



ETDE-RR - - 0094

# FLUIDOS À BASE DE ÓLEO SEM TENSOATIVOS

## OIL BASE FLUIDS WITHOUT TENSOACTIVE ADDITIVES

José Carlos V. Machado<sup>(1)</sup> e Átila Fernando L. Aragão<sup>(1)</sup>

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho é definir uma composição ideal de fluidos à base de óleo sem tensoativos, uma vez que estes aditivos podem provocar danos à formação produtora durante as fases de perfuração ou completação de poços. Investigou-se as propriedades reológicas, filtrantes e de separação das fases de sistemas compostos de óleo diesel, argila organofílica e um agente polar (água ou álcool etílico). Para tanto, foram empregados o viscosímetro rotativo digital Baroid 286, células de filtração padronizadas pelo American Petroleum Institute (API) para temperaturas de 25°C a 149°C e pressões de  $6,89 \times 10^5$  Pa (100 psig) a  $3,44 \times 10^6$  Pa (500 psig), e o método de sedimentação, nas determinações dos parâmetros reológicos, filtrantes e de separação de fases, respectivamente. Os resultados mostraram que a composição: óleo diesel - 94% v/v, solução saturada de NaCl - 6% v/v e bentona - 17,1 a 22,8 Kg/m<sup>3</sup> (6 a 8 lb/bbl) é ideal para atender às propriedades requeridas nas operações de perfuração e completação de poços para baixas densidades, isto é, de 0,84 a 1,02 (6,9 a 8,5 lb/gal). Para obter densidades no intervalo de 1,02 a 1,14 (8,5 a 9,5 lb/gal) o sistema deve ser adensado com calcita (CaCO<sub>3</sub>) e a composição do fluido-base deve ser: óleo diesel - 94 a 98% v/v, solução saturada de NaCl - 2 a 6% v/v e bentona 17,1 a 22,8 Kg/m<sup>3</sup> (6 a 8 lb/bbl). O custo médio por barril dos sistemas investigados é de mesma ordem de grandeza dos fluidos de base óleo convencionais, isto é, com tensoativos, ou seja, cerca de US\$ 50 a US\$ 60,00.

**ABSTRACT** – The goal of this paper is to define an ideal oil base fluid composition without tensioactive additives, since these may cause damage to producing formation during drilling or well completion. We investigated the rheological, filtrating and phase separation properties of the systems composed of diesel oil, organophilic clay and a polar agent (water or ethyl alcohol). In order to do that, we used the 286 Baroid digital rotating viscometer, filtrating cells standardized according to the American Petroleum Institute (API) for temperatures of 25°C to 149°C and pressures of  $6,89 \times 10^5$  Pa (100 psig) to  $3,44 \times 10^6$  (500 psig), and the settling method, according to the determinations of respectively rheological, filtrating and phase separation parameters. Results proved that the composition: diesel oil - 94% v/v, NaCl saturated solution - 6% v/v and bentone - 17,1 to 22,8 Kg/m<sup>3</sup> (6 to 8 lb/bbl), is ideal to meet the properties required for drilling and well completion operations for low densities, that is 0,84 to 1,02 (6,9 to 8,5 lb/gal). In order to obtain densities in the interval of 1,02 to 1,14 (8,5 to 9,5 lb/gal) the system should be condensed with calcite (CaCO<sub>3</sub>) and the base fluid composition should be: diesel oil - 94 to 98% v/v, NaCl saturated solution - 2 to 6% v/v and bentone 17,1 to 22,8 Kg/m<sup>3</sup> (6 to 8 lb/bbl). The average cost per barrel for the systems studied here is of the same order of conventional oil base fluids (with tensioactive additives): about US\$ 50 to US\$ 60,00.

### 1 - INTRODUÇÃO

A crescente necessidade da perfuração de poços cada vez mais profundos, onde se verificam maiores temperaturas de fundo e corrosividade, assim como a perfuração de folhelhos sensíveis, altamente hidratáveis, tem aumentado a aplicação dos fluidos de perfuração à base óleo. Entretanto, não obstante às inúmeras vantagens inerentes aos sistemas à base óleo, alguns pesquisadores tem atentado para os possíveis danos que estes fluidos podem causar aos reservatórios produtores. O sistema investigado neste trabalho visa, sobretudo, otimizar fluidos à base óleo, ressaltando a importância da qualidade produtiva dos poços.

Os mecanismos de dano à formação induzidos pelos fluidos de perfuração à base óleo, segundo Branco e Bonet<sup>(1)</sup>, diferem dos provocados pelos fluidos à base água, em função das diferentes características dos filtrados destes sistemas. Nos fluidos à base água os mecanismos preponderantes são a interação química com os argilominerais da rocha e o bloqueio por água, com consequente redução da permeabilidade efetiva óleo/gás, enquanto que, nos fluidos à base óleo a inversão da molhabilidade da rocha e a emulsificação do seu filtrado com fluidos aquosos, nativos ou não, são os principais mecanismos.

Acredita-se que a alteração da molha-

2. Seminar on drilling fluids  
Rio de Janeiro, RJ (Brazil)  
4-7 Dec 1989

1 - Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos do Norte e Nordeste.

bilidade da rocha-reservatório é o principal mecanismo responsável pelo dano causado por invasão do filtrado de fluidos à base de óleo. Alguns trabalhos (1, 2, 3) tem constatado a influência direta da mobilidade na permeabilidade efetiva ao óleo.

Os tensoativos, geralmente misturas complexas de ácidos graxos, adicionados aos sistemas à base óleo, com o objetivo de estabilizar a emulsão formada e/ou tornar os sólidos perfurados preferencialmente molháveis ao óleo, são os responsáveis diretos por este mecanismo de dano. Embora o caráter iônico do tensoativo e as características da formação definam a amplitude do dano, um fluido livre de tensoativos evitará o dano pelo citado mecanismo.

Amott(2), Thomas(3) e Bobek(4) concluíram que os fluidos à base óleo e dispersões em óleo diesel contendo aditivos emulsificantes e controladores de filtrado alteram a molhabilidade de amostras do arenito Berea, detectada através da comparação das relações entre permeabilidades efetivas ao óleo e à água ( $K_o/K_w$ ) antes e após a injeção desses fluidos, e das reduções das permeabilidades ao óleo. O óleo diesel puro, segundo estes pesquisadores, não induziu alteração na molhabilidade.

