

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



TÍTULO DO TRABALHO:

Desempenho de fluidos de perfuração base água

AUTORES:

Kássie Vieira Farias, Luciana Viana Amorim, Hélio de Lucena Lira

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

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.

DESEMPENHO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE ÁGUA

Abstract

The drilling fluids are traditionally classified according to its primary constituent, in: gas base fluids, water base fluids and oil base fluids. The fluids must submit rheological properties, filtration and appropriate lubricity and its composition depends on the particular requirements of each drilling. Thus, this work is to study the performance of water base drilling fluid through evaluation of the rheological behaviour, filtration and lubricity. The results obtained were compared with those presented by fluids from multinational companies. From the analysis of results, it was observed that: i) the fluids showed pseudoplastic, with rheological and filtration properties next to the reference fluid, ii) the rendering formed presented small thickness characteristic of polymeric fluids; iii) presence the lubricant contributed significantly to improving the lubricity of the fluid.

Introdução

Fluido de perfuração é um fluido circulante usado para tornar viável uma operação de perfuração (API, 1991). Segundo Thomas (2001), os fluidos de perfuração são misturas complexas de sólidos, líquidos, produtos químicos e, por vezes, até gases. Do ponto de vista químico, eles podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão, dependendo do estado físico dos componentes. Suas principais funções são: resfriar e lubrificar a broca, limpar o fundo do poço dos detritos de perfuração, transportar os detritos de perfuração para a superfície, estabilizar o poço e permitir uma adequada avaliação da formação (Lummus e Azar, 1986).

De acordo com Souza Santos (1992), os fluidos de perfuração devem apresentar adequada viscosidade aparente, viscosidade plástica e volume de filtrado, e uma apreciável tixotropia (transformação sol – gel isotérmica e reversível) para manter em suspensão, nas interrupções de funcionamento, os detritos da perfuração e as partículas inertes da própria fase dispersa.

Os fluidos de perfuração devem ser capazes de reproduzir nas paredes do poço uma membrana fina de baixa permeabilidade, denominada de reboco, para consolidar a formação geológica, garantindo a estabilidade do poço, bem como para evitar/retardar a perda de filtrado, ou seja, o escoamento da fase líquida do fluido para o interior das formações geológicas (Lummus e Azar, 1986). Além das propriedades reológicas e de filtração mencionadas anteriormente, as características lubrificantes dos fluidos têm especial importância na perfuração de poços, visto que há um desgaste inevitável das partes mecânicas provocado pelo torque e arraste da coluna de perfuração e o seu contato com as paredes da formação que estão perfuradas (Darley e Gray, 1988).

Segundo Gomes e Filho (2005), a lubricidade é um termo qualitativo que descreve a habilidade de um fluido em evitar a fricção e o desgaste entre superfícies em movimento relativo a cargas. Quando um fluido não apresenta lubricidade adequada, sua capacidade de diminuir o atrito entre as superfícies em contato é prejudicada. Isto é crítico, por exemplo, no caso de bombas rotativas, pois seus componentes internos são lubrificados pelo próprio fluido.

Os fluidos são tradicionalmente classificados de acordo com o seu constituinte principal, em: fluidos à base de gás, fluidos à base de água e fluidos à base de óleo. Os fluidos à base de gás são constituídos de um fluxo de ar ou gás natural injetado no poço a alta velocidade. Os fluidos à base de água são aqueles cuja fase líquida contínua é constituída por água, enquanto que nos fluidos à base de óleo, a fase contínua é constituída por óleo (Darley e Gray; Lummus e Azar *apud* Amorim, 2003).

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

A composição do fluido depende das exigências particulares de cada perfuração. Para perfurações simples e pouco profundas um fluido constituído de água e argila em baixa concentração é adequado. Contudo, em situações de difícil perfuração e/ou em grandes profundidades é necessário um fluido mais elaborado, com introdução de vários aditivos (Amorim, 2003).

Segundo Lummus e Azar (1986), os aditivos para fluidos são classificados em viscosificantes, agentes densificantes, redutores de viscosidade (defloculantes), redutores de filtrado, emulsificantes e aditivos especiais.

Este trabalho tem o objetivo de estudar o desempenho de fluidos de perfuração base água, por meio da avaliação do seu comportamento reológico, de filtração e de lubricidade.

Metodologia

Para a preparação dos fluidos de perfuração foram utilizados os seguintes aditivos: viscosificante, redutor de filtrado, inibidores de argila expansiva, anti-espumante, bactericida, lubrificante, controlador de pH e selante. As amostras dos aditivos foram fornecidas pela Empresa System Mud Indústria e Comércio Ltda., localizada na Rua Otávio Muller, 204, Carvalho, Itajaí, SC.

