

DIAGÊNESE DO MEMBRO CARMÓPOLIS NO CAMPO DE SIRIRIZINHO, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS: IMPLICAÇÕES QUANTO A SUSCEPTIBILIDADE AO FLUXO DE ÁGUA DOCE

DIAGENESIS OF THE CARMÓPOLIS MEMBER WITHIN THE SIRIRIZINHO FIELD, SERGIPE-ALAGOAS BASIN: IMPLICATIONS TO FRESH-WATER SENSITIVITY

Cristiano Leite Sombra⁽¹⁾

RESUMO — A identificação das fases mineralógicas associadas ao sistema poroso, bem como sua morfologia e distribuição são utilizadas na reinterpretação de testes de susceptibilidade ao fluxo de água doce realizados com *plugs* de testemunhos de poços do Campo de Siririzinho, Bacia de Sergipe-Alagoas. A corrensitita, um argilomineral interestratificado expansivo, pode revestir grãos detríticos nos reservatórios do Membro Carmópolis, especialmente no topo dos reservatórios, próximo aos evaporitos do Membro Ibura. Amostras ricas em corrensitita apresentam alta sensibilidade ao fluxo de água doce, ou seja, queda acentuada de permeabilidade. Nas amostras livres de corrensitita, geralmente, a permeabilidade é muito pouco ou não é afetada pelo fluxo de água doce.

(Originais recebidos em 23.10.87.)

1 - INTRODUÇÃO

Quase todos os problemas de formações sensíveis ao fluxo de água doce, bem como os tratamentos com produtos químicos para preveni-los podem ser explicados pela teoria da camada elétrica dupla — *electric double layer theory* —, cujas aplicações na indústria do petróleo foram discutidas satisfatoriamente por VELEY (1969).

A deficiência de cargas elétricas dos argilominerais é contrabalançada pela adsorção de cátions ou de água à sua superfície, devido ao caráter dipolar de sua molécula, que forma uma nuvem ou atmosfera catiônica ao redor das camadas. Pode-se considerar o conjunto formado pela superfície negativa dos argilominerais e pela atmosfera catiônica positiva como uma camada elétrica dupla: quanto maiores as forças de atração entre os lados negativo e positivo desta camada, mais ela se contrairá, e quanto menores estas forças, mais ela irá inchar. Desta forma, em presença de soluções eletrolíticas com altas concentrações ou cátions com maiores cargas, a camada dupla tende a se comprimir, ao passo que, em presença de soluções diluídas de cátions monovalentes, essa camada tende a inchar. Eis por que a água doce é fre-

quentemente citada como um fluido capaz de provocar danos à permeabilidade.

Por outro lado, podem ser utilizados polímeros orgânicos ou inorgânicos com elevadas cargas moleculares para prevenir danos à permeabilidade relacionados com inchamento de argilominerais (VELEY, 1969; REED, 1972; HILL, 1982). Dois cátions monovalentes que podem ser também empregados como estabilizadores de argilominerais são o potássio e o amônio, pois se ajustam perfeitamente às cavidades dos anéis hexagonais das folhas tetraédricas dos argilominerais (HOWER, 1974).

Os argilominerais dos grupos das esmectitas ou vermiculitas são particularmente susceptíveis ao inchamento em contato com água doce, e, conseqüentemente, os interestratificados com esmectitas ou vermiculitas também o são. Os principais cátions intercambiáveis nas esmectitas (geralmente os cátions da atmosfera catiônica positiva) são o sódio e o cálcio. Quanto mais sódicas forem as esmectitas, mais sensíveis à água doce elas serão, e, quanto mais cálcicas, menos incháveis. Este comportamento também é explicado pela teoria da camada elétrica dupla: o cálcio, de maior carga, é atraído com maior intensidade do que o

1 - Setor de Geologia para Exploração, Divisão de Geologia e Engenharia de Reservatórios, Centro de Pesquisas.