A emulsificação do filtrado de fluidos à base óleo com fluidos aquosos existentes no meio poroso está diretamente relacionada à presença dos tensoativos no filtrado desses fluidos e o grau de agitação no interior da rocha. Segundo McKinney(3) e Good(6), esse mecanismo pode ser drástico se a emulsificação no meio poroso ocorrer entre o filtrado do fluido à base óleo e os fluidos aquosos usados na cimentação, completação e estimulação de poços. Novamente, constata-se que a presença de tensoativos, emulsificantes e/ou inversores de mobilidade nos fluidos à base óleo é o principal responsável pelo dano à formação, causado pela invasão do filtrado desses fluidos.

Com o objetivo de minimizar o dano à formação pelos mecanismos antes descritos, isto é, alteração da molhabilidade e formação de emulsão, investigou-se o comportamento de um sistema à base óleo livre de tensoativos a partir de dispersões de complexos orgânicos argilosos em óleo diesel.

A pesquisa de complexos orgânicos ar-

gilosos capazes de conferir propriedades viscosas e gelificantes a líquidos apolares ou solventes orgânicos, de modo semelhante ao que ocorre com a bentonita dispersa em água, tem contribuído para o desenvolvimento tecnológico dos fluidos de perfuração à base óleo.

Esses compostos argilosos, denominados geralmente por argila organofílica, são produzidos tratando-se certos argilominerais, notadamente hidrofílicos, com determinados sais orgânicos. Inúmeros trabalhos foram desenvolvidos visando a obtenção de argilas organofílicas de alta qualidade a partir de diferentes materiais. Hauser(7) descobriu que a argila hidrofílica pode ser convertida para a condição organofílica pela reação com sais orgânicos de amônio. Jordan(8) estudou a reação da bentonita com uma série de sais de amina alifática e verificou o desenvolvimento das propriedades reológicas e gelificantes em líquidos orgânicos, quando os sais possuíam 12 ou mais átomos de carbono em sua cadeia. Neste caso, os complexos organo-argilosos foram formados pela substituição dos cátions trocáveis da bentonita pelos grupos catiônicos da amina e pela adsorção da cadeia carbônica à superfície laminar da argila.

Os resultados das pesquisas desenvolvidas demonstraram que, embora a argila organofílica possa ser obtida com diferentes materiais, a montmorilonita de lítio ou Hectorita(9) (descoberta em Héctor, Califórnia, USA) e os sais orgânicos quaternários de amônio com 12 átomos de carbono produzem um complexo organo-argiloso que altera significativamente os parâmetros reológicos e gelificantes, quando este é disperso em líquidos orgânicos. Segundo Jordan, a alteração destas propriedades é reduzida em líquidos de natureza apolar, tais como hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, aumentando com a constante dielétrica do líquido numa correlação não perfeita. Os líquidos mais efetivos são aqueles que resumem características orgânicas e polaridade. Quando a superfície do complexo organo-argiloso não está completamente "coberta" com o sal orgânico, pode ocorrer a adsorção de líquidos orgânicos polares nas regiões "encobertas", aumentando a solvatação e conseqüentemente a dispersão da micela no meio dispersante.

A tecnologia de preparo de argilas organofílicas encontra-se em estado avançado, envolvendo diferentes processos e

TABELA I

COMPOSIÇÃO DOS DIFERENTES MEIOS DISPERSANTES UTILIZADOS NO PREPARO DAS DISPERSÕES DE BENTONIUUM 34-D

Componentes	Meio Dispersante			
	1	2	3	4
Óleo Diesel, % vol.	100	90-95	90-95	90-95
Água Pura, % vol.	-	5-10	-	-
Solução Saturada c/NaCl, % vol.	-	-	5-10	-
Álcool Etilico, % vol.	-	-	-	5-10

reagentes. Entretanto, a caracterização das dispersões geradas por estes materiais, usadas como fluido na perfuração rotativa de poços em particular, carecem de maior investigação e análise. O amplo campo de aplicação dessas argilas, notadamente nos fluidos à base óleo, torna imprescindível a análise do comportamento dessas dispersões.

2 - DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

A argila organofílica (bentonium 34-D) e o óleo diesel selecionados para os testes de laboratório foram coletados por amostragem na estação de preparo de fluidos de perfuração à base óleo do Distrito de Perfuração da Bahia - DPBA.

Para investigar o comportamento das argilas organofílicas em meios polares foram preparadas dispersões em diferentes misturas líquidas, conforme resumo na tabela I, variando-se a concentração desta argila organofílica desde 5,71 kg/m<sup>3</sup> (2 lb/bbl) até 71,4 kg/m<sup>3</sup> (25 lb/bbl). Cada dispersão foi preparada no misturador Hamilton Beack, com agitação de 1 885 rd/s (18 000 rpm) no eixo do agitador por 900 s (15 min) e envelhecida em estufa rotativa por 5,76 x 10<sup>4</sup>s (16 h) à temperatura de 366,3 K (93,3°C).

Para a determinação dos parâmetros reológicos e gelificantes de cada sistema foi utilizado o viscosímetro rotativo de cilindros co-axiais Baroid, modelo 286, e procedeu-se de acordo com métodos padronizados empregados na indústria de petróleo, à temperatura de 313 K (40°C).

