato mantém a trabalhabilidade do sistema, mesmo reduzindo consideravelmente a porcentagem de água. Isso ocorre devido à elevada repulsão eletrostática, gerada pelo polímero quando adsorvido na superfície do cimento (figura 2).

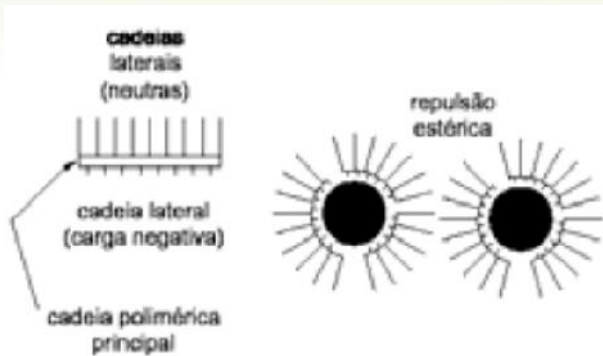


Figura 2: Repulsão estérica conferida pelo polímero policarboxilato [COLLEPARDI et al, 1999].

Os policarboxilatos atuam principalmente por repulsão estérica, pois sua ionização não é suficiente para promover repulsão elétrica considerável. Possuem moléculas mais longas, mais robustas e com ramificações (figura 3) que auxiliam na dispersão das partículas de cimento, ou seja, quanto maior for o tamanho da cadeia, mais fluida é a mistura.

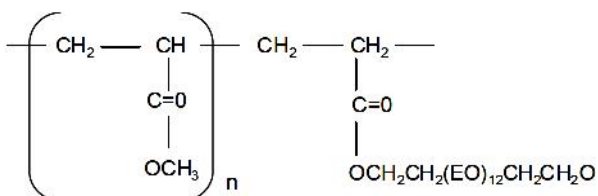


Figura 3: Estrutura molecular de um monômero de um policarboxilato [RAMACHANDRAN, 1998]

## METODOLOGIA

Na avaliação dos dois dispersantes, a saber, policarboxilato (PC) e naftaleno (NS), foram empregados os seguintes materiais: Cimento Portland Classe Especial batelada 120, antiespumante a base de silicone, água destilada e os dispersantes (PC e NS) em concentrações de 0,03; 0,06; 0,09; 0,12; 0,15; 0,18 gpc (galões por pé<sup>3</sup> de

cimento). A pasta tomada como padrão é composta por água destilada, antiespumante e cimento. A densidade 15,6 lb/gal (1,869 g/cm<sup>3</sup>) e o volume 600 cm<sup>3</sup> foram mantidos para todas as pastas. A temperatura de circulação no fundo do poço (BHCT) e a temperatura estática de fundo de poço (BHST) foi 58°C (137°F) e 96°C (205°F), respectivamente. As pastas forma preparadas e ensaiadas de acordo com os procedimentos estabelecidos pela API RP 10B.

O teste de reologia tem como objetivo verificar os parâmetros reológicos das pastas formuladas. As leituras obtidas no viscosímetro rotativo Chandler modelo 3500 foram aplicadas ao modelo de Bingham (Equação 1).

$$\tau = \mu_p \gamma + \tau_L \quad [\text{Eq. 1}]$$

O ensaio de estabilidade tem como objetivo avaliar a sedimentação da pasta de cimento sob temperatura e pressão que simulem as condições estáticas de fundo de poço. Esse ensaio também permite a avaliação do rebaixamento de topo da pasta.