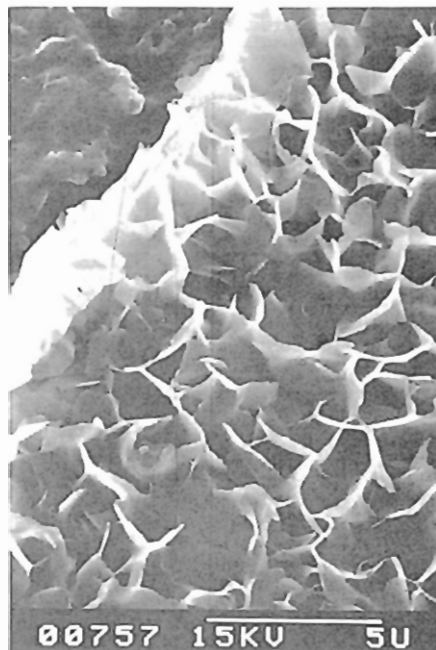


Foto 1 - Revestimentos de corrensite sobre grãos detríticos (PIMENTEL & REHIM, 1984). Foto de MEV. Poço 8-SZ-213-SE, 440,3 m, barra horizontal como escala.

Foto 2 - Detalhe de morfologia da corrensite (PIMENTEL & REHIM, 1984). Foto de MEV. Poço 8-SZ-213-SE, 440,3 m, barra horizontal como escala.

sódio pela superfície negativa dos argilo-minerais.

2 — O CAMPO DE SIRIRIZINHO

O Campo de Siririzinho está localizado na porção sul da Bacia de Sergipe-Alagoas e é produtor de óleo em arenitos líticos e conglomerados do Membro Carmópolis (Cretáceo Inferior), em quatro zonas de produção, denominadas zona 4, zona 3, zona 2 e zona 1, da base para o topo, separadas por folhelhos, siltitos e calcilitos. Os reservatórios são capeados pelos depósitos evaporíticos do Membro Ibura.

As águas intersticiais do Membro Carmópolis apresentam salinidades extremamente elevadas, da ordem de 150 000 a 250 000 ppm NaCl. As águas utilizadas para injeção nos reservatórios provêm da estação de Oiteirinhos, com salinidades da ordem de 100 ppm NaCl, ou das estações I e II, com salinidades da ordem de 125 000 ppm NaCl.

3 — DIAGÊNESE

Os principais eventos diagenéticos verificados no Membro Carmópolis no Campo de Siririzinho são os revestimentos de grãos detríticos por corrensite (fotos 1 e 2), a extensiva cimentação dolomí-

ca e a geração de porosidade secundária por dissolução do cimento dolomítico e de feldspatos (SOMBRA, 1987). Secundariamente, verificam-se crescimentos secundários de feldspatos, piritização principalmente de biotita e alteração de fragmentos líticos para illita, clorita e illita-esmectita. Dentre estes, a corrensite e a illita-esmectita merecem atenção especial nos estudos de sensibilidade à água doce, por se tratar de interestratificados expansivos. A illita-esmectita, porém, é volumetricamente pouco importante em Siririzinho e não forma revestimentos (*coatings*) sobre os grãos detríticos.

A corrensite é definida por BAILEY (1981) como interestratificado regular 1:1 de clorita trioctaédrica com esmectita trioctaédrica ou com vermiculita trioctaédrica. A presença da reflexão basal em 30 Å e uma série racional de reflexões foram os critérios adotados em seu reconhecimento (fig. 1). Procurou-se identificar o componente expansivo destas corrensites por análise difratométrica de amostras saturadas com Mg^{+2} , verificando-se que o mesmo apresenta características estruturais de esmectita, isto é, espaçamento basal da ordem de 17 Å. Por outro lado, as amostras saturadas com Mg^{+2} não se expandem após solvatação com etilenoglicol, comportamento mais típico das vermiculitas. Desta for-

ma, não houve uma caracterização precisa do componente expansivo. Ao microscópio petrográfico, a corrensite apresenta coloração castanho-escura e birrefringência moderada. Estudos de cátions intercambiáveis com amostras do poço SZ-176 conduzidos por MONTEIRO (1980) identificaram Ca^{+2} e Na^{+} como os principais cátions (tabela 1). O alto teor de sódio pode ser responsável por alta sensibilidade ao fluxo de água doce.