As características de filtração dos sis-

## **DISCLAIMER**

**Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.**



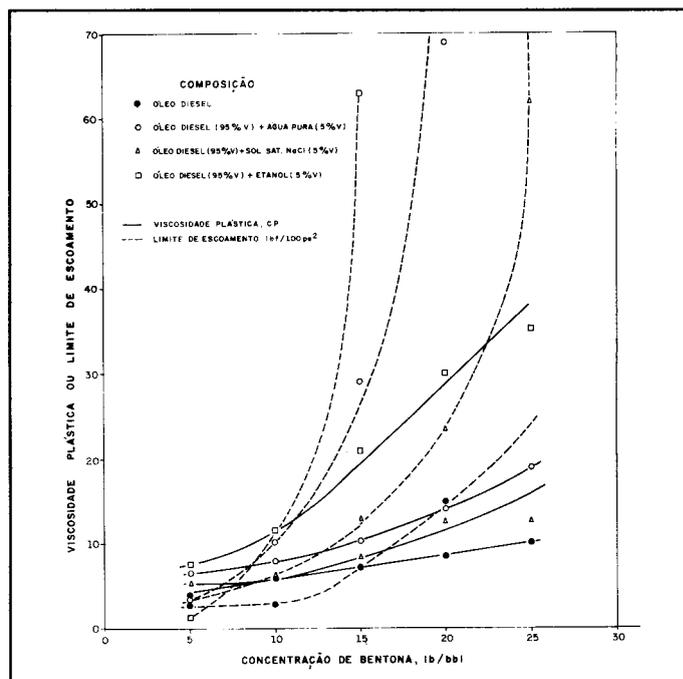
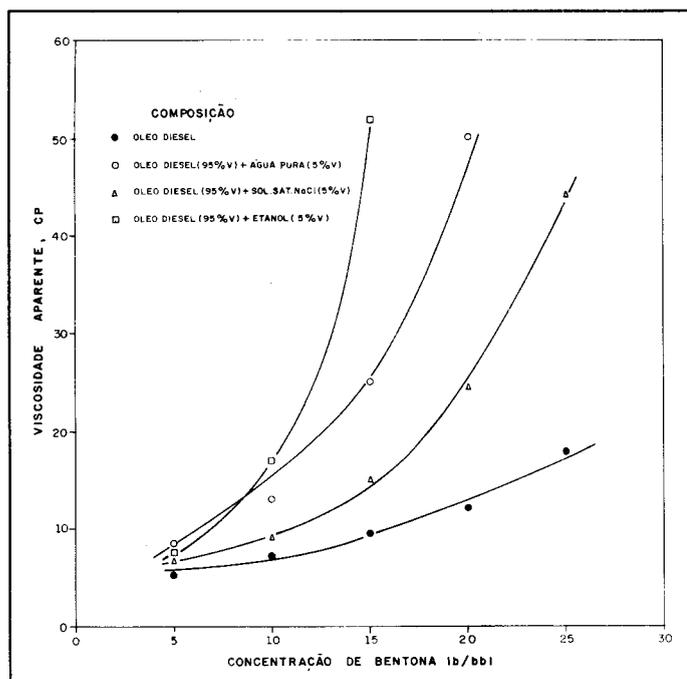


Fig. 1 - Viscosidade aparente das dispersões como função da concentração da argila organofílica bentonium 34-D, em vários meios dispersantes.

Fig. 2 - Efeito da concentração de bentonium 34-D na viscosidade plástica e limite de escoamento do modelo de Bingham de várias dispersões.

temas foram avaliadas pelos resultados de dois testes de filtração em condições diferentes de temperatura e pressão. No primeiro, cada amostra foi filtrada através de um papel de filtro Whatman nº 5, em célula padronizada pelo Instituto Americano de Petróleo (API), com área de  $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  (7,0 pol<sup>2</sup>), sob pressão de  $6,89 \times 10^5 \text{ Pa}$  (100 psig) e temperatura de 298 K (25°C), durante 1 800s (30 min). No segundo, cada amostra foi filtrada através de papel de filtro similar ao anterior, em célula padronizada API com área de  $2,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  (3,5 pol<sup>2</sup>), sob pressão de  $3,44 \times 10^6 \text{ Pa}$  (500 psig), sendo  $4,13 \times 10^6 \text{ Pa}$  (600 psig) aplicado na parte superior da célula e  $6,89 \times 10^5 \text{ Pa}$  (100 psig) aplicado na parte inferior da mesma à temperatura de 422 K (149°C), durante 1 800s (30 min).

Invetigou-se a estabilidade dos sistemas quanto à separação de fases por determinação da percentagem volumétrica de fase óleo separada, após  $8,64 \times 10^4 \text{ s}$  (24 h) de repouso. Para isto, mediu-se o volume de óleo sobrenadante numa proveta graduada contendo  $10^{-4} \text{ m}^3$  (100 ml) de amostra.

Foram investigados ainda os efeitos dos contaminantes argila, cimento, sal e anidrita encontrados durante a perfuração de poços e de dois adensantes, calcita e barita, sobre as propriedades

dos sistemas.

### 3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados permitiram verificar que o meio dispersante influencia nas características das dispersões de argila organofílica. Observou-se, de imediato, que a presença e a natureza de uma substância polar como componente do sistema altera significativamente a reologia e gelificação dessas dispersões. As figuras 1 e 2 ilustram este fato.

Conforme os valores das propriedades testadas, verificou-se que as dispersões de argila organofílica em óleo diesel apresentam valores crescentes das propriedades reológicas e gelificantes e decrescentes para o índice de comportamento de fluxo, com a concentração. As alterações dessas propriedades se intensificam a partir de uma concentração da ordem de  $57,1 \text{ kg/m}^3$  (20 lb/bbl). A gelificação dos sistemas foi classificada adotando-se o seguinte critério:

- Gi <  $\theta_3 + 5$ , lenta
- Gi >  $\theta_3 + 5$ , rápida
- Gf - Gi > 5, progressiva
- Gf - Gi < 5, não progressiva

Observou-se também uma elevada capacidade de retenção da fase dispersante pela argila organofílica dispersa em óleo diesel, desde o ponto de con-

centração igual a  $14,3 \text{ kg/m}^3$  (5 lb/bbl), sendo que esta propriedade não variou de forma significativa para concentrações superiores a  $14,3 \text{ kg/m}^3$  (5 lb/bbl) em baixa pressão e temperatura, isto é,  $6,89 \times 10^5 \text{ Pa}$  (100 psig) e 298 K (25°C), conforme figura 6. Já para valores mais altos de pressão e temperatura, isto é,  $3,44 \times 10^6 \text{ Pa}$  (500 psig) e 422 K (149°C), notou-se uma maior variação do volume acumulado de filtrado, com o acréscimo de concentração da argila organofílica para concentrações inferiores a  $42,9 \text{ kg/m}^3$  (15 lb/bbl). A partir desta concentração o filtrado acumulado ficou praticamente constante para dispersões de bentonita em óleo diesel.

Em relação à separação das fases, a estabilidade dos sistemas aumentou com a concentração de argila organofílica. A partir da concentração  $71,5 \text{ kg/m}^3$  (25 lb/bbl), não se verificou mais separação das fases em nenhum dos sistemas. Observou-se ainda que a partir de  $14,3 \text{ kg/m}^3$  (5 lb/bbl) a separação das fases decresce vertiginosamente, conforme figura 5.

O efeito do envelhecimento em estufa rotativa a 422 K (149°C) por  $5,76 \times 10^4 \text{ s}$  (16 h) sobre todas as propriedades testadas das dispersões de argila organofílica mostrou-se significativo a partir da concentração de  $42,9 \text{ kg/m}^3$  (15 lb/bbl).