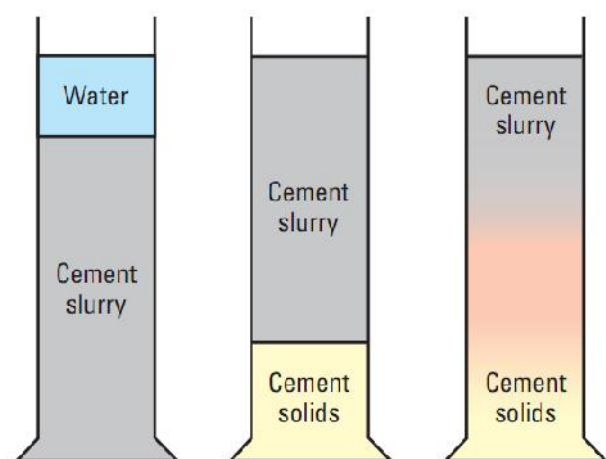


Figura 4: Formação de água livre, sedimentação e segregação [Nelson, 2006].

A Figura 5 apresenta o fluxograma da metodologia que foi adotada para a realização dos ensaios

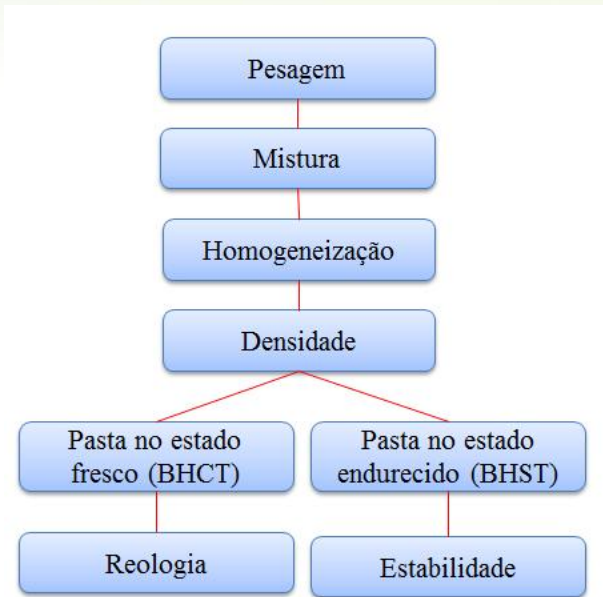


Figura 5: Fluxograma dos ensaios realizados

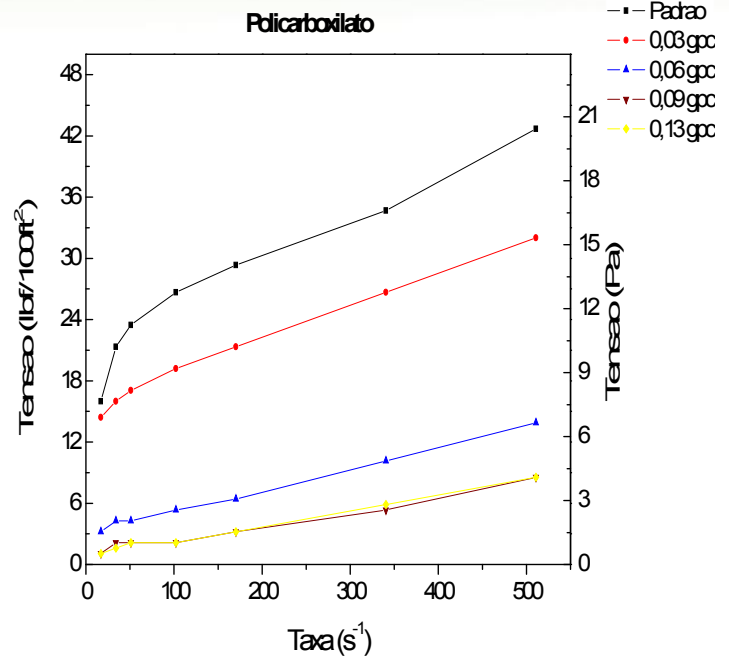


Figura 6: Tensão em função da taxa de cisalhamento para a pasta contendo PC.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Propriedades reológicas

A figura 6 e 7 estão apresentadas as curvas de fluxo das pastas contendo poliacarboxilato e naftaleno, respectivamente. Pode-se perceber que as pastas apresentaram dois modelos matemáticos que descrevem seu comportamento reológico, Bingham e Potência. O modelo de Bingham foi observado para as pastas contendo poliacarboxilato, mesmo em baixas concentrações.

