

CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM DO MARCO "3-DEDOS" (SANTONIANO) DA BACIA DE CAMPOS

CHARACTERIZATION AND ORIGIN OF THE "3-DEDOS" MARKER BED (SANTONIAN) OF THE CAMPOS BASIN

Luiz Fernando Guimarães Caddah¹, Daisy Barbosa Alves², Mauro Hanashiro¹ e Ana Maria Pimentel Mizusaki²

RESUMO - O Marco "3-Dedos" da seção pelítica santoniana da Formação Ubatuba (Bacia de Campos) é caracterizado nos perfis elétricos por três picos de baixa resistividade e porosidade muito alta. Cada pico corresponde a uma camada de 1 a 2 m de espessura de argilito cinza-esverdeado, altamente higroscópico, homogêneo e não-bioturbado. Estas camadas estão separadas entre si por 5 a 10 m de folhelhos e siltitos intensamente bioturbados, relacionados à sedimentação marinha normal da bacia. Em contraste com estas rochas pelíticas poliminerálicas, os argilitos são compostos, quase exclusivamente, por interestratificados illita/esmectita dioctaédricos, homogêneos, altamente expansíveis e desordenados. Os altos teores de água livre agregada a estes minerais, são responsáveis pelos baixos valores de resistividade medidos. A porosidade anômala corresponde à microporosidade criada pela distribuição aleatória de seus diminutos cristais. O modo de ocorrência dos argilitos sugere que sua origem se deu a partir da deposição de cinzas vulcânicas de composição traquítica, atualmente muito alteradas. Assim, os argilitos podem ser classificados como bentonitas, com base tanto no critério composicional quanto no genético. Originando-se por meio de eventos sucessivos de curta duração, o Marco "3-Dedos" representa um horizonte ideal para correlação cronoestratigráfica. Ele pôde ser rastreado por uma área extensa da Bacia de Campos, incluindo, até agora, os campos de Marimbá e Piraúna, a área do poço RJS-116 e parte dos campos de Enchova, Pampo e Bonito.

(Originais recebidos em 09.06.93).

ABSTRACT - The "3-Dedos" Marker bed, which appears in the Santonian pelitic section of the Ubatuba Formation in the SE of the Campos Basin, is characterized in electrical well-logs by three peaks of low resistivity and very high porosity. Each peak corresponds to a 1 to 2 m thick bed of greenish gray, highly hygroscopic, homogeneous and nonbioturbated claystone. These beds are separated by 5 to 10 m of intensely bioturbated shales and siltstones representing the usual marine sedimentation. Contrasting with these polymineralic pelitic rocks, the claystones are almost exclusively composed of homogeneous, highly expandable and disordered dioctahedral illite/smectite mixed-layers. The high free water content of these minerals is responsible for the low resistivity values that were determined. The anomalous porosity corresponds to the microporosity created by the random distribution of the minute crystals. The mode of occurrence of the claystones suggests their origin from the deposition of trachytic volcanic ashes that are deeply altered. For these reasons, based on compositional and genetic criteria as well, such claystones can be classified as bentonite. The "3-Dedos" Marker bed was originated by successive brief events and represents an ideal horizon for chronostratigraphic correlation. It was possible to trace this marker over an extensive area of the Campos Basin that covers, up to the present, the Marimbá and Piraúna oil fields, the area of the RJS-116 wildcat well, and part of the Enchova, Pampo and Bonito oil fields.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

1 - INTRODUÇÃO

Denomina-se informalmente de Marco "3-Dedos" a um conjunto de feições de perfis elétricos observado em frente à seção pelítica santoniana da Formação Ubatuba (fig. 1), acima dos reservatórios turbidíticos cretácicos (Formação Carapebus) de alguns campos de petróleo da

área sul da Bacia de Campos. O Marco "3-Dedos" caracteriza-se por três picos bem nítidos no perfil indução, com resistividade muito baixa, e, no perfil sônico, pelo tempo de trânsito muito elevado (figs. 2A e 2B). Cada pico apresenta, de maneira geral, espessura da ordem de 1 e 2 m, estando separados entre si por 5 a 10 m de folhelhos e siltitos.

1 - E & P BC/GEXP/GELAB, Av. Elias Agostinho, 665, Imbetiba, CEP 27913-350, Macaé, RJ, Brasil.

2 - Setor de Tectônica (SETEC), Divisão de Exploração (DIVEX), Centro de Pesquisas (CENPES), Cidade Universitária, Quadra 7, Ilha do Fundão, CEP 21949-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

O Marco "3-Dedos" vem sendo utilizado com freqüência na correlação estratigráfica entre poços exploratórios e de desenvolvimento. Sua caracterização litológica só foi realizada recentemente, após a testemunhagem específica no poço nº 2 do Campo de Marimbá (Caddah e Hanashiro, 1990 e 1991). Os objetivos principais deste trabalho são a descrição litológica, mineralógica, petrográfica e química das rochas do Marco "3-Dedos", no referido poço, e a correlação destas propriedades com as feições diagnósticas dos perfis elétricos, no intuito de explicar sua resposta característica nos perfis elétricos. Realizou-se, também, o rastreamento preliminar do marco em parte da região sul da Bacia de Campos (fig. 3) e discute-se sua origem e diagênese.

porosidade entre 40 e 45%, exibindo forte contraste com os folhelhos e siltitos associados, que não passam de 27%.

No perfil de raios gama (GR), as leituras do Marco "3-Dedos" são, usualmente, de 10 a 30° API menores que as dos folhelhos adjacentes. Neste segundo caso, o marco apresenta um padrão grafoelétrico similar ao de um siltito ou arenito argiloso.

É muito comum o cáliber excessivo ou "poço arrombado" frente ao marco. Contudo, de modo geral, os perfis apresentam leituras confiáveis. Por exemplo, o valor de densidade para as rochas do marco, obtido por intermédio do perfil densidade do poço nº 2 (fig. 4), é de 1,75 a 2,05 g/cm³, e não é discrepante com o valor determinado em laboratório (2,0 g/cm³).

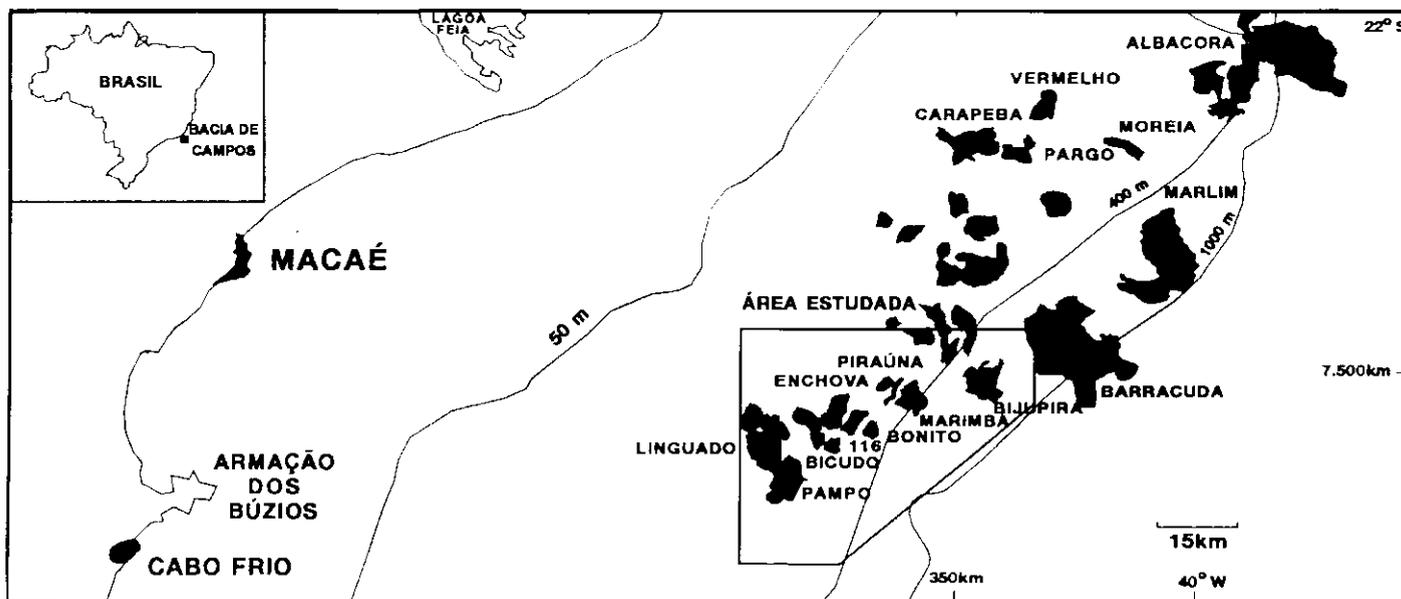


Fig. 3 - Mapa de localização da Bacia de Campos. O rastreamento do Marco "3-Dedos" foi realizado na área delimitada e os testemunhos analisados pertencem ao Campo de Marimbá.

Fig. 3 - Location map, Campos Basin. The "3-Dedos" Marker bed has been traced within the bounded area. The analysed core samples were collected from the Marimbá oil field.