Foi também estudado um fluido denominado de Padrão, cuja formulação e aditivos foram fornecidos PETROBRAS.

Tabela 1: Formulações dos fluidos base água estudados.

ADITIVOS	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Viscosificante (g)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Redutor de filtrado (g)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	5,0	3,0	3,0
Anti-espumante (gts)	12	15	20	25	10	15	10	10	6	10
Controlador de pH(g)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Inibidor de argilas hidratáveis I (g)	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
Inibidor de argilas hidratáveis II (g)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Bactericida (g)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Lubrificante (%)	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0
Selante (g)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0

Os fluidos de perfuração base água foram preparados de acordo com as formulações apresentadas na Tabela 1.

Preparação dos fluidos de perfuração

Os fluidos de perfuração foram preparados usando 350 mL de água de acordo com a prática de campo, que consiste em adicionar os aditivos um a um em água industrial, sob agitação constante a

uma velocidade de 13.000 rpm em agitador Hamilton Beach, modelo 936, obedecendo a ordem em que se encontram as formulações apresentadas na Tabela 1. Após adição dos aditivos, a velocidade do agitador foi aumentada para 17.000 rpm, permanecendo por 10 min na adição do viscosificante e do redutor de filtrado e por 5 min na adição dos demais aditivos. A seguir, o fluido permaneceu em repouso durante 24 h em recipiente fechado.

Estudo reológico e determinação do volume de filtrado

Foi realizado o estudo do comportamento reológico em viscosímetro Fann 35A e das propriedades de filtração, em filtros-prensa API, por meio da determinação das curvas de fluxo, das viscosidades aparente e plástica, da força gel, do limite de escoamento e do volume de filtrado. Para tanto, após 24 h de repouso, o fluido foi agitado durante 5 min em agitador mecânico Hamilton Beach modelo 936 na velocidade de 17.000 rpm. Em seguida, o fluido foi transferido para o recipiente do viscosímetro Fann modelo 35 A com combinação R1 B1 e mola de torção F1, sendo R1 o raio do cilindro externo e B1 o raio do cilindro interno do viscosímetro com valores de 1,8415 cm e 1,7245 cm respectivamente. F1 é a constante da mola com valor igual a 1 (Machado, 2002). Neste equipamento, seis valores de torque foram lidos com taxas de cisalhamento variando de 5,1 a 1022 s⁻¹. O equipamento foi acionado na velocidade de 600 rpm durante 2 min e efetuado a leitura. Logo após, a velocidade foi mudada para 300 rpm e efetuada a leitura após 15 seg. Em seguida, mudou-se a velocidade para 200 rpm e esperou-se estabilizar para efetuar a leitura. O mesmo procedimento foi utilizado para as velocidades de 100 rpm, 60 rpm e 30 rpm. Com os dados de leitura e após tratamento matemático, foram traçadas as curvas de fluxo (tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento) dos fluidos estudados.

Para obtenção da força gel inicial, agitou-se o fluido na velocidade de 600 rpm durante 15 seg, mudou-se a velocidade para 30 rpm e deixou o fluido em repouso durante 10 seg e fez-se a leitura obtendo o valor da força gel inicial. Em seguida, para a obtenção da força gel final, o fluido foi deixado em repouso durante 10 min e efetuada a leitura na velocidade de 30 rpm.

As viscosidades aparente e plástica, limite de escoamento e o volume do filtrado foram obtidos segundo a norma N-2605 (Petrobras, 1998a). A viscosidade aparente (VA) é o valor obtido na leitura a 600 rpm dividido por 2, dada em cP, e a viscosidade plástica (VP) é a diferença das leituras obtidas a 600 rpm e a 300 rpm, dada também em cP. O limite de escoamento (LE) é a metade da diferença entre a leitura obtida a 300 rpm e a viscosidade plástica (VP). O volume do filtrado (VF) foi determinado em filtro prensa da marca Fann, com aplicação de uma pressão da ordem de 7,0 kgf/cm² (100 psi) durante 30 minutos. Os resultados são expressos em mL.

Coeficiente de lubricidade

O coeficiente de lubricidade dos fluidos foi determinado em lubricímetro OFITE (*EP-Lubricity Tester*) de acordo com a metodologia do fabricante, que consiste em adicionar o fluido ao recipiente do lubricímetro e acionar a uma rotação inicial de 60 rpm, torque 0 e aplicar uma força de 150 in/lb por 5 min, efetuar a leitura e obter o valor do coeficiente de lubricidade.