As pastas contendo baixa concentração de naftaleno apresentaram comportamento de um fluido de potência  $a$ , onde índice de comportamento ( $n$ ) apresentou valores entre zero e um ( $0 < n < 1$ ). Porém, foi verificado que acima de 0,12 gpc o comportamento da pasta com NS passou a seguir o modelo de Bingham (figura7).

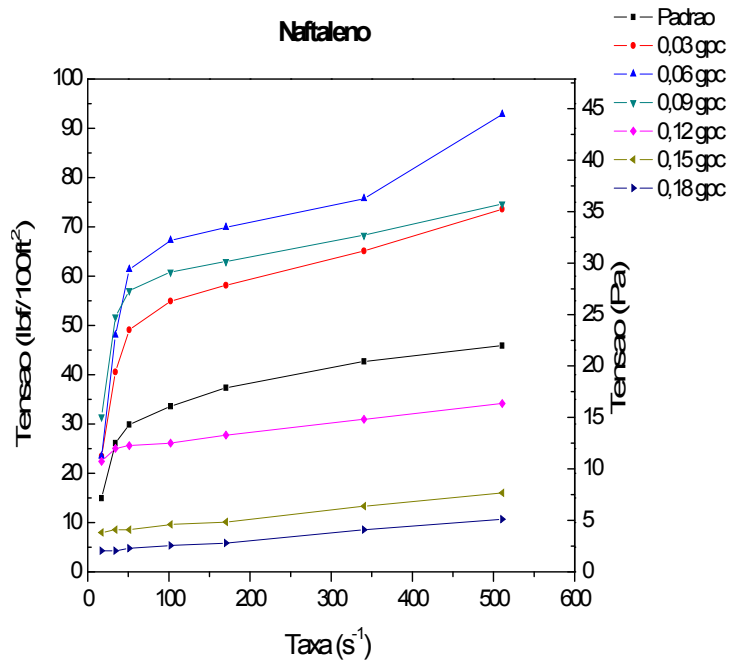


Figura 7: Tensão em função da taxa de

Porém, em concentrações superiores a (0,12gpc), a pasta contendo naftaleno apresentou comportamento de Bingham.



O limite de escoamento (LE) é a tensão mínima aplicada a um sistema para que possa iniciar um escoamento. Na figura 8, estão apresentados os valores do limite de escoamento das pastas com suas respectivas concentrações de dispersante.

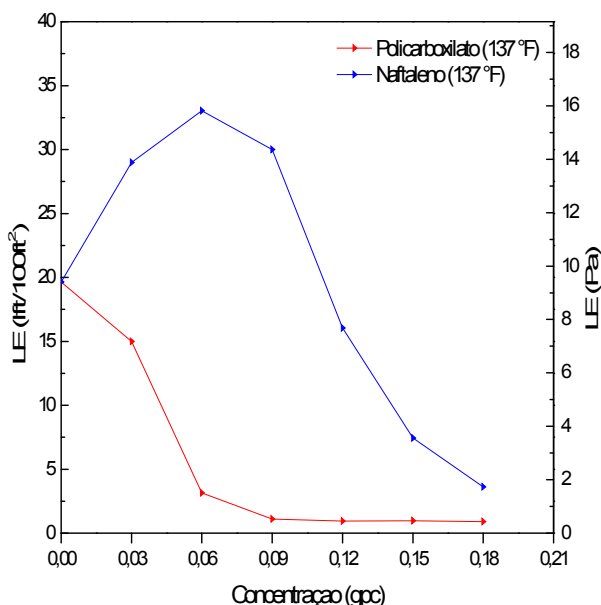


Figura 8: Limite de escoamento do policarboxilato e naftaleno

Foi verificado que na concentração de 0,03gpc ( $4,00 \text{ L/m}^3$ ) de policarboxilato, houve uma pequena redução do limite de escoamento da ordem de 23,63%. Acima dessa concentração pode-se observar uma grande redução de 84,01% quando adicionado 0,06 gpc. Foi verificado que acima de 0,09 gpc ( $12,00 \text{ L/m}^3$ ), não houve redução significativa do LE. Ou seja, a faixa de concentração na qual há uma grande redução do LE, está entre 0,03 e 0,06 gpc. Já as pastas contendo naftaleno, foram observados um comportamento oposto do PC, no qual, a baixas concentração do aditivo houve um aumento do LE comparada a pasta padrão. Seu efeito dispersivo só foi observado em torno de 0,12 gpc.