2 - CARACTERIZAÇÃO

2.1 - Perfis Elétricos

O Marco "3-Dedos" é facilmente reconhecível nos perfis de resistividade, de tempo de trânsito sônico e de densidade/neutrão, uma vez que apresenta características de rocha muito porosa e saturada por água salgada (fig. 2).

No poço estudado, os valores de resistividade são baixos, entre 0,6 e 0,8 ohm.m, e os tempos de trânsito sônico são elevados, entre 110 e 140 microseg/pé (fig. 4).

Os perfis de densidade indicam valores bem baixos (entre 1,73 e 2,25 g/cm³) quando comparados com os folhelhos e siltitos encaixantes (2,40 e 2,45 g/cm³). No perfil neutrão, as leituras são sempre anômalas, com valores de

2.2 - Litologia

Os testemunhos do poço nº 2 do Campo de Marimbá recuperaram apenas dois dos três "dedos" que compõem usualmente o marco estudado. As espessuras recuperadas foram de 0,95 e 0,85 m (fig. 4).

Cada "dedo" é constituído por argilito de cor cinza-esverdeada 5G 4/1 (Geological Society of America, 1980), com aspecto grumoso, quebradiço e com partição irregular, extremamente higroscópico e não-bioturbado (foto 1). Todas estas características o distinguem sobremaneira dos folhelhos e siltitos associados (Caddah e Hanashiro, 1991), de cor cinza menos esverdeada 5GY 4/1, muito sílticos, calcíferos, bandeados, fossilíferos (foraminíferos, nanofósseis) e intensamente bioturbados (foto 2).

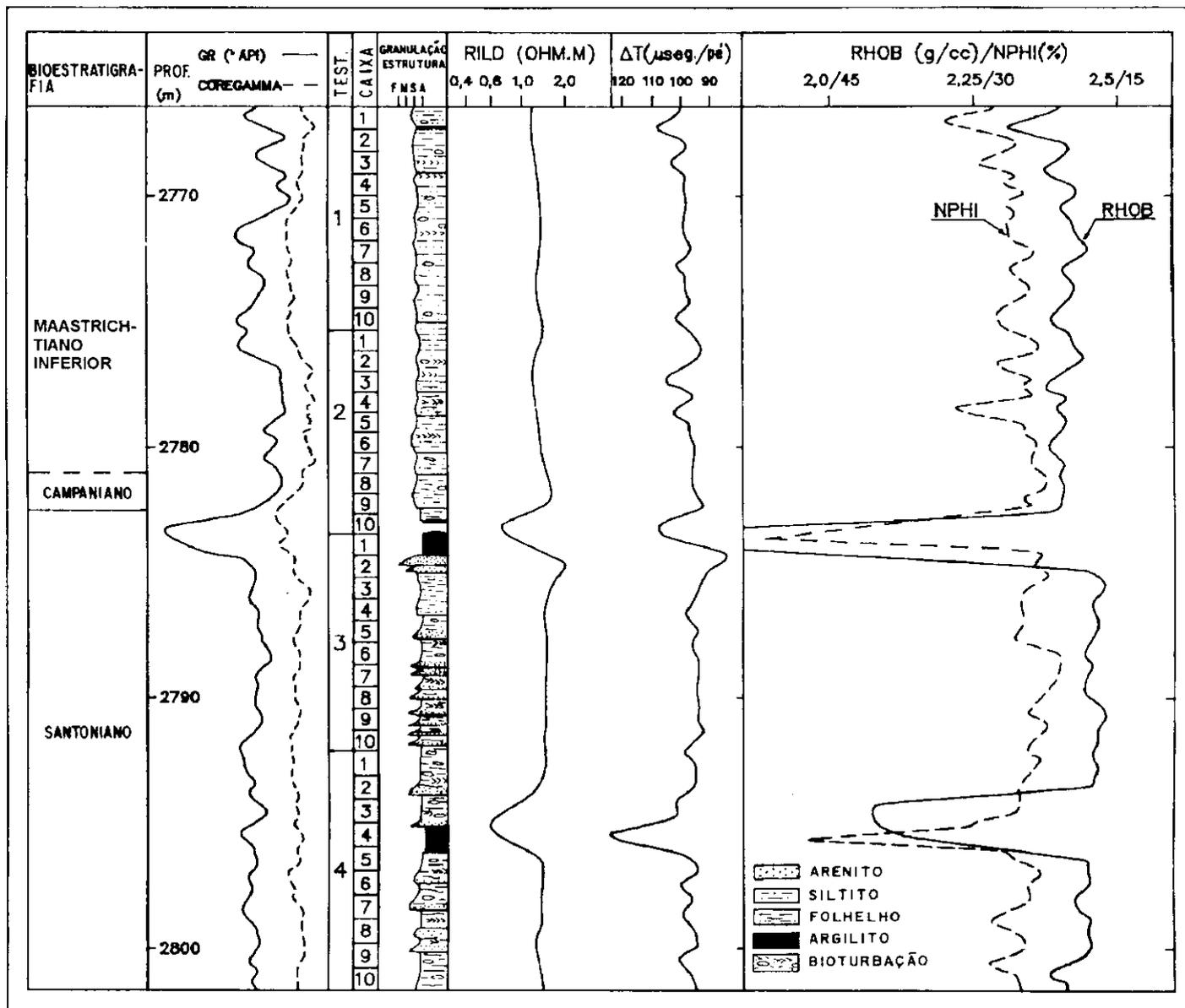


Fig. 4 - Perfis elétricos e descrições de testemunho do poço nº 2, Campo de Marimbá (dados de Caddah e Hanashiro, 1991). (Localização do poço fig. 9). Análise bioestratigráfica de acordo com Martins (1991).

Fig. 4 - Well-logs and core sample descriptions from well # 2, Marimbá field (data from Caddah and Hanashiro, 1991). (See fig. 9 for well location). Biostratigraphical analysis after Martins (1991).

Os dois "dedos" testemunhados possuem contatos basais abruptos. Quanto ao topo, ele é abrupto no "dedo" inferior e gradacional no superior, junto ao folhelho encaixante. Nos testemunhos estudados, quatro outros níveis de argilitos semelhantes foram ainda descritos, porém eles apresentaram espessura em torno de 5 cm, ou seja, muito delgados para serem detectados pelos perfis elétricos. Além disso, estes outros argilitos encontram-se, em parte, bioturbados e misturados aos folhelhos adjacentes.

2.3 - Idade

Quatro amostras de rochas dos "dedos" testemunhados (fig. 4) foram coletadas especificamente para serem datadas pelo método de nanofósseis calcários. Três delas revelaram-se estéreis e a quarta, posicionada no topo do "dedo" superior (2 784,0 m), com sinais de bioturbação e raros espécimes, foi datada na Zona N-260 (Martins, 1991).

Segundo o último zoneamento estabelecido na PETROBRAS para o Cretáceo Superior (Cunha *et al.* 1993), o topo da Zona N-260 deixou de coincidir com o topo do Santoniano e passou a ser marcado, mais acima, no Campaniano Inferior. Desta forma, o posicionamento preciso do limite Santoniano/Campaniano passou a ser problemático em rochas que apresentam espécimes pouco abundantes, como as do poço testemunhado. Contudo, a biozona N-260 foi melhor caracterizada nos folhelhos adjacentes, que, embora também não sejam ricos em espécimes, apresentam uma associação mais característica do Santoniano.



Foto 1 - Argilito do Marco "3-Dedos" no poço estudado, evidenciando sua textura macroscópica homogênea peculiar (testemunho nº 2, intervalo 2 796,1/2 796,2 m).

Photo 1 - Claystone of the "3-Dedos" Marker bed from the well under study, showing its peculiar homogeneous macroscopic texture (core sample # 2, interval 2 796.1 to 2 796.2 m).

A idade santoniana do Marco "3-Dedos" foi confirmada ainda pela análise dos foraminíferos plântônicos (Oscar Strohschoen Jr., comunicação verbal) que apresentam, a partir da profundidade de 2 783,0 m, uma associação faunística correspondente à Zona F-120.5 de Beurlen *et al.* (1992).

2.4 - Mineralogia

A composição mineralógica das rochas pelíticas

testemunhadas foi determinada principalmente por difratometria de raios X.



Foto 2 - Folhelhos e siltitos interaminados do Marco "3-Dedos" no poço estudado, inteiramente bioturbados, onde se destacam os traços fósseis *Zoophycos* (Z) e *Helminthopsis* (H) (testemunho nº 2, intervalo 2 797,9/2 798,0 m).

*Photo 2 - Interaminated shales and siltstones of the "3-Dedos" Marker bed from the well under study, throughout bioturbated, showing *Zoophycos* (Z) and *Helminthopsis* (H) trace fossils (core sample # 2, interval 2 797.9 to 2 798.0 m).*

2.4.1 - Método

A mineralogia total foi obtida por meio do método do pó desorientado, utilizando-se os difratômetros de raios X JEOL JDX-830 (anodo de cobre, filtro de níquel, fendas de 1°, 35 mA, 40 kV) e Philips PW1710 (anodo de cobre, monocromador de grafite, fendas de 1°, 35 mA e 40 kV). Os teores relativos dos minerais identificados são semiquantitativos e foram calculados seguindo o método de padrões externos de Schultz (1964).