Determinação da espessura do reboco

Para a determinação da espessura do reboco foi seguida uma metodologia desenvolvida por Farias (2005), que consiste nas etapas apresentadas a seguir.

Inicialmente, é coletado o papel de filtro com o reboco após a realização do ensaio para a determinação do volume de filtrado. Em seguida, esse papel de filtro é lavado três vezes a uma vazão de aproximadamente 110 L/h com o auxílio de um recipiente de nível constante com vazão regulável,

a uma distância de aproximadamente 7,0 cm do controlador de vazão com diâmetro de 15,0 mm e com ângulo de ataque do fluxo da água de aproximadamente 45°. Após a lavagem para a retirada do excesso do fluido na superfície do reboco, o papel de filtro é colocado entre duas lâminas de vidro confeccionadas com o mesmo diâmetro do papel de filtro. A seguir, o papel de filtro com o reboco entre as lâminas de vidro é submetido a uma pressão de aproximadamente 277,6 N/m² por um período de 2 min com a finalidade de uniformizar a superfície do reboco. Após esse período é medida a espessura do reboco com o auxílio de um extensômetro. São feitas cinco medidas das espessuras das lâminas de vidro e do papel de filtro com o reboco em pontos distintos. Após obtenção das medidas, é feita uma média aritmética das cinco determinações e descontada a espessura das duas placas de vidro e do papel molhado, sendo determinada a espessura do reboco (ER) em milímetros com aproximação em centésimos.

Resultados e Discussão

As curvas de fluxo dos fluidos estudados estão apresentadas na Figura 1.

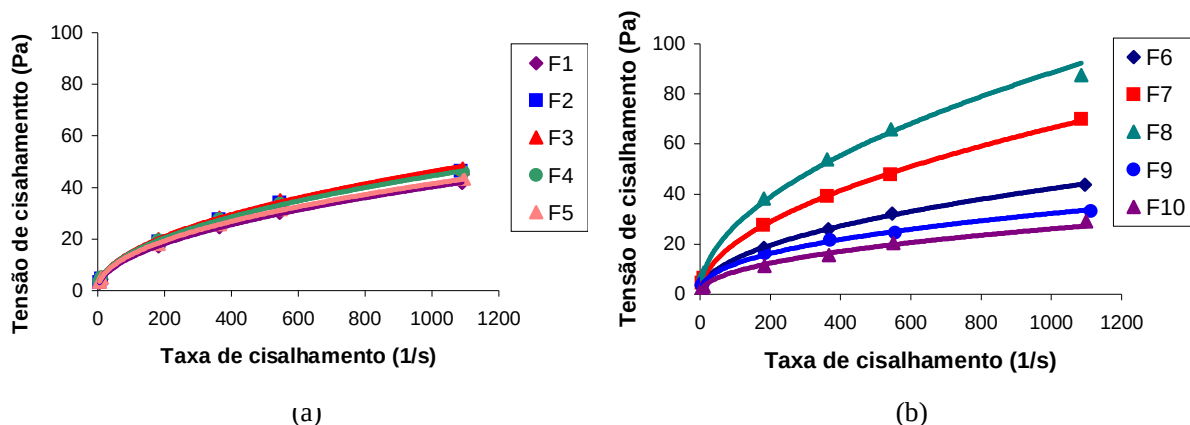


Figura 1: Curvas de fluxo dos fluidos: (a) F1, F2, F3, F4 e F5 e (b) F6, F7, F8, F9 e F10.

Observou-se que as curvas de fluxo de todos os fluidos apresentaram comportamento pseudoplástico com limite de escoamento. Segundo Pandolfelli (2000), este tipo de comportamento pode ser causado por diversos fatores, dentre os quais as características físicas das partículas, como sua área superficial, formato e dimensões. A presença de aglomerados relativamente fracos na suspensão, originados pela atuação de forças de interação atrativas entre partículas, pode ser considerada a principal causa do fenômeno de pseudoplasticidade.

A equação da curva, o coeficiente de determinação (R^2), o índice de comportamento de fluxo (n) e o índice de consistência do fluido (K) dos fluidos estão apresentados na Tabela 2.

O coeficiente de determinação (R^2) de todos os fluidos foi em média de 0,9941. Os fluidos pseudoplásticos seguem-se o modelo da potência. Os valores de n (índice de comportamento de fluxo) foram de aproximadamente 0,5, o que indica o quanto o comportamento de fluxo do fluido se afasta do comportamento Newtoniano; para $0 < n < 1$ os fluidos apresentam comportamento pseudoplástico. O índice de consistência do fluido (K) representa a consistência do fluido, logo, quanto mais elevado o valor de K maior será a resistência do fluido em apresentar deslocamento relativo no seu interior (Machado, 1983). Os fluidos apresentaram valores de K entre 1,07 para o fluido F10 e 2,59 para o fluido F8.