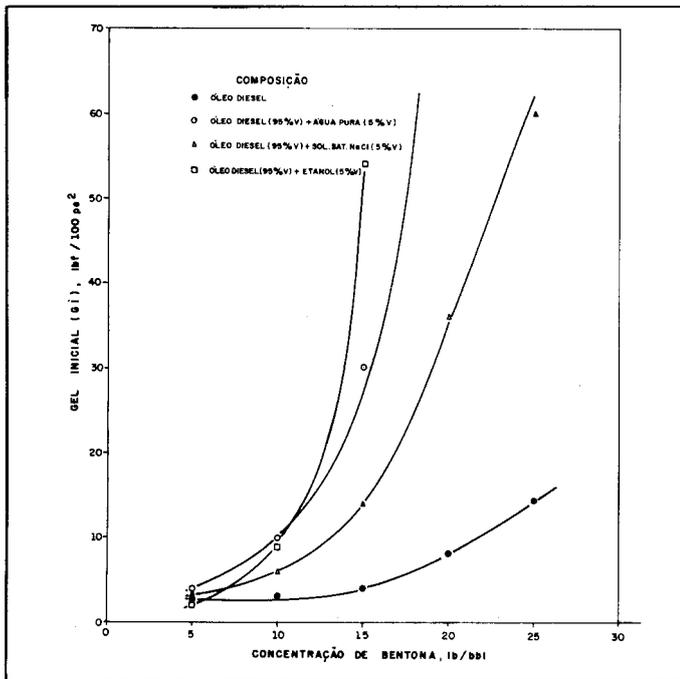


Fig. 3 - Variação da força gel inicial com a concentração da argila organofílica bentonium 34-D em vários meios dispersantes.

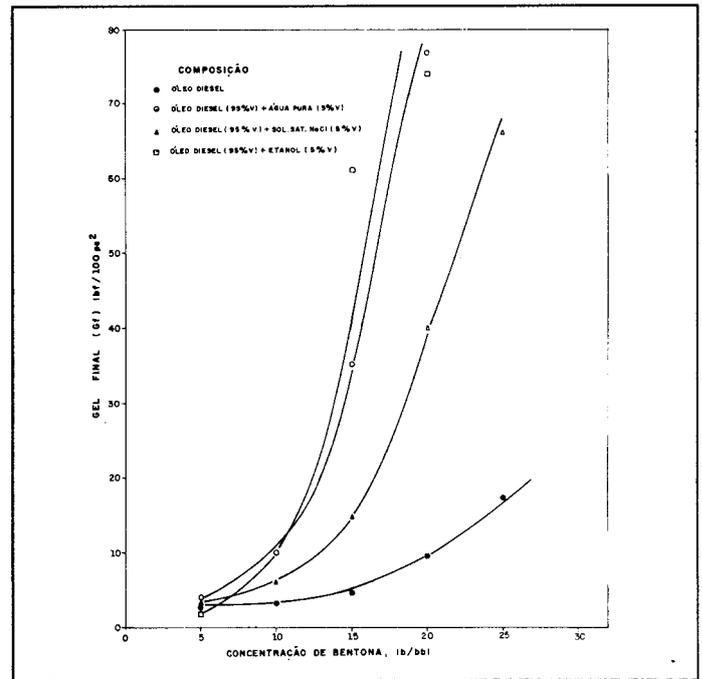


Fig. 4 - Variação da força gel final com a concentração da argila organofílica bentonium 34-D em vários meios dispersantes.

Uma análise similar à descrita anteriormente foi feita para os sistemas, contendo 5% (v/v) de água pura ou 5% (v/v) de solução saturada em cloreto de sódio (NaCl). Para os sistemas com água pura houve acréscimo acentuado das propriedades reológicas e gelificantes e decréscimo do índice de comportamento de fluxo em relação às dispersões em óleo diesel. Nestes sistemas podemos caracterizar a gelificação em rápida e progressiva para concentrações de argila organofílica superiores a 57,2 kg/m<sup>3</sup> (20 lb/bbl). Notou-se também que a capacidade de retenção de fase líquida aumentou com a presença da água na fase dispersante. Observe as figuras 6 e 7. Para estas dispersões a separação das fases foi reduzida em relação às dispersões em óleo diesel. Para os sistemas contendo solução saturada em cloreto de sódio (NaCl) verificou-se que as variações das propriedades ensaiadas foram semelhantes, embora em menor intensidade do que as variações observadas para os sistemas contendo água pura, com exceção da capacidade de retenção de fase líquida, que aumentou para o sistema contendo solução saturada.

O efeito de uma substância orgânica polar sobre as propriedades reológicas e gelificantes de dispersões de argila organofílica pode ser analisado pelos resultados das figuras. 1, 2, 3 e 4. A pre-

sença do álcool etílico (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) como componente dessas dispersões aumenta os parâmetros reológicos e gelificantes.

Os resultados obtidos com o viscosímetro rotativo de cilindros co-axiais foram tratados numericamente através de um estudo de correlação, com o propósito de se verificar a aplicabilidade dos modelos de Bingham e de Oswald de Waale ao comportamento reológico dos fluidos testados. Para tanto, foram consideradas as expressões matemáticas dos citados modelos, acrescentando-se ao modelo de Oswald um termo relativo ao limite de escoamento. Os pontos experimentais foram correlacionados no intervalo de taxa de cisalhamento de 5,11 s<sup>-1</sup> a 1.022 s<sup>-1</sup> (3 a 600 rpm), considerando as seguintes equações:

$$\tau = \mu_p \dot{\gamma} + \tau_L \quad (1)$$

$$\tau = k\dot{\gamma}^n + \tau_0 \quad (2)$$

O método utilizado para o ajuste dos dados experimentais foi o método numérico dos "mínimos quadrados". Foram determinados os parâmetros da equação, o coeficiente de correlação e erro médio ao quadrado. Um programa de computação foi elaborado em linguagem FORTRAN para efetuar os cálculos.

A análise mostrou que os resultados ex-

perimentais se correlacionam melhor com o modelo de Potência modificado do que com o modelo de Bingham. Esta melhor correlação se intensifica à medida em que se introduz uma substância polar como componente de dispersão.

Considerando os resultados anteriores, o trabalho foi dirigido no sentido de investigar outros sistemas contendo menores concentrações, 5,71 a 34,26 kg/m<sup>3</sup> (2-12 lb/bbl) de argila organofílica, posto que os valores das propriedades obtidas para sistemas com elevadas concentrações, isto é, superiores a 34,26 kg/m<sup>3</sup> (12 lb/bbl), não representam a média dos valores das propriedades características de fluidos à base óleo, usualmente empregados na perfuração de poços. Investigou-se ainda o efeito do teor de substâncias polares, água pura, solução saturada em cloreto de sódio e etanol nas características desses sistemas.