Os argilominerais foram analisados na fração < 2µm pelo método do pó orientado, após extração segundo os procedimentos de Alves (1987). As análises foram efetuadas no difratômetro de raios X, modelo Rotaflex RU 200Z da RIGAKU (anodo de cobre, monocromador de grafite, fendas de 1°, 80 mA e 40 kV). Os teores relativos semiquantitativos dos tipos de argilominerais foram calculados com base na intensidade da reflexão mais representativa de cada mineral.

2.4.2 - Resultados

Os folhelhos do Marco "3-Dedos" são constituídos por uma gama diversificada de minerais em teores variados (tabela I), incluindo: quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, calcita, micas e argilominerais. As micas também foram observadas no microscópio ótico. Sua proporção nas amostras não pôde ser estimada individualmente, de modo que foram quantificadas junto aos outros filossilicatos. Os argilominerais identificados na fração <2 μ m foram: interstratificados illita/esmectita desordenados (com cerca de 50 a 55% do componente illita, em média, usando-se a

razão vale/pico de Hoffman, 1976); illita, clorita; e, mais raramente e sempre em baixos teores, interstratificados clorita/esmectita (tabela II).

Os argilitos do Marco "3-Dedos" caracterizam-se por uma composição praticamente monominerálica de argilominerais interstratificados do tipo illita/esmectita (tabelas I e II). Localmente, entretanto, pode-se encontrar pequenas quantidades de quartzo, calcita e analcima.

Difratogramas representativos da mineralogia total e da fração <2 μ m (figs. 5 e 6, respectivamente) ilustram as diferenças marcantes do conteúdo mineral dos folhelhos e dos argilitos do Marco "3-Dedos".

TABELA I / TABLE I

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA TOTAL DOS FOLHELHOS E SILTITOS E DOS ARGILITOS DO MARCO "3-DEDOS" NO POÇO ESTUDADO
WHOLE ROCK MINERALOGICAL COMPOSITION OF SHALES, SILTSTONES AND CLAYSTONES OF THE "3-DEDOS" MARKER BED FROM THE WELL UNDER STUDY

P.S. (m)	P.P. (m)	Test.(n°)	QTZ	K-FD	PLA	CAL	ANA	ARG
Folhelhos e Siltitos								
2783,70	2782,5	02	20	14	9	20	-	37
2786,65	2785,1	03	24	15	24	10	-	27
2787,50	2785,9	03	30	-	20	20	-	30
2788,10	2786,6	03	18	17	18	17	-	30
2788,60	2787,0	03	19	9	19	14	-	39
2794,95	2793,5	04	29	14	15	15	-	27
2799,65	2798,2	04	23	9	14	18	-	36
Valores Médios			24	11	17	16	-	32
Argilitos								
2785,10	2783,5	03	5	-	-	5	-	90
2785,65	2784,0	03	-	-	-	-	-	100
2785,75	2784,1	03	-	-	-	-	-	100
2785,85	2784,2	03	-	-	-	-	-	100
2797,30	2795,7	04	-	-	-	-	tr	100
2797,55	2795,9	04	-	-	-	-	-	100
2797,70	2796,1	04	-	-	-	tr	-	100
Valores Médios			tr	-	-	tr	-	99

Obs.: P.S. = profundidade do sondador; P.P. = profundidade em perfil; Test. = número do testemunho; QTZ = quartzo; K-FD = feldspato potássico; PLA = plagioclásio; CAL = calcita; ANA = analcima; ARG = total de argilominerais + micas; tr = traços e - = não-detectado.

Note: P.S. = drilling depth; P.P. = log depth; Test. = core sample #; QTZ = quartz; K-FD = potassic feldspar; PLA = plagioclase; CAL = calcite; ANA = analcime; ARG = total of clay minerals + micas; tr = trace; - = nil.

TABELA II / TABLE II

COMPOSIÇÃO DOS ARGILOMINERAIS DA FRAÇÃO < 2 μ m DOS FOLHELHOS E SILTITOS E DOS ARGILITOS DO MARCO "3-DEDOS" DO POÇO ESTUDADO
CLAY MINERAL COMPOSITION OF THE < 2 μ m FRACTION OF SHALES, SILTSTONES AND CLAYSTONES OF THE "3-DEDOS" MARKER BED FROM THE WELL UNDER STUDY

P.S. (m)	P.P. (m)	Test.(n°)	I/S	CLO	ILI	C/S
Folhelhos e Siltitos						
2783,70	2782,5	02	60	tr	40	-
2786,65	2785,1	03	50	15	20	15
2787,50	2785,9	03	60	tr	40	-
2788,10	2786,6	03	70	tr	30	tr
2788,60	2787,0	03	55	tr	45	-
2794,95	2793,5	04	60	tr	40	-
2799,65	2798,2	04	55	tr	45	-
Valores Médios			59	2	37	2
Argilitos						
2785,10	2783,5	03	100	-	-	-
2785,65	2784,0	03	100	-	-	-
2785,75	2784,1	03	100	-	-	-
2785,85	2784,2	03	100	-	-	-
2797,30	2795,7	04	100	-	-	-
2797,55	2795,9	04	100	-	-	-
2797,70	2796,1	04	100	-	-	-
Valores Médios			100	-	-	-

Obs.: P.S. = profundidade do sondador; P.P. = profundidade em perfil; Test. = número do testemunho; I/S = interstratificados illita/esmectita; CLO = clorita; ILI = illita; C/S = interstratificados clorita/esmectita; tr = traços e - = não-detectado.

Note: P.S. = drilling depth; P.P. = log depth; Test. = core sample #; I/S = illite/smectite mixed-layers; ILI = illite; CLO = chlorite; C/S = chlorite/smectite mixed-layer; tr = trace; - = nil.

O interestratificado illita/esmectita dos argilitos do Marco "3-Dedos" é homogêneo, com arranjo irregular e altamente expansivo, com composição próxima à da esmectita pura (fig. 6). A presença deste interestratificado nas amostras foi inicialmente detectada pela ausência da série racional de reflexões harmônicas características das esmectitas puras. Contudo, a identificação do outro componente na estrutura do interestratificado é sempre difícil quando o teor de esmectita se faz tão elevado (cerca de 85 a 90%, em média), já que o padrão de difração é similar ao de vários tipos de interestratificados contendo altos teores do componente esmectita (Reynolds, 1980). No caso, a presença do componente illita foi confirmada pelos teores de

potássio das amostras (item 2.5) e pelo caráter dioctaédrico do mineral, observado nos difratogramas.

Em função da sua composição mineralógica específica, os argilitos do Marco "3-Dedos" poderiam ser classificados como "bentonitas" segundo Grim e Güven (1978), que consideram como tal "toda argila composta predominantemente por esmectita e cujas propriedades físicas são ditadas por este argilomineral". Todavia, não existe consenso no emprego deste termo pela comunidade geológica (Grim e Güven, 1978; Fisher e Schmincke, 1984; Chamley, 1989). Para evitar polêmicas, prefere-se empregar, no momento, o termo "argilito", que é essencialmente descritivo de propriedades texturais.

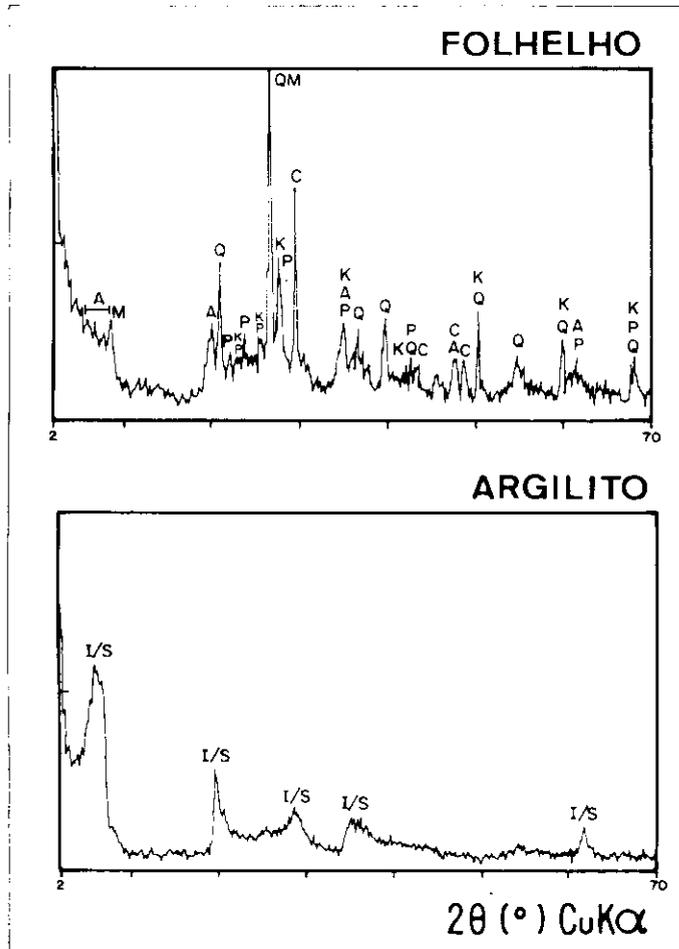


Fig. 5 - Difratogramas representativos da mineralogia total dos argilitos do Marco "3-Dedos" (2 785,85 m do testemunho 3) e dos folhelhos adjacentes (2 783,70 m do testemunho 2). Apenas as reflexões mais intensas encontram-se identificadas.