Os valores de viscosidade plástica (VP) das pastas contendo NS e PC estão representados na figura 9.

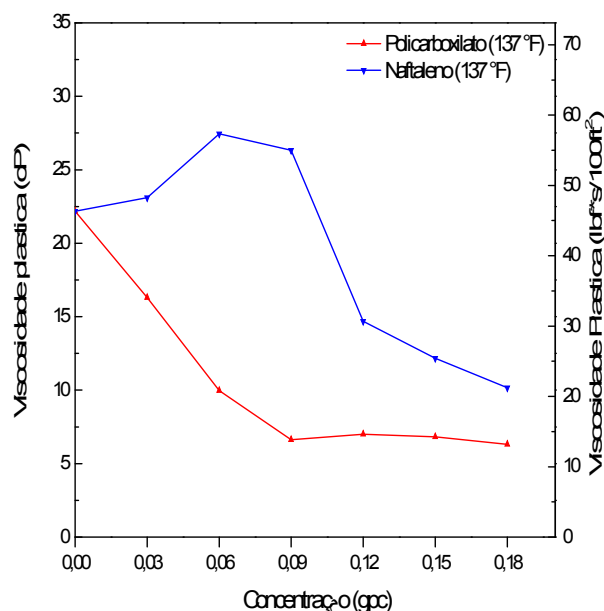


Figura 9: Viscosidade plástica das pastas contendo plastificante policarboxilato e naftaleno a 137°F.

Foi evidenciado que a adição do PC reduziu, consideravelmente, os valores de VP das pastas. Quando adicionado 0,03 gpc a redução da VP foi de 26,51%. Já para as adições na ordem de 0,06 e 0,09 gpc a redução foi de 55,09 e 70,15%, respectivamente. A partir desta concentração a redução foi pouco significativa. Foi verificado que a redução da VP da pasta contendo naftaleno como dispersante foi alcançada a partir da concentração 0,12 gpc ( $16,04 \text{ L/m}^3$ ). Em baixas concentrações o efeito foi o inverso, onde houve um aumento da VP. Segundo NKINAMUBANZI [2000], experimentos mostraram que as propriedades reológicas de certas pastas de cimentos se apresentam mais sensíveis em relação ao tipo e/ou quantidade de superplastificantes no sistema. Como o cimento utilizado para a formulação das pastas foi o mesmo para ambos aditivos, podemos supor que a



quantidade do plastificante esteja influenciando as propriedades reológicas da pasta contendo NS, no qual, em baixas concentrações a pasta pode estar sofrendo o fenômeno de incompatibilidade com o superplastificantes [AITICIN,1993]. Portanto, podemos afirmar que o policarboxilato tem uma maior eficiência no poder dispersivo comparado ao naftaleno. Este fenômeno é explicado pelo mecanismo de ação de cada polímero. O naftaleno atua principalmente por repulsão eletrostática, ou seja, ele é adsorvido na superfície da partícula de cimento conferindo mesma carga para todas, provocando repulsão. O mecanismo de ação do policarboxilato age tanto por repulsão eletrostática quanto por repulsão estérica, produzida pela presença de uma longa cadeia lateral de grupos carboxílico ligada em vários pontos na cadeia do polímero [HARTMANN, 2002].

#### Estabilidade em tubo decantador

O teste de estabilidade em tubo decantador foi realizado para mostra a influencia da adição de grande concentração dos dispersantes PC 0,09gpc ( $12,03L/m^3$ ) e NS 0,12gpc ( $16,04L/m^3$ ) na estabilidade do sistema de pasta.