Observou-se que o comportamento das dispersões de argila organofílica em óleo diesel com concentrações inferiores a 22,84 kg/m<sup>3</sup> (8 lb/bbl) é similar àquele para dispersões contendo concentrações mais elevadas, isto é, superiores a 28,55 kg/m<sup>3</sup> (10 lb/bbl) dessa argila, embora os valores numéricos de cada propriedade estejam diretamente relacionados com a concentração em questão. A

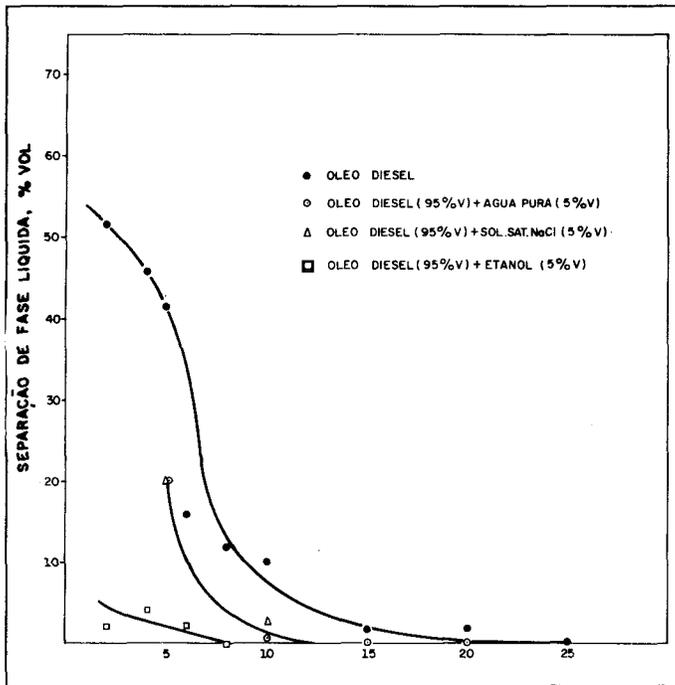


Fig. 5 - Separação da fase dispersante (óleo) versus a concentração de bentona, após 24 h, dos sistemas em repouso.

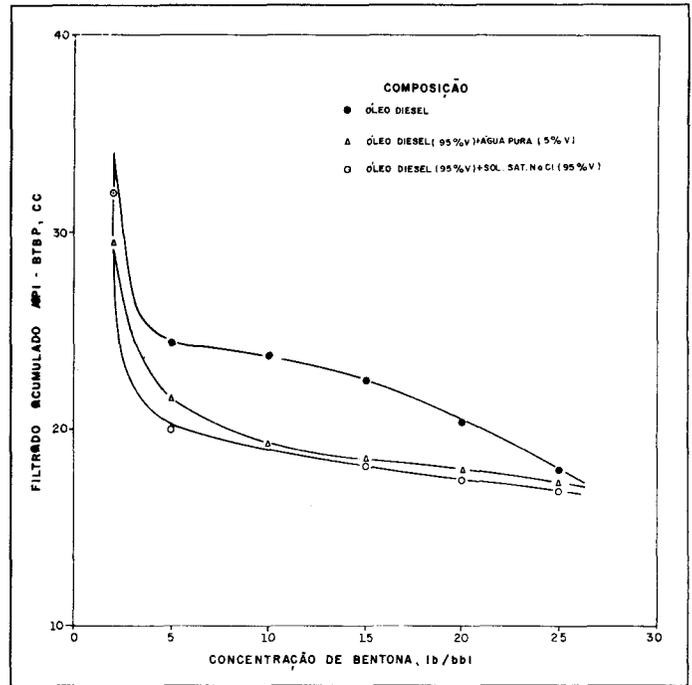


Fig. 6 - Efeito da concentração da argila organofílica bentonitum 34-D sobre o volume de filtrado acumulado, segundo padronização API, à temperatura de 25°C e pressão 100 psi, em vários meios dispersantes.

propriedade mais influenciada pelo teor de fase aquosa na dispersão foi a capacidade de retenção de fase líquida, que aumentou com o acréscimo deste teor.

Analisando-se o efeito das substâncias polares na faixa de concentração de 6 a 8% (v/v) em dispersões de bentona em óleo diesel não houve variações significativas nas propriedades reológicas, gelificantes e filtrantes com o acréscimo do teor dessas substâncias. Entretanto, pode-se ressaltar que o efeito do etanol sobre as propriedades das dispersões dessa argila em óleo diesel se intensifica em sistemas de concentração superior a 42,83 kg/m<sup>3</sup> (15,0 lb/bbl).

Levando-se em consideração a concentração mínima de argila organofílica necessária para conferir às dispersões testadas valores médios usuais de propriedades de fluidos à base óleo sem densificantes, freqüentemente usados nos campos de perfuração, selecionou-se o sistema com composição abaixo, com o objetivo de investigar os efeitos dos contaminantes comuns de perfuração, isto é, argila, cimento, sal e anidrita.

Composição do fluido-base sem tensoativo:

Óleo Diesel 94% (v/v)

Solução Saturada com NaCl ... 6% v/v  
Bentonita 6 lb/bbl

Observou-se que o sistema em questão, quanto à contaminação por sólidos ativos, simulada neste trabalho pela adição de bentonita ativada, apresentaram valores crescentes das propriedades reológicas e gelificantes e decrescentes para o índice de comportamento de fluxo com a concentração. Embora a variação dos parâmetros reológicos e gelificantes sejam evidentes, constatou-se que até concentrações da ordem de 228,4 kg/m<sup>3</sup> (80 lb/bbl) de bentonita ativada, estas propriedades situam-se dentro de intervalos médios usuais dos fluidos freqüentemente usados na perfuração de poços. A capacidade de retenção de fase dispersante do sistema diminuiu sensivelmente com a concentração da bentonita ativada, principalmente quando avaliada a elevada temperatura, 422 K (149°C), e elevada pressão 3,44 x 10<sup>6</sup> Pa (500 psig). Em relação à separação das fases, a estabilidade dos sistemas também diminuiu com a concentração do contaminante, em valores inferiores a 3% (v/v) de fase óleo separada, que pode se considerar tolerável.