Q = quartzo; P = plagioclásio; K = feldspato potássico; M = mica; C = calcita; A = argilominerais não especificados; e I/S = interestratificados illita/esmectita.

Fig. 5 - Typical diffraction patterns of the whole rock mineralogical analyses of the "3-Dedos" Marker bed claystones (core sample # 3 at 2 785.85 m), and of the surrounding shales (core sample # 2 at 2 783.70 m). Only the most intense reflections are identified.

Q = quartz; P = plagioclase; K = potassic feldspar; M = mica; C = calcite; A = nonspecified clay minerals; I/S = illite/smectite mixed-layer.

2.5 - Composição Química

As análises químicas por fluorescência de raios X de amostras dos argilitos e dos folhelhos e siltitos do Marco "3-Dedos" foram realizadas com o intuito de se avaliar o grau de homogeneidade química destas rochas e de se correlacionar suas variações com aquelas observadas nos perfis elétricos. Determinações do teor de calcita e de carbono orgânico também foram efetuadas.

2.5.1 - Métodos

A composição química total das amostras foi determinada por meio do espectrômetro de fluorescência de raios X, marca Philips 1480, usando tubo de Rh. As amostras, fundidas em tetraborato de lítio, em proporção amostra: fundente de 1:5, foram analisadas utilizando-se um modelo matemático misto (Rehim e Estrada, 1991) que inclui parâmetros fundamentais e regressão matemática para eliminação de interferências óticas. Foram escolhidas 13 amostras: seis dos argilitos do Marco "3-Dedos" e sete dos folhelhos adjacentes.

Os teores de Zr, Y e Nb foram obtidos também por análise de fluorescência de raios X, pelo método da pastilha, no GEOLAB da GEOSSOL (Belo Horizonte, MG).

O valor de perda ao fogo (PF) foi calculado pela variação de peso das amostras após aquecimento a 1 000 °C.

A capacidade de troca catiônica e a composição dos cátions trocáveis foram realizadas segundo os procedimentos de Khalil e Teixeira (1992), utilizando-se o espectrofotômetro de absorção atômica 5025A da Perkin-Elmer.

O teor de carbonato de cálcio foi estimado pelo volume de CO₂ liberado após pulverização e ataque por ácido clorídrico. O teor de carbono orgânico total foi obtido por combustão no aparelho LECO WR-12, após eliminação dos carbonatos por meio da lixiviação com ácido clorídrico.

2.5.2 - Resultados

Quando comparados entre si, os folhelhos e siltitos

analisados apresentaram uma composição química razoavelmente homogênea (tabela III). As maiores variações correspondem aos teores de CaO, que podem ser associadas a variações no conteúdo de carbonatos já descritas por Caddah e Hanashiro (1991). As demais variações mostram-se compatíveis com o esperado para o método de análise.

corresponde aos valores de perda de fogo, ou seja, do teor de substâncias volatilizáveis a 1 000 °C (como água e carbonatos) 12% mais elevados nos argilitos do Marco "3-Dedos". Diferenças razoáveis também são observadas nos teores de: Al₂O₃, cerca de 6% mais elevado nos argilitos "3-Dedos" devido ao maior teor de argilominerais; CaO, cerca

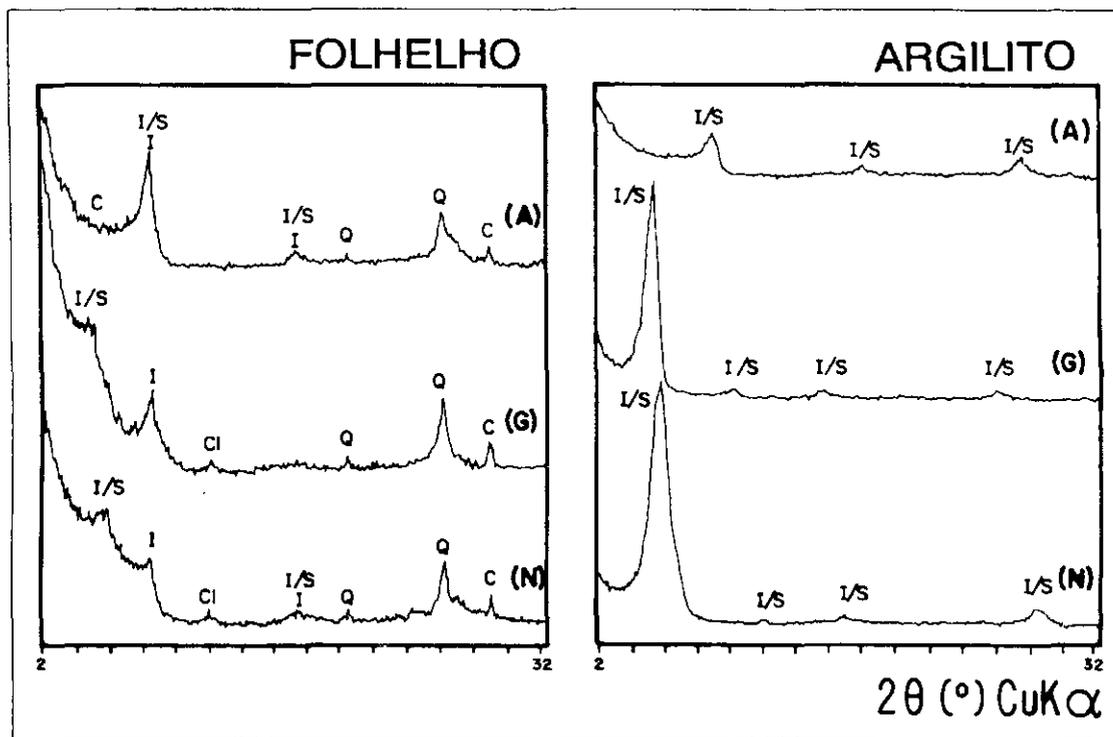


Fig. 6 - Difractogramas representativos da fração <2μ m dos argilitos do Marco "3-Dedos" (2 785,85 m do testemunho 3) e dos folhelhos adjacentes (2 783,70 m do testemunho 2).

(N) = amostra seca ao ar; (G) = amostra glicolada; (A) amostra aquecida a 490 °C. I/S = interestratificado illita/esmectita, I = illita; Cl = clorita, Q = quartzo e C = calcita.

Fig. 6 - Typical diffraction patterns of <2μ m fraction from "3-Dedos" Marker bed claystones (core sample # 3 at 2 785.85 m), and of the surrounding shales (core sample # 2 at 2 783.70 m).

(N) = air dried sample; (G) = glycolated sample; (A) = sample heated to 490 °C. I/S = illite/smectite mixed-layer, I = illite, Cl = chlorite, Q = quartz and C = calcite.

Apesar de apresentarem uma mineralogia mais uniforme (tabelas I e II), as amostras analisadas dos argilitos do Marco "3-Dedos" mostraram uma heterogeneidade química mais acentuada entre si (tabela IV) do que aquela observada entre os folhelhos e siltitos. As maiores variações correspondem aos teores de K₂O, CaO e, em menor extensão, MgO. A estas variações químicas não se atribuem variações mineralógicas sensíveis, segundo os métodos utilizados para as análises. Assim sendo, elas devem refletir variações na composição do próprio mineral expansivo (solução-sólida) constituinte dos argilitos do Marco "3-Dedos".

A comparação entre a composição química média dos folhelhos e a dos argilitos do Marco "3-Dedos" (tabelas III e IV, respectivamente) mostra que, levando-se em conta o magnitude do desvio-padrão, o teor em SiO₂ e Fe₂O₃ é igual nestes dois tipos de rochas. A diferença mais acentuada

de 4% mais elevado nos folhelhos que são, em geral, calcíferos; e K₂O, cerca de 3% mais elevado no folhelho devido, principalmente, à presença de feldspatos potássicos e de interestratificados illita/esmectita com maiores teores de potássio. As demais diferenças são, em geral, próximas ou inferiores a 1%.

A capacidade de troca catiônica média (CTC) dos argilitos (tabela V) é cerca de seis vezes aquela dos folhelhos e siltitos. Este valor é atribuído exclusivamente aos interestratificados illita/esmectita altamente expansivos destas rochas. A composição de cátions trocáveis para os dois grupos de rochas (tabela V) é também bem diferenciada. Sódio é o cátion trocável mais importante dos argilitos, seguido de cálcio, potássio e magnésio em concentrações decrescentes. Nos folhelhos e siltitos, sódio e cálcio são os cátions trocáveis disponíveis com as mesmas proporções.