A corrensite em Siririzinho pode formar espessos revestimentos (*coatings*) sobre os grãos detríticos (fotos 1 e 2) ou resultar da alteração de fragmentos líticos. Sua distribuição denota uma íntima associação com os evaporitos sobrepostos, ou seja, elevados teores ocorrem próximo ao topo do Membro Carmópolis (fig. 2). Esta associação da corrensite com evaporitos é freqüentemente citada na literatura geológica: KÜBLER (1973) enumera diversas ocorrências, sempre associadas a (a) evaporitos, (b) calcários e calcários dolomíticos de ambientes restritos, ou (c) rochas básicas vulcânicas, vulcano-detríticas, hidrotermais ou grauvacas. Exemplos brasileiros incluem ocorrências associadas a calcários oolíticos na Bacia do Paraná (RAMOS & FORMOSO, 1975), a arenitos ricos em fragmentos de rochas vulcânicas e folhelhos na Bacia de Cassiporé (CHANG, 1983) e a evaporitos na Bacia do Médio Amazonas (ALVES & RODRIGUES, 1985).

Um outro aspecto da distribuição da corrensite em Siririzinho é que, abaixo da cota de - 410 metros, seus teores caem bruscamente (fig. 2). É possível que este fato esteja relacionado à existência de um paleocontato óleo-água nesta cota, de modo que as corrensites situadas acima deste contato teriam sido preservadas das transformações diagenéticas posteriores. Apenas o poço SZ-159, a nordeste do campo, se comporta de maneira ligeiramente distinta dos demais. WEBB (1974) e HANCOCK & TAYLOR (1978) utilizaram também a distribuição dos minerais de argila para obter a idade relativa do preenchimento de reservatórios pelo óleo, com relação aos eventos diagenéticos.

4 - SUSCEPTIBILIDADE À ÁGUA DOCE

MONTEIRO (1980) realizou testes de susceptibilidade à água doce com *plugs* de testemunhos do poço 7-SZ-176-SE, coletados de intervalo rico em corrensitita. Os testes consistiram num fluxo inicial de metanol através do *plug*, num fluxo de água doce cuja composição química é mostrada na tabela II e, finalmente, num segundo fluxo de metanol. Os danos à permeabilidade causados pelo fluxo de água doce foram de 70% em média, e o comportamento típico de uma amostra sensível à água doce é mostrado na figura 3. SOMBRA (1987) verificou que o dano à permeabilidade é tanto maior quanto maior o teor de corrensitita (fig. 4).

Novos testes de susceptibilidade à água doce foram conduzidos por BRANCO (1986), com *plugs* de testemunhos do poço 8-SZ-213-SE, coletados de intervalo com baixo teor de corrensitita. Desta feita, foram utilizados fluxo de água da própria formação, água doce da estação de Oiteirinhos, água salgada das estações I e II (composição química na tabela II) e água destilada. Os danos causados à permeabilidade pelo fluxo de água doce ou mesmo pela água destilada foram mínimos (figs. 5 e 6), com exceção das amostras 480,70 m e 555,60 m: na primeira, em função da presença de ilita-esmectita; na segunda, em função do elevado teor de argilas

detríticas que preenchiam os poros.

As diferenças nos resultados obtidos por MONTEIRO (1980) e BRANCO (1986) parecem estar vinculadas quase sempre a presença ou ausência de corrensitita nas amostras utilizadas nos testes, pois ne-

nhuma outra variação mineralógica importante foi detectada entre os dois poços.