As propriedades reológicas, de filtração, e de lubrificidade obtidos com os fluidos estudados estão apresentadas na Tabela 3. Os resultados serão discutidos de acordo com a influência dos aditivos

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

reductor de filtrado, anti-espumante e lubrificante, visto que para os fluidos estudados, de acordo com as formulações apresentadas na Tabela 1, foram variadas apenas as concentrações desses aditivos.

Tabela 2: Equação da curva, coeficiente de determinação (R^2), índice de comportamento de fluxo (n) e índice de consistência (K) dos fluidos estudados.

FLUIDOS	EQUAÇÃO	R^2	K	n
F1	$y = 1,3264x^{0,4939}$	0,9999	1,3264	0,4939
F2	$y = 1,3993x^{0,5039}$	0,9998	1,3993	0,5039
F3	$y = 1,5690x^{0,4896}$	0,9999	1,5690	0,4896
F4	$y = 1,5900x^{0,4823}$	0,9999	1,5900	0,4823
F5	$y = 1,5745x^{0,4734}$	0,9998	1,5745	0,4734
F6	$y = 1,5687x^{0,4765}$	0,9999	1,5687	0,4765
F7	$y = 1,8974x^{0,5445}$	0,9999	1,8974	0,5445
F8	$y = 2,5993x^{0,5106}$	0,9992	2,5993	0,5106
F9	$y = 1,6958x^{0,4265}$	0,9999	1,6958	0,4265
F10	$y = 1,0721x^{0,4621}$	0,9959	1,0721	0,4621

Tabela 3: Propriedades reológicas, de filtração e de lubricidade dos fluidos estudados.

FLUIDOS	VA (cP)	VP (cP)	LE (N/m ²)	FG (cP)	CL	VF (mL)	ER (mm)
F1	41,0	23,0	18,0	1,5	0,140	7,5	0,5698
F2	45,5	24,0	21,5	2,5	0,112	7,6	0,6044
F3	46,5	24,5	22,0	2,5	0,143	7,8	0,8000
F4	45,0	24,0	21,0	3,0	0,137	7,4	0,6940
F5	42,5	23,0	19,5	2,0	0,297	7,6	0,4324
F6	43,0	23,0	20,0	3,0	0,297	7,2	0,4096
F7	68,5	43,0	25,5	3,5	0,140	7,2	0,6310
F8	85,7	42,5	43,2	5,0	0,145	6,4	0,8258
F9	32,5	17,0	15,5	2,0	0,187	9,4	0,4888
F10	28,5	17,0	11,5	1,0	0,182	7,9	0,5018
PADRÃO	59,0	34,0	25,0	3,5	0,126	6,8	0,3850

Sendo: VA - viscosidade aparente; VP - viscosidade plástica; LE - limite de escoamento; FG - força gel; CL – coeficiente de lubricidade; VF – volume de filtrado e ER – espessura do reboco.

Influência do Redutor de Filtrado

A adição do redutor de filtrado em maiores concentrações nos fluidos, principalmente nos fluidos F7 e F8, promoveu a diminuição do volume de filtrado, o aumento das viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e da força gel dos fluidos. Este resultado pode ser explicado visto que o redutor de filtrado é um CMC de baixa viscosidade, que embora tenha como principal função reduzir o volume de filtrado, contribuiu de forma secundária na viscosidade do fluido. Os valores das viscosidades aparente (VA) variaram entre 28,5 cP para o fluido F10 e 85,7 cP para o fluido F8. A viscosidade plástica (VP) variou entre 17,0 cP para o fluido F10 e 43,0 cP para o fluido F7. A força gel (FG) sofreu variações significativas com o aumento da quantidade de redutor de filtrado. A FG variou de 1,0 cP para o fluido F10 a 5,0 cP para o fluido F8.

Comparando os valores dos índices de consistência (K), apresentados na Tabela 2, com os valores das viscosidades aparente (VA) dos fluidos, observou-se que os valores de VA, principalmente no fluido F8, confirmaram o comportamento dos valores dos índices de consistência (K), que é dado pela equação da curva.