Uma análise similar à descrita anteriormente foi feita para os sistemas contaminados com cimento, gesso e cloreto

de sódio. Para os sistemas contaminados com cimento houve pequena variação dos parâmetros reológicos e diminuição das propriedades gelificantes com a concentração. Houve pequena redução na capacidade de retenção da fase dispersante e da estabilidade dos sistemas quanto à separação de fase. Para os sistemas contaminados com cloreto de sódio e gesso houve acréscimo das propriedades reológicas e gelificantes com a concentração. Houve pequeno aumento na capacidade de retenção da fase dispersante e redução da estabilidade dos sistemas quanto à separação de fase.

Convém ressaltar que as concentrações definidas para os contaminantes gesso e cloreto de sódio foram limitadas a 171,3 kg/m<sup>3</sup> (60 lb/bbl) em função de se verificar interferências nas determinações das propriedades reológicas e gelificantes, devido ao bloqueio do espaço anular do viscosímetro rotativo de cilindros coaxiais por cristais desses contaminantes para concentrações superiores a esta.

Para investigação dos sistemas densificados selecionou-se um fluido-base com a composição abaixo, observando-se os valores de suas propriedades e limitando o teor de fase aquosa ao mínimo, visando aumentar o valor máximo

TABELA II

PROPRIEDADES REOLÓGICAS, GELIFICANTES E FILTRANTES PARA DISPERSÕES DE BENTONÍUM 34-D EM SISTEMAS COM 98%V DE ÓLEO DIESEL E 2%V DE SOLUÇÃO SATURADA COM NaCl, CONTENDO 17,2 kg/m<sup>3</sup> (6 lb/bbl), ADENSADAS COM CALCITA, TESTADAS APÓS ENVELHECIMENTO DE 5,76 x 10<sup>4</sup>s (16 H) EM ESTUFA ROTATIVA A 380,5 K (200°F)

Concentração de Calcita lb/bbl	Propriedades											
	$\mu_a$ (cp)	$\mu_p$ (cp)	$\tau_L$ (lbf/100 ps <sup>2</sup> )	n	K (lbf.s <sup>n</sup> /100 ps <sup>2</sup> )	$\Theta_3$ (Grau)	$G_1$ (lbf/100 ps <sup>2</sup> )	$G_2$ (lbf/100 ps <sup>2</sup> )	$\rho$ (lb/gal)	$Q_{STBP}$ (cc)	$Q_{ATAP}$ (cc)	Fase Óleo** (% vol.)
0,0	9,25	7,5	3,5	0,75	0,10	2,0	3,0	5,0	6,80	12,0	39,0	4,0
140,0	20,25	14,0	12,5	0,61	0,59	6,0	8,0	11,0	9,00	30,0	169,0	12,0
154,0	34,0	23,5	21,0	0,61	0,99	16,0	16,0	18,0	9,50	28,6	152,0	8,5
242,0	48,0	29,0	38,0	0,52	2,61	36,5	38,0	41,0	10,00	29,4	166,0	3,5
341,0	75,5	35,0	81,0	0,38	10,85	84,0	84,0	86,0	11,00	31,0	159,0	0,0

\* Veja definição de cada propriedade no item nomenclatura, ao final do trabalho.

\*\* A separação da fase óleo foi registrada após 8,64 x 10<sup>4</sup> (24 h) de repouso do sistema à temperatura e pressão ambientes.

de massa específica a ser atingida.

Composição do fluido-base para densificação:

Óleo Diesel 98% (v/v)  
Solução Saturada com NaCl ... 2% v/v  
Bentona 6 lb/bbl

A tabela II fornece resultados obtidos para os sistemas adensados com calcita. Observou-se uma elevação dos parâmetros reológicos e gelificantes e diminuição do índice de comportamento de fluxo, com a concentração de calcita. Os valores dos parâmetros reológicos e

gelificantes mantiveram-se dentro de limites médios usuais de propriedades de fluidos à base óleo, com densificante até a concentração de 439,7 kg/m<sup>3</sup> (154 lb/bbl), o que equivale à massa específica da ordem de 1 140,5 kg/m<sup>3</sup> (9,5 lb/gal). Houve uma tendência a diminuir a capacidade de retenção da fase dispersante. A estabilidade dos sistemas densificados, quanto à separação de fases, diminuiu até a concentração de 399,7 kg/m<sup>3</sup> (140 lb/bbl) de calcita, tornando-se crescente até a concentração de 973,5 kg/m<sup>3</sup> (341 lb/bbl) de calcita. Constatou-se ainda que a partir de 8,64 x 10<sup>4</sup>s (24 h) de repouso, a separação de fase óleo é mínima, permanecendo praticamente constante. Tal observação foi efetuada até 5,184 x 10<sup>5</sup>s (6 dias) de repouso das amostras.

Foram formulados também sistemas adensados com barita, em concentrações iguais a de calcita. Entretanto, para tais sistemas, observou-se sedimentação de barita, formação de agregados que ficaram aderidos às paredes do recipiente de preparo e, por conseguinte, um sistema heterogêneo, tornando impraticável a determinação de suas propriedades por não se conseguir uma amostragem satisfatória.

#### 4 - CUSTO

Visando comparar o custo médio por barril dos fluidos à base óleo convencionais (com tensoativos) com o custo médio por barril do fluido investigado neste trabalho, isto é, sem tensoativos, foram feitos cálculos considerando os custos dos aditivos mencionados na tabela III.