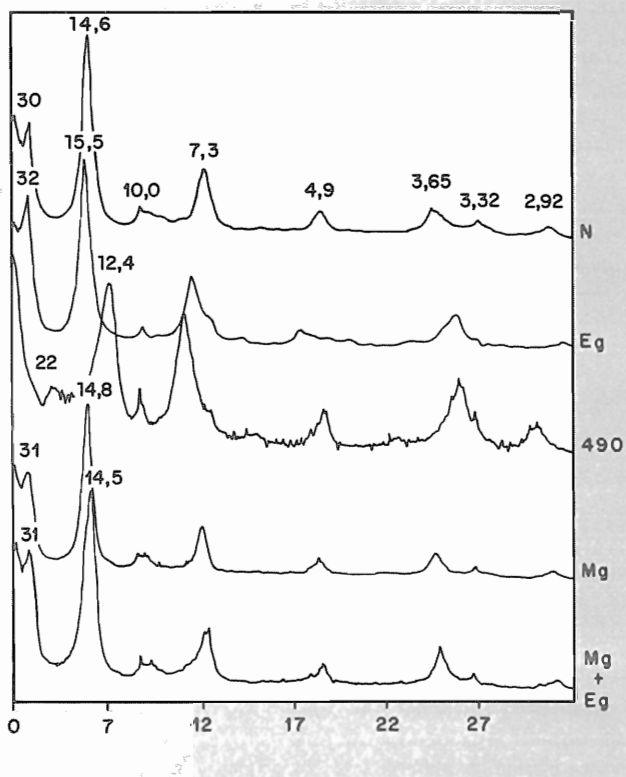


Fig. 1 - Comportamento da corrensitita na difração de raios X. Amostras no estado natural (N), glicolada (Eg), aquecida (490,5 h), tratada com solução 1,0 N de Mg^{+2} (Mg) e glicolada após tratamento com Mg^{+2} (Mg + Eg). Valores sobre os picos em Å. Escala horizontal em graus (2θ). Poço SZ-176, 429,8 m, fração $< 2\ \mu m$ de amostra de arenito.

TABELA I

ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X E ANÁLISE DE CÁTIONS INTERCAMBIÁVEIS NA FRAÇÃO $\leq 2\ \mu m$ DE ARENITOS DO POÇO SZ-176 (MODIFICADO DE MONTEIRO, 1980)

Prof. (m)	Zona	Argilominerais (%)				Cátions Intercambiáveis (meq/100 g)						Razão Ca^{+2}/Na^{+}
		Corr.	I	C	I-V	Ca^{+2}	Na^{+}	Mg^{+2}	K^{+}	Mn^{+4}	Total	
429,10	2	75	20	5	—	77,8	40,9	2,5	0,51	1,50	123,0	1,90
430,52	2	—	—	—	—	84,8	78,3	3,3	0,51	1,50	168,0	1,08
432,45	2	80	10	10	—	75,3	39,1	3,3	0,51	0,70	119,0	1,93
440,95	2	60	25	15	—	21,5	26,5	17,3	0,51	1,50	67,3	0,81
450,74	2	45	45	10	—	17,5	28,7	5,8	0,51	0,44	53,0	0,61
459,06	3	10	55	30	05	16,5	11,3	8,2	0,51	0,70	37,2	1,46
481,70	4	15	55	30	—	11,5	57,9	4,1	0,77	0,07	74,3	0,20