Influência do Anti-espumante

A quantidade de anti-espumante nos fluidos estudados foi variada entre 6 e 25 gotas, já que a presença de bolhas pode elevar os valores de viscosidade por agirem como barreiras, oferecendo maior resistência ao escoamento do fluido. Observou-se que mesmo com o aumento da quantidade de anti-espumante, não foi reduzida a quantidade de bolhas presentes nos fluidos, pois as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e a força gel (FG) dos fluidos sofreram poucas variações. Os valores das viscosidades aparente (VA) variaram de 32,5 cP para o fluido F9 preparado com 6 gotas de anti-espumante a 45,0 cP para o fluido F4 preparado com 25 gotas de anti-espumante. Foi visto que com apenas 6 gotas pode-se obter melhores resultados, ou seja, fluidos com pouca espuma.

Influência do Lubrificante

Os coeficientes de lubricidade (CL) de todos os fluidos estudados foram próximos de 0,15, exceto para os fluidos F5 e F6, que foram preparados sem a presença do lubrificante, e apresentaram valores próximos de 0,3, ou seja, os fluidos preparados sem a presença do lubrificante obtiveram os valores do coeficiente de lubricidade muito elevados. Esse comportamento mostra que a presença do lubrificante contribui significativamente para a melhoria da lubricidade dos fluidos. É importante ressaltar que o CL obtido com a água deionizada, utilizada no preparo dos fluidos, é de aproximadamente 0,32.

Observou-se variação na espessura do reboco de 0,4096 mm para o fluido F6 a 0,8258 mm para o fluido F8. Comparando os resultados de ER dos fluidos estudados com os obtidos com fluidos hidroargilosos em estudo desenvolvido por Farias (2005), que apresentaram ER em torno de 2,000 mm, observam-se valores bem inferiores, característicos de fluidos poliméricos, isentos de bentonita.

Fazendo uma análise conjunta dos resultados e comparando com parâmetros de referência obtidos com o fluido padrão, observou-se que os fluidos F2, F4, F6, F7 e FA8 se aproximaram dos valores de referência padrão nos parâmetros reológicos, de filtração e de lubricidade.

Conclusões

Com o objetivo de estudar o desempenho de fluidos de perfuração base água e através dos resultados obtidos, concluiu-se que: todos os fluidos apresentaram comportamento de fluidos

pseudoplástico com limite de escoamento; o coeficiente de determinação (R^2) de todos os fluidos foi de aproximadamente 1,0; a adição do redutor de filtrado nos fluidos estudados, promoveu a diminuição do volume de filtrado (VF) e o aumento da viscosidade aparente (VA) e da força gel (FG); o aumento da quantidade do anti-espumante não reduziu a quantidade de bolhas presentes nos fluidos; a presença do lubrificante contribuiu significativamente para a melhoria da lubricidade dos fluidos e dentre as dez (10) formulações desenvolvidas, cinco (5) (F2, F4, F6, F7 e FA8) apresentaram melhor desempenho, com propriedades reológicas, de filtração e lubricidade próximas aos valores de referência.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo - ANP, ao PRH-25, a FINEP, ao CTBRASIL, ao CTPETRO e ao CNPq (Processo N° 472188/2006-2) pelo apoio financeiro, à Empresa System Mud Indústria e Comércio Ltda. pelo fornecimento dos aditivos estudados e ao LABDES pelo uso de suas instalações físicas.

Referências Bibliográficas

AMORIM, L.V. *Melhoria, proteção e recuperação da reologia de fluidos hidroargilosos para uso na perfuração de poços de petróleo*, Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, CCT/UFCG, Campina Grande, Dezembro de 2003.

DARLEY, H.C.H.; GRAY, G.R. *Composition and properties of drilling and completion fluids*, Fifth Edition, Gulf Publishing Company, 1988.

FARIAS, K.V. *Influência de umectante aniônico na reologia e espessura de reboco de fluidos hidroargilosos*, Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia Química, CCT/UFCG, Campina Grande, Novembro de 2003.

GOMES, H.O.; FILHO, J.F.O. *Metodologia de avaliação da lubricidade de óleo diesel*, in Encontro para a Qualidade de Laboratórios, junho de 2005, São Paulo.

LUMMUS, J.L.; AZAR, J.J. *Drillings fluids optimization a practical field approach*, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1986.

MACHADO, J.C.V. *Reologia de fluidos: aplicação na engenharia de petróleo*, Divisão de Ensino, Salvador, BA, 1983.

MACHADO, J. C. V. *Reologia e escoamento de fluidos*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2002.

PANDOLFELLI, V.C. *et al. Dispersão e empacotamento de partículas*. Editora Fazendo Arte, São Paulo, 2000.

PETROBRAS. *Ensaio de viscosificante para fluido de perfuração base de água na exploração e produção de petróleo*, Método, N-2605, 1998a.

SOUZA SANTOS, P. *Ciência e tecnologia de argilas*, vol.2, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1992.

THOMAS, J.E., *Fundamentos de engenharia de petróleo*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2001.