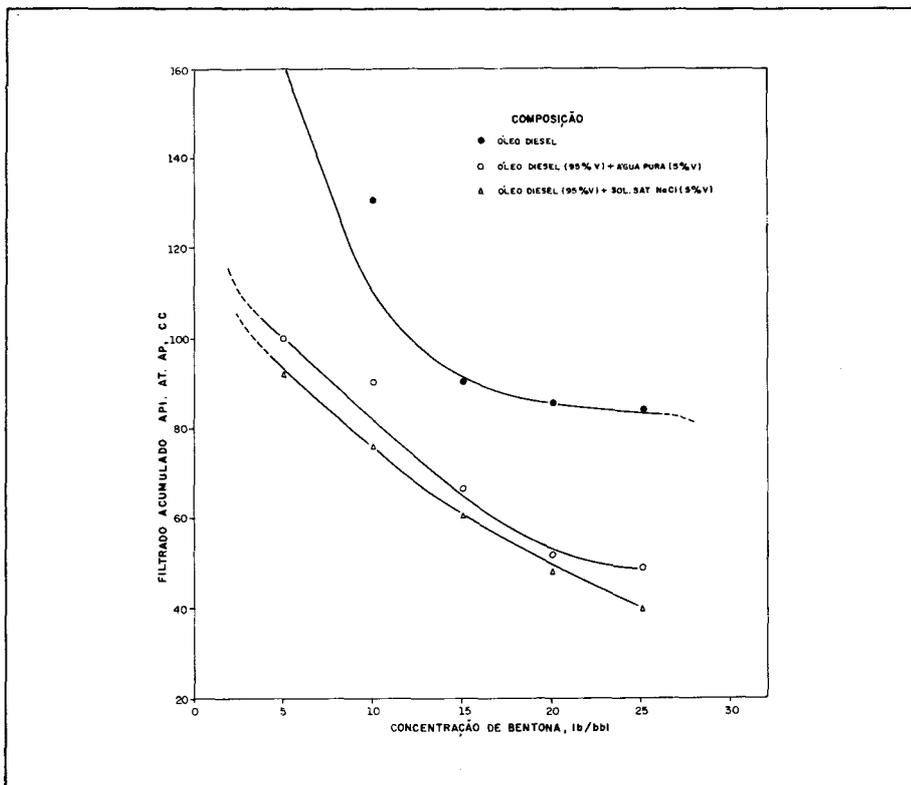


Fig. 7 — Efeito da concentração da argila organofílica bentonium 34-D sobre o volume de filtrado acumulado, segundo padronização API, à temperatura 300°F e pressão 500 psig, em vários meios dispersantes.

TABELA III

COMPOSIÇÃO BÁSICA E CUSTO DO SISTEMA BASE ÓLEO SEM  
TENSOATIVOS DE BAIXA DENSIDADE E ADENSADO COM CALCITA  
(9,5 lbm/gal)

Componente	Custo Unitário US\$	Conc. no F.S.T. Base Densidade	Conc. no F.S.T. Adensado
Óleo diesel	24,70 / bbl	94 % vol.	98 % vol.
Sol. Sat. c/ NaCl	5,50 / bbl	6 % vol.	2 % vol.
Bentona	4,60 / lb	6 lb/bbl	6 lb/bbl
Calcita	0,05 / lb		154 lb/bbl
<b>Custo total US\$/bbl</b>		<b>51,15</b>	<b>59,62</b>

É importante ressaltar, entretanto, que a consideração de um custo médio por barril ( $0,159 \text{ m}^3$ ) dos fluidos à base óleo com tensoativos depende de uma série de fatores relativos às características do fluido, tais como razão óleo/água, tipo de sal empregado na fase aquosa para controle da atividade química, diversidade de sistemas e custos de aditivos disponíveis no mercado, dentre outros. No Brasil, os fluidos que a PETROBRÁS utiliza com razão óleo/água em torno de 70/30 e massa específica da ordem de  $1,2 \times 10 \text{ kg/m}^3$  (10 lb/gal) possuem custos médios da ordem de US\$ 40,00 e 55,00 o barril, utilizando cloreto de sódio e cloreto de cálcio na fase aquosa, respectivamente. E o custo médio estatístico global dos fluidos à base óleo usados em toda a Companhia está em torno de US\$ 52,00 o barril.

Comparando o custo por barril do sistema sem tensoativo, isto é, cerca de US\$ 55,00 e os custos dos sistemas com tensoativos mencionados antes, verifica-se que estes são cerca de 10% mais baratos.

### CONCLUSÕES

A análise dos resultados descrita antes induz às conclusões abaixo, em relação às dispersões de argila organofílica (ou bentona) em óleo diesel marítimo, nos diferentes sistemas investigados, incluindo os efeitos dos contaminantes sobre estes.

1- Com o aumento da concentração de argila organofílica, as propriedades reológicas e gelificantes dos sistemas sofrem alterações significativas. A vis-

cosidade aparente, a viscosidade plástica, o limite de escoamento plástico e as forças géis aumentam com a concentração, enquanto que o índice de comportamento de fluxo diminui.

2- A presença de uma substância líquida polar, água ou álcool, por exemplo, misturada ao óleo diesel, intensifica as variações das propriedades reológicas e gelificantes. A dissolução de um eletrólito na água reduz a intensidade dessas variações.

3- As propriedades reológicas que aumentaram mais com o acréscimo da concentração de bentona dispersa no óleo foram o limite de escoamento e as forças géis.

4- Quanto à gelificação, as dispersões de bentona em óleo diesel podem ser classificadas como lenta e não-progressiva. A presença de uma substância líquida polar na dispersão confere uma gelificação rápida e progressiva a partir da concentração de  $42,9 \text{ kg/m}^3$  (15 lb/bbl) de bentona. Se a substância polar *contiver um sal dissolvido*, as dispersões apresentam gelificação rápida somente a partir de  $57,1 \text{ kg/m}^3$  (20 lb/bbl).

5- O comportamento reológico das dispersões de bentona em óleo diesel se correlaciona melhor com o modelo de Bulkley (potência) com limite de escoamento) do que com o modelo plástico ideal de Bingham. A adição de um composto polar ao sistema acentua a correlação com o modelo de Bulkley.

6- A presença de uma substância polar orgânica, como o etanol por exemplo, acentua as variações das propriedades reológicas e forças géis, quando comparada a um componente

polar inorgânico como a água, para concentrações de bentona acima de  $42,83 \text{ kg/m}^3$  (15 lb/bbl).

7- A bentona apresenta um poder de retenção da fase dispersante, isto é, um controle do filtrado acumulado API, que se intensifica com o aumento da sua concentração e com a presença de um componente polar no sistema.

8- Com relação à separação das fases, as dispersões de bentona revelaram uma alta estabilidade, uma vez que esta separação foi lenta e só atingiu valores significativos em concentrações inferiores a  $17,13 \text{ kg/m}^3$  (6 lb/bbl) de bentona e após  $8,64 \times 10^4 \text{ s}$  (24 h) de repouso.

9- O efeito do teor das substâncias polares para concentrações entre 6 a 10% (v/v) sobre a alteração das propriedades reológicas e gelificantes das dispersões de bentona é pouco significativa quando a concentração desta se situa entre  $5,71$  e  $34,26 \text{ kg/m}^3$  (2 a 12 lb/bbl).