TABELA III / TABLE III

RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA (% EM PESO), EM BASE SECA, DE AMOSTRAS DE FOLHELHOS E SILTITOS DO MARCO "3-DEDOS" NO POÇO ESTUDADO
OVEN-DRY BASIS CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT %) OF SHALE AND SILTSTONE SAMPLES OF THE "3-DEDOS" MARKER BED FROM THE WELL UNDER STUDY

P.S. (m)	2783,70	2786,65	2787,50	2788,10	2788,60	2794,95	2799,65	Valores Médios	Desvio-Padrão	Variação Percentual
P.P. (m)	2782,5	2785,1	2785,9	2786,6	2787,0	2793,5	2798,2			
Testemunho	02	03	03	03	03	04	04			
SiO ₂	58,69	63,44	61,73	62,82	61,61	63,55	62,32	62,02	1,65	2,7
TiO ₂	1,32	1,35	1,33	1,07	1,42	1,22	1,30	1,29	0,11	8,5
Al ₂ O ₃	15,43	14,44	13,94	14,14	14,31	14,04	14,32	14,37	0,50	3,5
Fe ₂ O ₃	8,12	6,57	7,09	5,83	8,01	6,45	6,99	7,01	0,83	11,8
Mn ₂ O ₃	0,09	0,07	0,09	0,10	0,07	0,08	0,08	0,08	0,01	12,5
MgO	4,59	3,72	3,61	3,29	4,00	3,38	3,66	3,75	0,44	11,7
CaO	5,39	3,99	5,95	6,36	4,30	5,01	4,96	5,14	0,84	16,3
Na ₂ O	2,10	2,49	2,18	2,74	2,04	2,30	2,36	2,32	0,24	10,3
K ₂ O	4,10	3,60	3,62	3,32	3,87	3,52	3,63	3,67	0,25	6,8
P ₂ O ₅	0,20	0,24	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,20	0,02	10,0
SO ₃	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-
Total	100,03	99,91	99,74	99,86	99,82	99,73	99,80	99,84	-	-
PF	12,80	8,20	10,80	9,10	10,50	9,10	9,60	10,01	1,51	15,1

Obs.: P.S. = profundidade do sondador; P.P. = profundidade do perfil; PF = perda ao fogo.

Note: P.S. = drilling depth; P.P. = log depth; PF = loss on ignition.

O teor de carbonato de cálcio (tabela VI) no argilito (1 a 1,5%) é inferior à média dos folhelhos (4,4%), refletindo o comportamento dos teores determinados de CaO. O conteúdo de carbono orgânico total (tabela VII) é mais baixo nos argilitos (0,13%, em média) do que nos folhelhos (0,27%, em média).

2.6 - Petrografia

O estudo de petrografia ótica visou, principalmente, à obtenção das relações texturais entre os componentes mineralógicos das amostras, já que sua granulometria muito fina não permitia uma boa identificação de cada uma das fases minerais unicamente pelo microscópio petrográfico.

2.6.1 - Método

Por causa do alto teor de minerais expansivos nas amostras, a montagem das lâminas petrográficas foi

realizada com uso de vaselina.

2.6.2 - Resultados

Os siltitos e folhelhos do Marco "3-Dedos" formam intercalações milimétricas (foto 3). Nos níveis mais ricos em silte, são encontrados quartzo, feldspato, raras partículas de mica dos tipos biotita e/ou muscovita e minerais opacos em matriz argilosa. Carapaças de microrganismos, inteiras ou em fragmentos, são comuns. Nos níveis mais argilosos, são observadas feições de recristalização e micas em processo de alteração. Raros fragmentos totalmente substituídos por material argiloso de cor esverdeada (clorita?) são encontrados.

Os argilitos apresentam composição mais homogênea em luz natural (foto 4), caracterizada por materiais argilosos e por material opaco. São comuns as microfaturas associadas a processos de ressecamento da preparação da lâmina petrográfica por vezes apresentando certa orientação.

O material argiloso, em luz polarizada, apresenta feições arredondadas levemente orientadas, onde, aparentemente, ocorre uma recristalização diferenciada dos seus componentes. Estes pequenos "domínios", mais ou menos ovalados, com diâmetro médio em torno de 0,1 mm, apresentam cor levemente mais esverdeada em relação ao material não-recristalizado e estão associados a minerais opacos.

dos argilitos do Marco "3-Dedos" são as responsáveis pelas suas características peculiares observadas nos perfis elétricos (item 2.1).

A baixa resistividade nos marcos se deve, principalmente, ao elevado teor de água usualmente presente em interestratificados illita/esmectita com a composição determinada e, secundariamente, à ausência de carbonatos. A porosidade anômala, muito elevada no perfil sônico, reflete

TABELA IV / TABLE IV

RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA (% EM PESO), EM BASE SECA, DE AMOSTRAS DOS ARGILITOS DO MARCO "3-DEDOS" NO POÇO ESTUDADO
OVEN-DRY BASIS CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT %) OF CLAYSTONE SAMPLES OF THE "3-DEDOS" MARKER BED FROM THE WELL UNDER STUDY

P.S. (m)	2785,10	2785,65	2785,75	2785,85	2797,55	2797,70	Valores Médios	Desvio-Padrão	Variação Percentual
P.P. (m)	2783,5	2784,0	2784,1	2784,2	2795,9	2796,1			
Testemunho	03	03	03	03	04	04			
SiO ₂	59,70	60,25	61,80	59,88	58,79	60,40	60,14	0,99	1,6
TiO ₂	0,83	0,67	0,68	0,66	0,85	0,87	0,76	0,10	13,2
Al ₂ O ₃	19,52	21,61	21,70	21,56	20,69	20,50	20,93	0,86	4,1
Fe ₂ O ₃	6,08	6,47	6,47	6,49	7,10	7,52	6,69	0,52	7,8
Mn ₂ O ₃	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,001	3,3
MgO	5,70	6,26	4,23	6,33	6,35	4,16	5,50	1,04	18,9
CaO	3,11	1,03	1,24	1,07	1,21	1,17	1,47	0,81	55,1
Na ₂ O	3,13	3,22	3,33	3,33	3,57	4,10	3,45	0,35	10,1
K ₂ O	1,53	0,31	0,39	0,41	1,05	1,12	0,80	0,50	62,5
P ₂ O ₅	0,10	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,01	12,5
SO ₃	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	-	-
Total	99,75	99,92	99,94	99,82	99,72	100,15	99,78	-	-
PF	21,70	24,30	23,60	23,5	21,50	20,70	22,55	1,44	6,4

Obs.: P.S. = profundidade do sondador; P.P. = profundidade do perfil; PF = perda ao fogo.

Note: P.S. = drilling depth; P.P. = log depth; PF = loss on ignition.

Raramente, observam-se clastos dispersos (4 a 5 mm) de siltito argiloso e pequenos grãos de epidoto. Alguns fragmentos de rocha vulcânica com ripas de feldspatos também podem ser esporadicamente encontrados.

Grãos de silte e areia quartzo-feldspáticos são raros, sendo encontrados especialmente em zonas bioturbadas (topo dos argilitos).

3 - RESPOSTA NOS PERFIS ELÉTRICOS

As propriedades químico-mineralógicas e texturais

tanto o elevado valor da microporosidade existente entre as diminutas partículas destes argilominerais expansivos quanto o maior teor de água livre agregado à rocha por meio destes minerais.

No perfil neutrão, as leituras antes consideradas anômalas, são perfeitamente compatíveis com aquelas relativas a rochas compostas unicamente por esmectitas (Schlumberger, 1986).

Os valores muito baixos do perfil densidade são compatíveis com os dados de laboratório, embora, localmente, a curva de correção do perfil (delta RHOB) seja um pouco elevada.

TABELA V / TABLE V

VALORES DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC) E DA COMPOSIÇÃO DE CÁTIONS TROCÁVEIS (Mequiv./100 g) DOS FOLHELHOS E SILTITOS E DOS ARGILITOS DO MARCO "3-DEDOS" NO POÇO ESTUDADO
VALUES OF CATION EXCHANGE CAPACITY - CEC, AND COMPOSITION OF EXTRACTABLE CATIONS (Mequiv./100 g) OF SHALES, SILTSTONES AND CLAYSTONES OF THE "3-DEDOS" MARKER BED FROM THE WELL UNDER STUDY

P.S. (m)	P.P. (m)	CTC	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Rb ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Sr ⁺⁺	Ba ⁺⁺
Folhelhos e Siltitos										
2786,65	2785,1	12,9	<0,01	3,6	0,70	<0,1	0,89	7,5	0,18	0,05
2787,50	2785,9	19,3	<0,01	9,1	0,95	<0,1	0,85	8,1	0,24	0,06
2788,10	2786,6	10,7	<0,01	1,6	0,70	<0,1	0,81	7,4	0,15	0,04
2788,60	2787,0	45,9	<0,01	34,9	1,40	<0,1	0,98	8,3	0,23	0,07
2794,95	2793,5	15,4	<0,01	1,0	0,77	<0,1	0,42	12,9	0,19	0,12
2799,65	2798,2	14,4	<0,01	3,9	0,91	<0,1	0,62	8,7	0,17	0,06
Valores Médios		19,8	<0,01	9,0	0,91	<0,1	0,76	8,8	0,19	0,07
Argilitos										
2785,10	2783,5	105,2	<0,01	87,2	1,21	<0,1	1,67	14,2	0,75	0,15
2785,65	2784,0	139,3	<0,01	118,0	1,34	<0,1	1,56	17,0	1,15	0,24
2785,75	2784,1	139,3	<0,01	114,3	1,59	<0,1	2,08	19,8	1,26	0,28
2797,30	2795,7	94,9	<0,01	78,9	1,27	<0,1	1,50	12,4	0,69	0,15
2797,55	2795,9	117,4	<0,01	99,0	1,59	<0,1	1,67	14,1	0,80	0,17
2797,70	2796,1	104,1	<0,01	85,3	1,52	<0,1	1,81	14,5	0,80	0,16
Valores Médios		116,7	<0,01	97,1	1,42	<0,1	1,72	15,3	0,91	0,19