Tabela 10: Ensaio de estabilidade das pastas PC 0,09gpc ( $12,03L/m^3$ ) e NS 0,12gpc ( $16,04L/m^3$ )

	DDFT(lb/gal)	Rebaixamento (mm)
<b>Padrão</b>	0,1	0
<b>NS</b>	0,2	8,7
<b>PC</b>	0,66	27,6

De acordo com o PROCELAB (2010), se a diferença entre a densidade de fundo e do topo for maior que 0,5 lb/gal e/ou o rebaixamento do topo for maior

que 5 mm, a pasta é dita instável e deve ser reformulada. Foi observado elevada decantação da pasta contendo PC. Sua diferença de densidade topo/fundo (DDFT) e seu rebaixamento foram superiores aos valores mínimos requeridos para um sistema estável. A pasta contendo NS 0,12gpc ( $16,04L/m^3$ ), mostrou-se ser mais estável, mesmo contendo concentração superior a do PC 0,09 gpc ( $12,03L/m^3$ ), (Figura 11).



Figura 11: Rebaixamento de topo

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos podemos concluir que:

- O dispersante de base química policarboxilato reduz de forma significativa as propriedades reológicas.
- A altas concentrações do PC geram instabilidade na pasta, vindo formar grande rebaixamento de topo e alta diferença de densidade fundo e topo.



- O naftaleno não foi eficiente para promover reduções dos parâmetros das pastas até a concentração em torno de 0,09 gpc. O efeito dispersivo só foi observado a partir de 0,12 gpc do aditivo.
- A estabilidade da pasta contendo NS mostrou ser mais estável comparado ao sistema contendo PC. Porém, o rebaixamento de topo foi superior ao permitido pela norma.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo (PPGCEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) pelo suporte recebido para execução do presente trabalho.

Ao NTCPP (Núcleo Tecnológico em Cimentação de Poços de Petróleo) e a equipe LABCIM pelo apoio na execução do trabalho, disponibilidade do espaço físico e materiais necessários para os experimentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P.C., NEVILLE, A. High-performance concrete demystified. **Concrete International**, v. 15, n.1, p. 21-26, 1993

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Spec 10: API SPEC 10B – **Recommended Practice for testing Well Cements**, 2000(b).

COLLEPARDI, S.; et al. **Mechanisms of Action of Different Superplasticizers for High Performance Concrete.** Gramado In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF

CONCRETE STRUCTURES. 2. Proceedings. p. 503-523, 1999.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland.** 2002. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HSU, K-C., et al. **Effect of addition time of a superplasticizer on cement adsorption and on concrete workability.** *Cement and Concrete Composites* v.21. 1999.

NELSON, E.B. **Well Cementing.** Houston: Schlumberger Educational Services, 1990.

NELSON, E.B. **Well Cementing.** Houston: Schlumberger Educational Services, 2006.

NKINAMUBANZI, P.C. **Some key factor that control the compatibility between naphthalene-based superplasticizers and ordinary Portland cements.** ACI International Conference on Superplasticizers and other Chemical Admixtures in Concrete. Paris, 2000.

OLIVEIRA, V. C. C. **Análise de segurança em operações marítimas de exploração e produção de petróleo,** 2004. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia do Petróleo. Universidade de Campinas.

Procedimentos e Métodos de Laboratório Destinados à Cimentação de Poços Petrolíferos (PROCELAB, 2010).

RAMACHANDRAN, V. S, FELDMAN, R. F. Cement science. In: RAMACHANDRAN, V. S. **Concrete admixture handbook: properties**



**science and technology.** Canada: Noyes  
Publication, 1998.

VLACHOU, P. V.; PIAU, J.M. ***The influence of the shear field on the microstructural and chemical evolution of na oil well cement slurry and its rheometric impact.*** Cement and Concrete Research, v. 27, p.869, 1997.