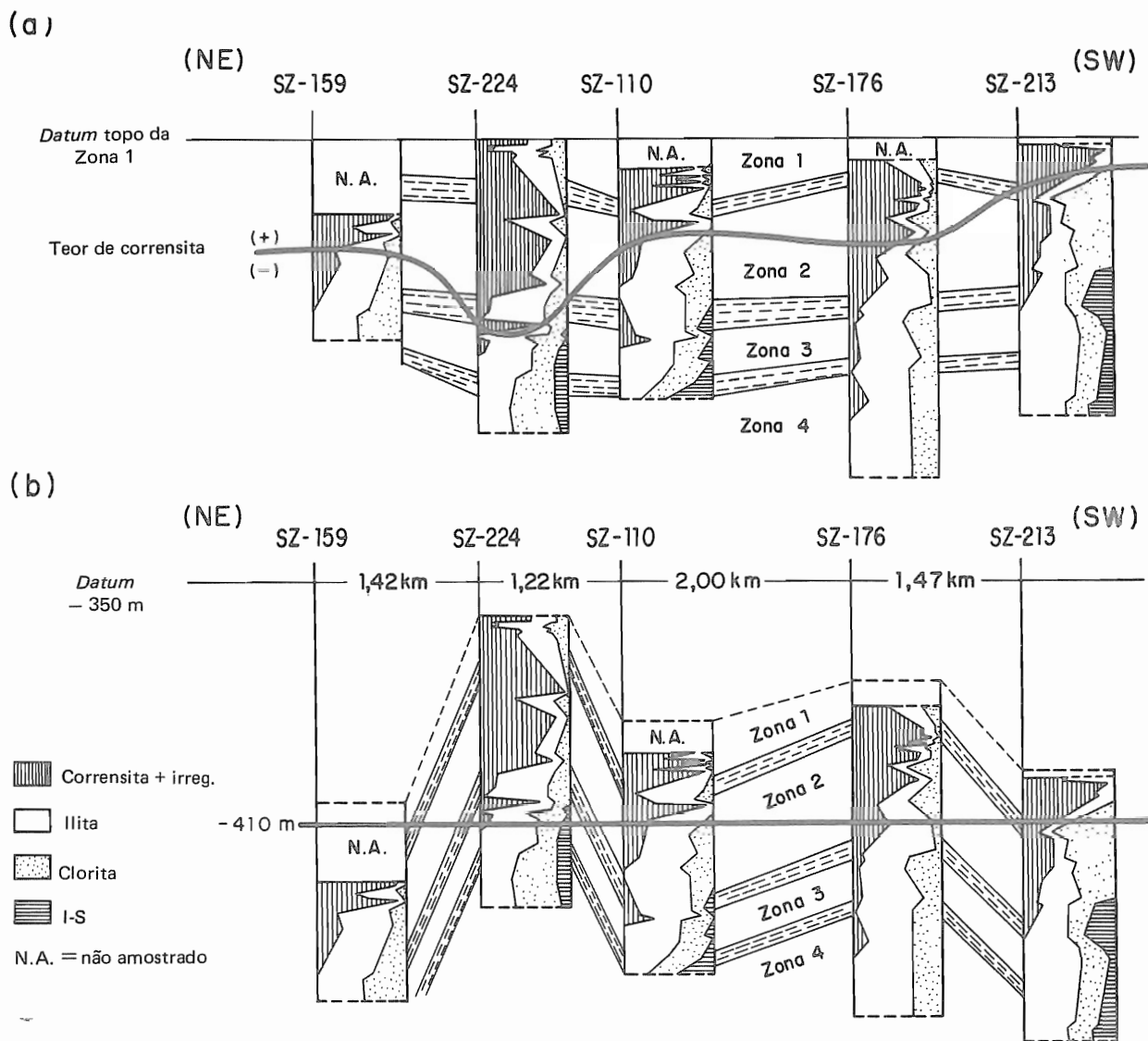


Fig. 2 - Seções geológicas (a) estratigráfica e (b) estrutural com resultados das análises difratométricas da fração menor que $2 \mu\text{m}$ de arenitos e de folhelhos.

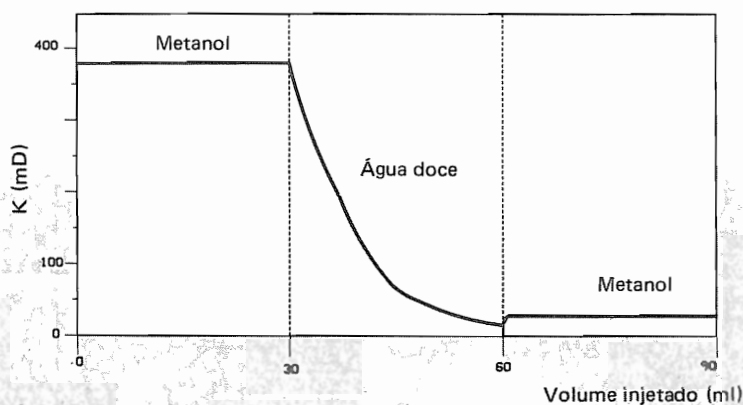


Fig. 3 - Comportamento de uma amostra sensível ao fluxo de água doce utilizada nos testes de MONTEIRO (1980). Poço 7-SZ-176-SE, 431,5 m.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A corrensita, um argilomineral interestratificado expansivo, pode ocorrer revestindo grãos detríticos nos reservatórios do Membro Carmópolis no Campo de Siririzinho;
- Testes de susceptibilidade ao fluxo de água doce realizados por MONTEIRO (1980) com *plugs* do poço 7-SZ-176-SE e por BRANCO (1986) com *plugs* do poço 8-SZ-213-SE obtiveram resultados opostos: no primeiro, o fluxo de 30 volumes porosos de água doce foi responsável por perdas de permeabilidade de 70% em média, ao passo que no segundo o fluxo de água doce não causou gran-