TABELA VI / TABLE VI

TEORES DE CARBONATO (% EM PESO) DOS FOLHELHOS E SILTITOS E DOS ARGILITOS DO MARCO "3-DEDOS" NO POÇO ESTUDADO
CARBONATE CONTENT (WEIGHT %) OF SHALES, SILTSTONES AND CLAYSTONES OF THE "3-DEDOS" MARKER BED FROM THE WELL UNDER STUDY

Folhelhos e Siltitos			Argilitos		
P.P. (m)	P.S. (m)	Carbonato	P.P. (m)	P.S. (m)	Carbonato
2783,2	2782,6	1,0	2785,8	2784,2	1,0
2783,6	2783,0	5,5	2797,4	2795,8	1,5
2786,7	2785,2	5,0			
2788,5	2787,0	5,0			
2796,1	2794,4	5,0			
2798,2	2796,6	4,0			
2798,5	2796,9	5,0			
Valores Médios		4,4	Valores Médios		1,3

Obs.: P.S. = profundidade do sondador; P.P. = profundidade de perfil.
Note: P.S. = drilling depth; P.P. = log depth.

TABELA VII / TABLE VII

TEORES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) (% EM PESO) DOS FOLHELHOS E SILTITOS E DOS ARGILITOS DO MARCO "3-DEDOS" NO POÇO ESTUDADO
TOTAL ORGANIC CARBON CONTENT - COT (WEIGHT %) OF SHALES, SILTSTONES AND CLAYSTONES OF THE "3-DEDOS" MARKER BED FROM THE WELL UNDER STUDY

Folhelhos e Siltitos			Argilitos		
P.P. (m)	P.S. (m)	COT	P.P. (m)	P.S. (m)	COT
2786,65	2785,1	0,24	2785,10	2783,5	0,15
2786,70	2785,1	0,33	2785,75	2784,1	0,06*
2787,50	2785,9	0,31	2785,85	2784,2	0,12
2788,10	2786,6	0,37	2797,30	2795,7	0,20
2788,60	2787,0	0,30	2797,60	2796,0	0,14
2795,30	2793,4	0,11	2797,60	2796,1	0,10
2800,40	2798,8	0,22			
Valores Médios		0,27	Valores Médios		0,13

Obs.: P.S. = profundidade do sondador; P.P. = profundidade de perfil; * = valor médio de duas determinações.

Note: P.S. = drilling depth; P.P. = log depth; * = mean value of two analyses.

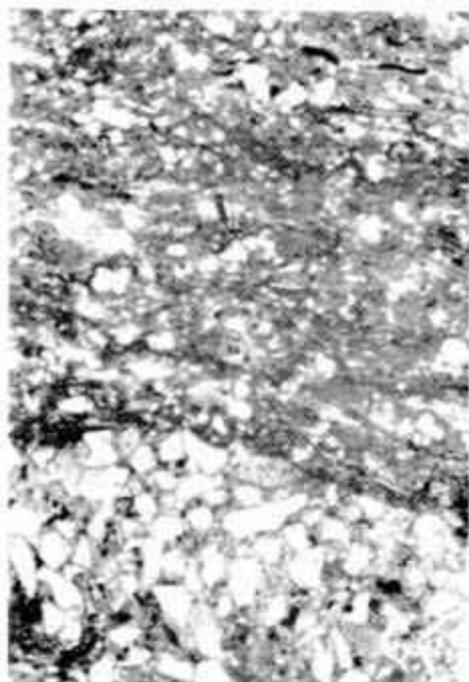


Foto 3 - Fotomicrografia mostrando intercalação milimétrica de siltito e folheio do Marco "3-Dedos". Observar o enriquecimento em minerais micáceos no nível mais argiloso. L.N., 50x, testemunho n° 4, profundidade de 2 796,85 m.

Photo 3 - Photomicrograph showing millimetric interlamination of siltstone and shale of the "3-Dedos" Marker bed. Notice micaceous mineral enrichment in the clay richer bed. N.L., 50 times, core sample # 4, depth at 2 796.85 m.

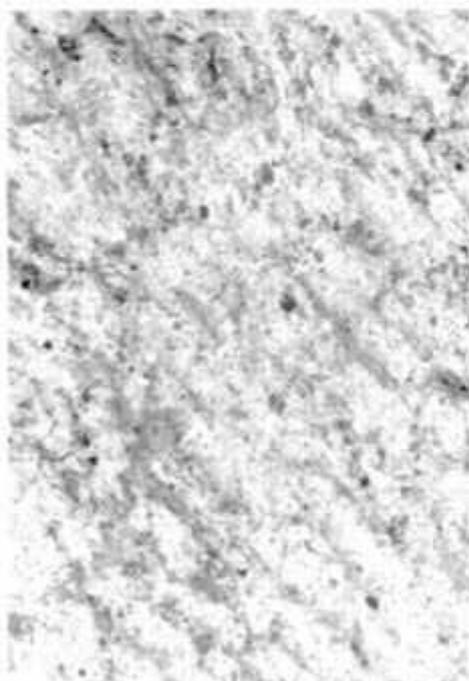


Foto 4 - Fotomicrografia mostrando a microtextura característica dos argilitos do Marco "3-Dedos". L.N., 50x, testemunho n° 4, profundidade de 2 797,75 m.

Photo 4 - Photomicrograph showing the typical microtexture of the claystones of the "3-Dedos" Marker bed. N.L., 50 times, core sample # 4, depth at 2 797.75 m.

As leituras do perfil de raios gama (GR), em média menores nos argilitos que nos folheios, refletem o empobrecimento dos argilitos em K_2O (comparar valores nas tabelas III e IV com o perfil de GR apresentado na figura 4). Esta interpretação é confirmada pelos teores de tório e urânio, obtidos pelo perfil de raios gama espectral (NGT) no poço n° 2 do Campo de Marimbá, que são similares para os dois grupos de rochas e dentro da faixa de 8 a 2 ppm.

O caliper excessivo associado ao Marco "3-Dedos" é causado pela elevada capacidade de expansão dos seus componentes minerais em contato com fluidos de perfuração à base de água, o que provoca desmoronamento das paredes dos poços e ocasiona a contaminação das amostras de calha. Mesmo afetados pelo desmoronamento, os perfis elétricos continuam sensíveis às propriedades da rocha.

Eventualmente, poder-se-ia confundir os picos elétricos do Marco "3-Dedos" com areias muito porosas saturadas por água. Conforme verificado, esta interpretação não foi confirmada pela análise dos testemunhos, embora a boa continuidade dos marcos possa confundir o intérprete. Isto mostra a importância de se efetuar continuamente a correlação dos perfis elétricos com dados de rocha. No caso dos argilitos do Marco "3-Dedos" pode-se dizer que, dispondo apenas de perfis elétricos, o melhor critério para sua identificação é o valor anômalo no perfil neutrão.

4 - ÁREA DE OCORRÊNCIA

O rastreamento do Marco "3-Dedos", por meio de perfis elétricos, mostra sua ocorrência em uma área extensa da Bacia de Campos, incluindo, até o momento, os campos de Marimbá, Piraúna, área do RJS-116, e parte dos campos de Enchova, Pampo e Bonito (fig. 7). Todavia, em função do número reduzido de poços disponíveis, novas investigações serão necessárias para confirmar a continuidade lateral do marco tanto para sudoeste, em direção ao poço n° 7, quanto para nordeste, em direção ao poço n° 8. O limite sudeste não pôde ser traçado devido à ausência de poços de controle.

Apesar das rochas do Marco "3-Dedos" possuírem uma impedância acústica bastante distinta daquela apresentada pelas rochas vizinhas, o traçado dos seus limites não pôde, infelizmente, ser complementado por meio de seções sísmicas devido à delgada espessura deste marco. É de se esperar, entretanto, que a ocorrência deste marco extrapole os limites da área presentemente estudada.

Na área estudada, o limite de ocorrência da seção santoniana está sempre bem a oeste do limite do Marco "3-Dedos" (fig. 7) porque os estratos do Cretáceo Superior encontram-se em *onlap* para oeste contra rochas da Formação Macaé. Em áreas onde a espessura da Formação Carapebus do Santoniano/Coniaciano é pequena, o Marco "3-Dedos" pode chegar bem próximo ao topo da Formação Macaé, como é o caso do poço n° 6 (fig. 2B).