10- A composição do fluido à base óleo sem tensoativos, de baixa densidade, ideal para atender a requisitos relativos a propriedades reológicas, gelificantes e de estabilidade quanto a separação de fases é: óleo diesel (94% v/v), solução saturada com NaCl (6% v/v) e bentona ( $17,1 \text{ kg/m}^3$  ou 6 lb/bbl).

11- O sistema citado no item anterior resiste à contaminação por sólidos coloidais ativos, do tipo argila bentonita, em relação às propriedades reológicas, gelificantes e de separação de fases, entretanto este contaminante provoca um aumento elevado na perda por filtração.

12- O sistema citado no item 10 resistiu de modo satisfatório aos efeitos dos contaminantes cimento, gesso e cloreto de sódio (sal).

13- A composição de fluido à base óleo sem tensoativos, ideal para atingir densidades maiores do que  $816,3 \text{ kg/m}^3$  (6,80 lb/gal) é: óleo diesel (98% v/v), solução saturada com NaCl (2%) e bentona ( $17,1 \text{ kg/m}^3$  ou 6 lb/bbl).

14- A massa específica máxima atingida pelo sistema citado no item anterior, adensado com calcita, é de  $1140,5 \text{ kg/m}^3$  (9,5 lb/gal). Foi inviável adensar esse sistema com barita.

15- O custo médio por barril dos fluidos à base óleo sem tensoativos investigados é cerca de 10% superior ao dos fluidos à base óleo com tensoativos.

A observância das conclusões acima demonstra que a investigação do fluido à base óleo sem tensoativos se encontra em fase de desenvolvimento. Novas investigações estão planejadas e outras sendo executadas. A pesquisa de um aditivo controlador de perda por filtração nos parece de grande importância. Outra diretriz a ser seguida é a procura de sistemas com densidades superiores a  $1140,5 \text{ kg/m}^3$  (9,5 lb/gal). Por último, é fundamental e objetivo maior deste trabalho investigar o grau de dano provocado por esses sistemas, com a finalidade de confirmar a expectativa destes de não serem danosos, em virtude da ausência de tensoativos.

## NOMENCLATURA

$\tau$	- tensão de cisalhamento
$\mu_a$	- viscosidade aparente
$\mu_p$	- viscosidade plástica do modelo de Bingham
$\mu_L$	- limite de escoamento de Bingham
$\tau_o$	- limite de escoamento do modelo de potência modificado
$n$	- índice de comportamento de fluxo do modelo de potência modificado
$K$	- índice de consistência do modelo de potência modificado
$\theta_3$	- leitura da deflexão no viscosímetro de cilindros coaxiais a $5,11 \text{ s}^{-1}$ (3 RPM)
$N$	- número de rotações do cilindro externo do viscosímetro de cilindros co-axiais
$G_i$	- gel inicial determinado com a tensão cisalhante a $5,11 \text{ s}^{-1}$ (3 RPM), necessária ao escoamento do fluido após 10 s de repouso
$G_f$	- gel final determinado como

a tensão cisalhante a  $5,11 \text{ s}^{-1}$  (3 RPM), necessária ao escoamento do fluido após  $6,0 \times 10^2 \text{ s}$  (10 min) de repouso

$Q_{BTBP}$	- volume de filtrado acumulado em $1,8 \times 10^3 \text{ s}$ (30 min) à temperatura de $298 \text{ K}$ ( $25^\circ\text{C}$ ) e pressão de $6,88 \times 10^5 \text{ Pa}$ (100 psig) no teste de filtração, conforme padronização API
$Q_{ATAP}$	- volume de filtrado acumulado em $1,8 \times 10^3 \text{ s}$ (30 min) à temperatura de $422 \text{ K}$ ( $149^\circ\text{C}$ ) e pressão de $3,44 \times 10^6 \text{ Pa}$ (500 psig) no teste de filtração conforme padronização API
$\rho$	- massa específica do fluido
$\gamma$	- taxa de deformação

## FATORES DE CONVERSÃO

psi	$\times 6,895 \times 10^{-3} = \text{Pa}$
ml	$\times 1,000 \times 10^{-6} = \text{m}^3$
lb/bbl	$\times 2,853 \times 10^0 = \text{kg/m}^3$
rpm	$\times 1,047 \times 10^{-1} = \text{rd/s}$
poi	$\times 2,540 \times 10^{-2} = \text{m}$
bbl	$\times 4,2 \times 10^1 = \text{gal}$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (<sup>1</sup>) BRANCO, C. M. Celso, BONET, Luciane. Dano de formação devido a fluidos de perfuração à base óleo. In: 1. MESA REDONDA SOBRE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, nov. 1987.
- (<sup>2</sup>) AMOTT, E. Observations relating to the wettability of porous rock. *Petroleum Trans. AIME*, v. 216, p. 156-162, 1959.
- (<sup>3</sup>) MCKINNEY, L. K. Formation damage to oil base drilling fluids at elevated temperatures and pressu-

res. The University of Tulsa, Oklahoma, 1986. (Tese de Mestrado)

- (<sup>4</sup>) THOMAS, D. C. Evaluation of core damage caused by oil-based drilling and coring fluids. In: 59. SPE ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE AND EXHIBITION. Houston, Texas, 1984.
- (<sup>5</sup>) BOBEK, J. E. Reservoir rock wettability: its significance and evaluation. *Petroleum Trans. AIME*, v. 213, p. 155-160, 1958.
- (<sup>6</sup>) GOOD, D. L. Aqueous-based fluids for perforating and oil-phase mud removal. In: SPE ROCK MOUNTAIN REGIONAL MEETING. Casper, Wyoming, 1984.
- (<sup>7</sup>) HAUSER, E. A. Reference in J. M. JORDAN: mineral. *Mag.*, v. 28, p. 598-605, 1949.
- (<sup>8</sup>) JORDAN, J. M. Reference in R. E. Grim: *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, 1968. 2. ed.
- (<sup>9</sup>) GRIM, R. E. *Clay mineralogy*. McGraw-Hill, 1968. 2. ed.
- (<sup>10</sup>) UBM. Manual de fluidos de perfuração à base óleo.
- (<sup>11</sup>) STAUCEL PRODUTOS QUÍMICOS LIMITADA. Memorandum técnico. 1984.
- (<sup>12</sup>) API BULLETIN. The rheology of oil-well drilling fluids. *API Bulletin*, RP 13D, 1980.
- (<sup>13</sup>) GRAY, George R., DARLEY, H. C. H. Composition and properties of oil well drilling fluids. Gulf, Houston, Texas, 1981. Cap. 5, 4. ed.