TABELA II

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS UTILIZADAS NOS TESTES DE SUSCEPTIBILIDADE (mg/l)

Íons	(a)	(b)	(c)
Na ⁺	10,0	43,0	45 775
K ⁺	9,5	SD	SD
Ca ⁺²	2,2	48,0	1 681
Mg ⁺²	1,1	21,3	864
Fe ⁺² , Fe ⁺³	16,0	SD	SD
Ba ⁺²	< 5,0	SD	SD
Sr ⁺²	< 5,0	SD	SD
Cl ⁻	17,0	51,8	76 106
OH ⁻	AUS	SD	SD
CO ₃ ⁻²	AUS	SD	SD
HCO ₃ ⁻	14,0	SD	SD
Densidade	0,9983	1,010	1,080
pH	7,30	7,60	8,30
Resist. (ohm-m)	56	—	—
Salinidade	—	85,4	125 576
Força iônica	0,00165	0,00576	2,059

a) Água de torneira do CENPES, utilizada por MONTEIRO (1980);
 b) Água reconstituída da estação de Oiteirinhos;
 c) Água reconstituída das estações I e II;
 (b) e (c) conforme BRANCO (1986).
 AUS = não detectado pelo método;
 SD = sem determinação.

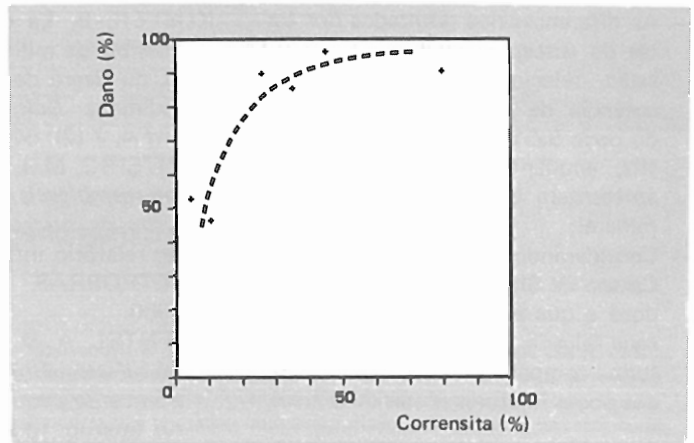


Fig. 4 - Dano à permeabilidade causado pelo fluxo de água doce em amostras de arenito do poço 7-SZ-176-SE, em função do teor de corrensita obtido por análises difratométricas da fração menor que 2 µm.