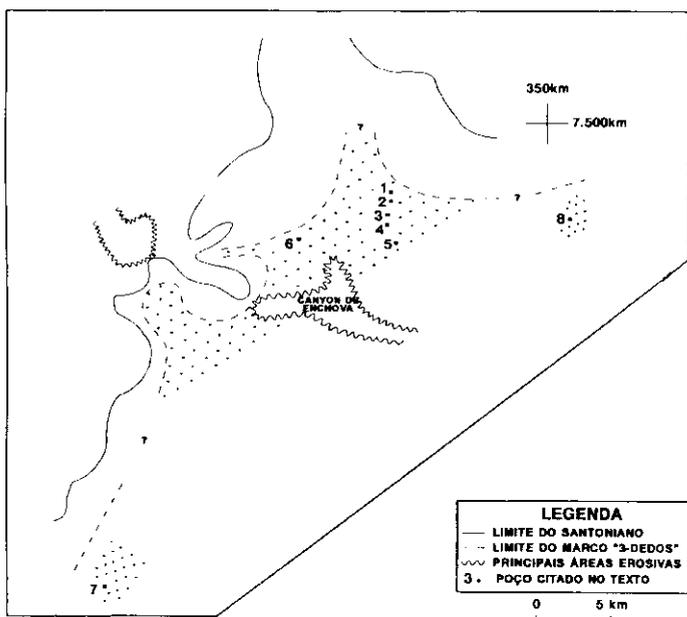


Fig. 7 - Mapa de ocorrência do Marco "3-Dedos" na área investigada (com a colaboração de R. Jahnert).

Fig. 7 - Location map of the "3-Dedos" Marker bed in the area under study (with assistance from R. Jahnert).

5 - ORIGEM

As rochas sedimentares de idade santoniana da Bacia de Campos foram depositadas em ambiente predominantemente marinho, batial (Koutsoukos, 1984; Azevedo *et al.* 1987). Os depósitos de água rasa equivalentes encontram-se pouco preservados por causa da erosão resultante de rebaixamentos do nível do mar, principalmente durante o Campaniano e o Terciário Inferior (Richter, 1987; Guardado *et al.* 1989).

No poço n° 2 do Campo de Marimbá, as rochas do Santoniano exibem ciclos deposicionais gradados, com espessura decimétrica a métrica, representados por folhelhos e siltitos que podem eventualmente apresentar, na base, arenitos com base abrupta e granulometria fina a muito fina, de origem turbidítica. A associação de foraminíferos bentônicos aponta para uma deposição em ambiente batial superior - parte inferior, com lâmina d'água estimada entre 300 e 500 m (Strohschoen Jr., 1991). A bioturbação, moderada a forte, presente nos folhelhos e siltitos (Caddah e Hanashiro, 1991) evidencia uma taxa de sedimentação predominantemente baixa para estas rochas. Dentro deste contexto deposicional, os níveis de argilitos do tipo "3-Dedos" constituem uma anomalia nítida, pois apresentam características químicas, mineralógicas e texturais distintas daquelas observadas nos pelitos adjacentes.

Numa bacia sedimentar, são poucos os processos recorrentes que possibilitam a deposição de rochas pelíticas praticamente monominerálicas, com granulometria tão homogênea e numa área de ocorrência tão ampla (fig. 7).

Rochas classificadas como bentonitas, em função de

sua composição e propriedades, originam-se por vários processos naturais, reunidos em quatro grupos por Grim e Güven (1978) com base na frequência com que são encontradas: a) alteração essencialmente *in situ* de vidros e tufos vulcânicos; b) alteração hidrotermal geralmente de rochas ígneas; c) alteração deutérica de material ígneo, d) miscelânea de processos não-relacionados a atividades ígneas, como neoformação associada à formação de camadas de gipso em ambiente desértico, neoformação a partir da reação de diatomáceas com os produtos da hidrólise de púmice em condições marinhas, intemperismo, etc.

A origem hidrotermal e/ou deutérica para os argilitos do Marco "3-Dedos" foi descartada porque as bentonitas, assim formadas, exibem feições estreitamente controladas pela rocha-mãe, tais como sua geometria e texturas de alteração gradativa marcadas freqüentemente por uma distribuição zonada de vários tipos de argilominerais (incluindo esmectita, haloisita e caulinita).

O contexto ambiental em que os argilitos do Marco "3-Dedos" foram encontrados permite igualmente excluir processos genéticos do quarto grupo de Grim e Güven (1978). Desta forma, o mecanismo mais provável de origem destes argilitos seria, então, a alteração *in situ* de vidros e/ou tufos vulcânicos, o qual, inclusive, é o processo mais comum de origem de bentonitas (Grim e Güven, 1978). Assim, o próximo passo desta pesquisa foi verificar se haviam evidências que confirmassem, ou não, esta hipótese.

Por analogia ao observado por Howard (1978) e Ekdale *et al.* (1984), a ausência marcante de bioturbação nos argilitos do Marco "3-Dedos" indicaria que, originalmente, a deposição destes sedimentos foi relativamente mais rápida do que a dos pelitos adjacentes. Este fato é curioso, visto que partículas bem dispersas de esmectitas têm normalmente o diâmetro de suas placas com valor $<0,05 \mu\text{m}$ (Jonas, 1977) e densidade da ordem de $2,1 \text{ g/m}^3$ (Schlumberger, 1986). Segundo Weaver (1989), partículas com estas características, em teoria, nunca se depositariam no fundo do mar por ação exclusiva da gravidade sem uma aglomeração prévia promovida comumente pela ação de organismos. A ação destes não parece, entretanto, ter sido importante para a deposição dos argilominerais que deram origem aos argilitos do Marco "3-Dedos", conforme atestam os baixos valores de carbono orgânico e a ausência de vestígios de organismos nos intervalos mais espessos.

A existência de domínios, com, aproximadamente décimos de milímetros, texturalmente diferenciados em lâmina petrográfica, sugere que os sedimentos que originaram os argilitos do Marco "3-Dedos" apresentavam granulometria bem maior do que aquela dos argilominerais identificados. A deposição deles seria, por consequência, mais rápida, praticamente instantânea, e necessariamente catastrófica, do ponto de vista dos organismos vivos, para explicar a ausência notória de bioturbação no argilito. Howard (1978) estima que a sobrevivência da maioria dos organismos repentinamente soterrados não seja possível para espessuras de sedimentos superiores a 30 cm. Embora este limite não

seja rígido, ele é coerente com o observado em alguns níveis menos espessos de argilito do tipo "3-Dedos", não detectados pelos perfis, e que se apresentam bioturbados. No caso de espessuras superiores àquele limite, resultantes provavelmente de um aporte maior de sedimentos, a atividade orgânica ficaria temporariamente impedida de se desenvolver pela morte dos organismos, literalmente enterrados.

Os fragmentos "originais" dos argilitos do Marco "3-Dedos" teriam que possuir uma composição inicial distinta da dos pelitos marinhos adjacentes para justificar os contrastes observados nas respectivas associações mineralógicas (tabelas I e II), já que ambas as rochas estiveram submetidas à mesma história de soterramento. Isto implica dizer que foram fornecidos, obrigatoriamente, por fontes de sedimentos com composição distinta.

Rochas originadas da deposição lenta e contínua de partículas platiformes, como os argilominerais, invariavelmente originam rochas físseis (Singer e Müller, 1983) se submetidas às profundidades em que os argilitos do Marco "3-Dedos" são encontrados. A ausência de fissilidade nestas rochas e a ocorrência local de esfoliação esferoidal, por sua vez, indicam que os seus argilominerais não são detríticos, e que se formaram na própria bacia após a deposição dos fragmentos por meio de um processo de alteração essencialmente *in situ*. Isto permite inferir que os fragmentos originais dos argilitos do Marco "3-Dedos", ao contrário daqueles dos pelitos adjacentes, apresentavam uma composição mineralógica instável ao meio de deposição.

As rochas mais instáveis às condições superficiais (subaérea e/ou subaquosa) têm origem vulcânica. O modo de ocorrência dos argilitos do Marco "3-Dedos" (pouca espessura e ampla distribuição) e os resquícios de sua textura petrográfica relictas apontam para uma origem associada a processos vulcanoclásticos, provavelmente *shards* de vidro vulcânico e/ou fragmentos de cinza vulcânica, conhecidos por serem particularmente sensíveis às modificações pós-deposicionais devido à sua alta permeabilidade e grande reatividade dos seus constituintes, em geral, amorfos e porosos (Fisher e Schmincke, 1984; Chamley, 1989). Estas feições são totalmente adequadas ao caso estudado.

A pouca espessura das camadas do Marco "3-Dedos" e sua ampla distribuição na área estudada (fig. 7) favorecem igualmente a hipótese de origem pela deposição direta de cinza vulcânica. A presença de radiolários no folhelho próximo ao topo do Santoniano no poço estudado (a 2 783,3 m) foi considerado por Strohschoen Jr. (1991) como uma conseqüência de atividade vulcânica nesse período. Desta forma, os argilitos do Marco "3-Dedos" podem ser considerados como bentonitas, tanto pelo conceito composicional de Grim e Güven (1978) quanto pelo genético de Fisher e Schmincke (1984).