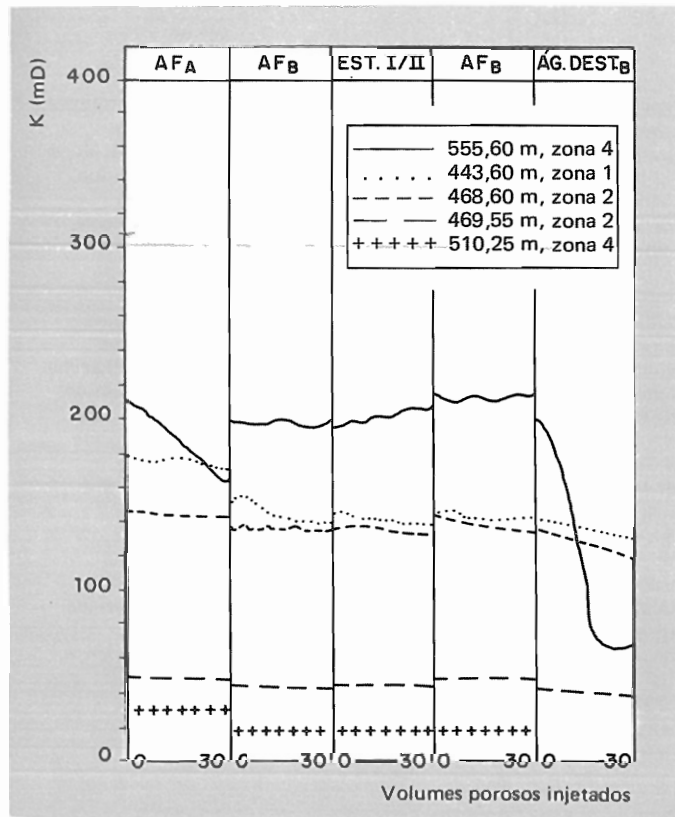


Fig. 5 - Testes de susceptibilidade com *plugs* do poço SZ-213 através do fluxo de água da formação (AF), água das estações I e II (EST. I/II), e água destilada (ÁG. DEST.). AFA e AFB indicam sentidos opostos de fluxo. Modificado de BRANCO (1986).

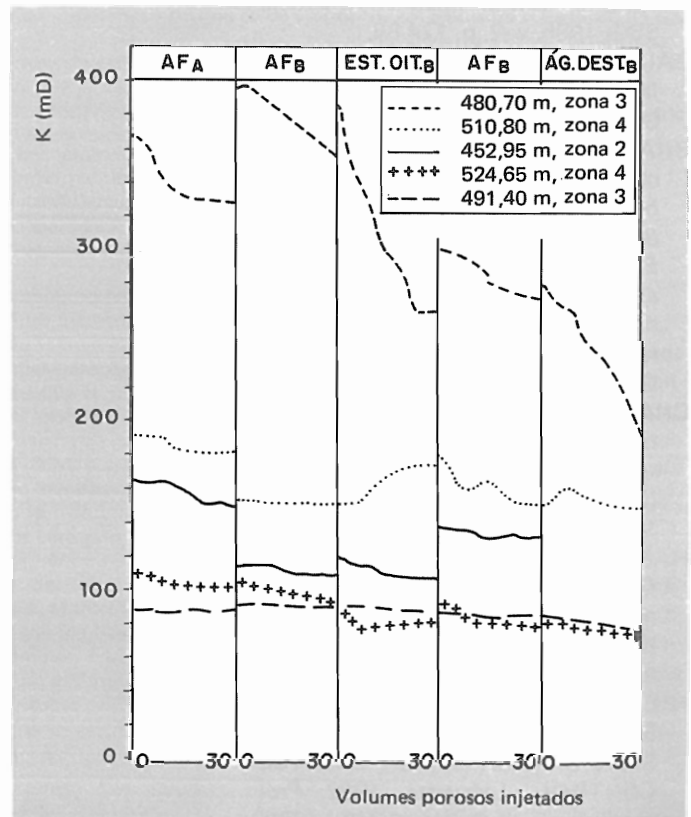


Fig. 6 - Testes de susceptibilidade com *plugs* do poço 8-SZ-213-SE através do fluxo de água da formação (AF), água da estação de Oiteirinhos (EST. OIT.) e água destilada (ÁG. DEST.). AFA e AFB indicam sentidos opostos de fluxo. Modificado de BRANCO (1986).

- des danos à permeabilidade;
- As diferenças nos resultados dos testes de susceptibilidade à água doce estão relacionadas a presença ou ausência de corrensite: as amostras do poço SZ-176 são ricas em corrensite, enquanto as do poço SZ-213 apresentam baixo teor desse argilo-mineral;
 - Considerando-se que em parte do Campo de Siririzinho é injetada água doce e que em outra parte se injeta água salgada, sugere-se efetuar um estudo comparativo do desempenho dos poços injetores nessas duas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. A. & RODRIGUES, R. Origem e implicações climáticas dos minerais de argila dos folhelhos da Bacia do Médio Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Belém. *Anais* . . . Belém, SBG, 1985. v. 2, p. 174-88.
- BAILEY, S. W. Nomenclature for regular interstratifications. *Clay Sci.*, 5: 305-11, 1981.
- BRANCO, C. C. M. *Estudo de sensibilidade de amostras da Formação Muri-beca/Membro Carmópolis - poço 8-SZ-213-SE - a água de injeção da Estação Oiteirinhos e a mistura das águas das Estações I e II de Siririzinho*; relatório interno. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES. DIGER, 1986.
- CHANG, H. K. *Diagenesis and mass transfer in cretaceous sandstone sequences, offshore Brazil*. Evanston, Illinois Northwestern University, 1983. Tese de Doutorado.
- HANCOCK, N. J. & TAYLOR, A. M. Clay mineral diagenesis and oil migration in the Middle Jurassic Brent Sand Formation. *J. Geol. Soc. London*, 135: 69-72, 1978.
- HILL, D. G. Clay stabilization; criteria for best performance. In: SYMPOSIUM ON FORMATION DAMAGE CONTROL, Lafayette, 1982. *Proceedings* . . . Dallas, AIME, 1982. p. 127-38. (SPE. Paper, 10656).
- HOWER, W. F. Influence of clays on the production of hydrocarbons. In: SYMPOSIUM ON FORMATION DAMAGE CONTROL, New Orleans, 1974. *Proceedings* . . . Dallas, AIME, 1974. p. 165-75 (SPE. Paper, 4785).
- KÜBLER, B. La corrensite, indicateur possible de milieux de sédimentation et du degré de transformation d'un sédiment. *Bull. Centre Rech. PAUSNPA*, 7 (2): 543-56, nov. 1973.
- MONTEIRO, M. I. C. *Estudo de cátions intercambiáveis do poço SZ-176, e testes de susceptibilidade a água doce*; relatório interno. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES. DIGER, 1980.
- PIMENTEL, A. M. & REHIM, H. *Análises difratométricas e microscopia eletrônica do poço 8-SZ-213-SE*; relatório interno. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES. DIGER, 1984.
- RAMOS, A. N. & FORMOSO, M. L. L. *Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES, 1975.
- (Ciência-Técnica-Petróleo. Seção Exploração de Petróleo, 9).
- REED, M. G. Stabilization of formation clays with hydroxy-aluminum solutions. *J. Pet. Tech.*, 24: 860-5, July 1972.
- SOMBRA, C. L. *Sedimentação, diagênese e alguns aspectos relacionados com potencial de dano nos reservatórios Carmópolis do Campo de Siririzinho, Bacia de Sergipe-Alagoas*. Ouro Preto, UFOP, 1987. Tese de Mestrado.
- VELEY, C. D. How hydrolizable metal ions react with clays to control formation water sensitivity. *J. Pet. Tech.*, 21: 1111-8, Sept. 1969.
- WEBB, J. E. Relation of oil migration to secondary clay cementation, Cretaceous sandstones, Wyoming. *AAPG Bull.*, 58: 2245-9, 1974.

ABSTRACT

The description of mineralogy associated with porous medium as well as its morphology and distribution, is used in the reinterpretation of previously conducted fresh-water sensitivity tests with core plugs of the Siririzinho oil-field, Sergipe-Alagoas Basin, northeast Brazil.

The oil productive intervals are crossbedded lithic sandstones and conglomerates of the Lower Cretaceous Carmópolis Member, lying between the depths of 400 and 600 meters. The reservoir rocks are interbedded with shales, siltstones and laminated limestones, and are overlain by gypsum and halite. A depositional model of alluvial fans prograding over a lacustrine system has been proposed to explain the deposition of the Carmópolis Member.

Corrensite (a swelling mixed-layer clay mineral) coating of detrital grains, extensive dolomitization, and generation of secondary porosity by dissolution of dolomite cement are the major diagenetic

events within the field area. The corrensite occurs at the top of the Carmópolis Member, reflecting its common association with evaporites. No precise information regarding the nature of the swelling component of the corrensite is available. Calcium and sodium are the most important exchangeable cations.

Fresh-water sensitivity tests conducted previously with core plugs of the well 7-SZ-176-SE led to the conclusion that the reservoirs were extremely water-sensitive. New tests conducted recently with core plugs of the well 8-SZ-213-SE led to the opposite conclusion. The corrensite content of the samples seems to be the major control over their fresh-water sensitivity, that is, the greater the corrensite content of the sample, the greater the damage to the permeability, caused by a fresh-water flow through the rock. The samples from the well 7-SZ-176-SE are mostly corrensite-rich, whereas in the well 8-SZ-213-SE corrensite-free samples predominate.