6 - MODELO DE DEPOSIÇÃO

O modelo provável de origem dos níveis de cinza

vulcânica, ora estudados, pressupõe a existência de vulcões subaéreos explosivos, ou cadeias de vulcões, fornecendo periodicamente clastos de vidro vulcânico para a troposfera superior, onde são distribuídos pelos ventos, nos seus arredores. O caráter episódico e repetitivo desta atividade está registrado nos vários níveis sucessivos de cinza vulcânica interdigitados com a sedimentação marinha normal da bacia.

Dentro deste contexto, o tipo de contato entre as camadas do marco e as rochas sedimentares adjacentes pode ainda fornecer informações sobre o mecanismo da deposição das cinzas (Fisher e Schmincke, 1984; von Rad e Thurow, 1992). Camadas com topo e base abruptos (similares ao "dedo" inferior, já citado), representariam cinzas caídas diretamente do ar e alteradas, em seguida, *in situ*, ao passo que, camadas de base abrupta e topo difuso (similares ao "dedo" superior, citado anteriormente) teriam sofrido algum tipo de retrabalhamento antes de serem alteradas. No caso estudado, a bioturbação limitada ao topo do "dedo" superior parece ter sido o principal mecanismo de retrabalhamento das cinzas originais. Todavia, não se descarta totalmente o papel potencial das correntes de turbidez ou de fundo (Fisher e Schmincke, 1984) na redistribuição destes sedimentos, muito embora nenhuma estrutura indicativa de transporte por tração tenha sido observada. A escassez de testemunhos impossibilita maiores considerações sobre este assunto.

7 - DIAGÊNESE

A transformação de vidro vulcânico para esmectita em meio aquoso tem início logo após a deposição da cinza vítrea e se estende até o início da diagênese precoce (Honnorez, 1981; Thomassin, 1984; Fisher e Schmincke, 1984; Chamley, 1989).

A alteração quase total dos componentes minerais das camadas de cinza vulcânica do Marco "3-Dedos", processada em condições subaquosas logo após sua deposição, deve ter originado, por analogia com aqueles autores, argilominerais da família das esmectitas. Posteriormente, estes minerais teriam evoluído para os interestratificados illita/esmectita identificados, sob a ação de uma diagênese por soterramento de caráter muito incipiente na região, pois mesmo em profundidade da ordem de 2 700 m, sua composição ainda é bem próxima à das esmectitas puras.

A grande homogeneidade mineralógica observada nos argilitos é indicativa da eficácia do processo de alteração, favorecido: (a) pela alta reatividade do vidro vulcânico; (b) pelo reduzido tamanho de suas partículas; (c) pela elevada porosidade associada a este tipo de material, que, em conjunto, facilitaram a percolação intensiva de água intersticial e as trocas químicas.

Na Bacia de Campos, a pouca intensidade da diagênese por soterramento sobre os folhelhos cretáceos da Formação Ubatuba já foi também observada por Anjos *et al.* (1982) e Anjos (1986). De maneira coerente, os dados de reflectância de vitrinite destas rochas (Guardado *et al.* (1989)

mostram que a matéria orgânica destes folhelhos encontra-se termicamente imatura. Somando-se todos estes fatos, fica bem caracterizada a pouca eficácia do processo de diagênese por soterramento na região estudada.

8 - VULCANISMO DO CRETÁCEO SUPERIOR

A ocorrência de níveis de cinzas vulcânicas na Bacia de Campos indica que o Santoniano foi um período com sedimentação vulcanoclástica até hoje não considerada na evolução da bacia. Anteriormente, atividade ígnea significativa, registrada nesta bacia durante esta idade, restringia-se à presença de uma rocha básica com textura gabróide, com cerca de 90 m de espessura perfurada, próximo ao Campo de Moréia (fig. 3), onde a datação radiométrica pelo método de K/Ar forneceu valores de 81 ± 5 M.a. (Mizusaki e Saracchini, 1991).

A composição original do vidro vulcânico presente nas vulcanoclásticas é, entretanto, difícil de ser determinada por causa do alto grau de alteração observado nas amostras do poço n° 2 do Campo de Marimbá. O balanço químico deste processo (Honnorez, 1981) inclui principalmente a liberação de Ca, Mg e Si do vidro vulcânico para as águas percolantes e a incorporação concomitante de K, Mg e Na. Desta forma, os dados apresentados na tabela IV, representativos da composição atual dos argilitos do Marco "3-Dedos", não podem ser aplicados diretamente ao cálculo da norma CIPW para classificação do tipo de magma original.

De acordo com o teor médio de SiO_2 determinado, em torno de 60% (tabela VI), as cinzas vulcânicas do Marco "3-Dedos" indicam associação com rochas de composição transicional: andesito, diorito, traquito ou sienito (Hugues, 1982). Como durante o processo de alteração pode haver perda de silício (Honnorez, 1981), este valor pode estar subestimado. Assim sendo, é de se supor que o magma original deveria ter uma composição mais para ácida não relacionada diretamente com a fonte magmática que originou a citada rocha com textura gabróide.

No diagrama $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ (% em peso) versus SiO_2 (% em peso) de Le Bas *et al.* (1986), os pontos analisados posicionam-se no campo referente à composição andesítica. Wilson (1989) mostra, contudo, que valores elevados de PF (em torno de 22%, nas amostras estudadas) e a alta sensibilidade de K_2O durante os processos de alteração podem acarretar, eventualmente, problemas na interpretação dos resultados obtidos por este tipo de diagrama. Sugere-se, neste caso, o uso de elementos imóveis, não afetados por processos de alteração, tais como o Ti e Zr, para a obtenção de melhores resultados.

O teor de Zr (920 ppm) na amostra a 2 785,75 m do poço n° 2 do Campo de Marimbá é considerado elevado. Valores com esta ordem de grandeza têm sido encontrados somente em riolitos alcalinos (comenditos) (Wilson, 1989).

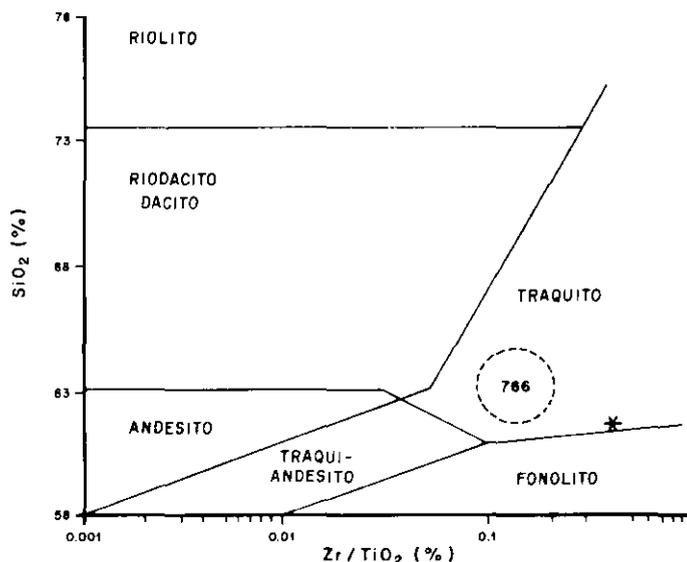


Fig. 8 - Gráfico da razão SiO_2 versus Zr/TiO_2 (adaptado de Winchester e Floyd, 1977) mostrando a composição da amostra a 2 785,75 m do poço n° 2 do Campo de Marimbá (asterisco) em relação às amostras de cinza vulcânica do poço 766 do Plateau de Exmouth, Austrália (círculo descontinuo) (von Rad e Thurow, 1992).

Fig. 8 - SiO_2 versus Zr/TiO_2 ratio chart (after Winchester and Floyd, 1977) showing sample composition at 2 785.75 m, of well # 2, Marimbá Field (asterisk), compared to samples of volcanic ashes from 766 well, Exmouth Plateau, Australia (dashed circle) (von Rad and Thurow, 1992).

Trabalhando com o diagrama SiO_2 versus (Zr/TiO_2) de Winchester e Floyd (1977), von Rad e Thurow (1992) mostraram que as cinzas vulcânicas do poço n° 766 do Plateau de Exmouth (fig. 8), na Austrália, associavam-se a um vulcanismo ácido alcalino (traquito). Plotando-se, neste mesmo diagrama, o valor da citada amostra do argilito, designada por um asterisco (fig. 8), verifica-se que ela se posiciona no campo dos traquitos, o que deve representar uma estimativa mais real para a composição do magma original que produziu as cinzas do Marco "3-Dedos".

Diversos corpos magmáticos alcalinos do Cretáceo Superior, com composição variando entre tipos mais ácidos e mais básicos, são conhecidos em regiões emersas adjacentes à Bacia de Campos (Hasui *et al.* 1984). As cinzas santonianas estudadas apresentam, aparentemente, maior afinidade composicional com estas rochas magmáticas, com as quais podem estar geneticamente ligadas, do que com aquelas até agora encontradas na Bacia de Campos. Assim, a exemplo do discutido por MacDonald (1972), a fonte dos fragmentos que originaram os argilitos pode ter se localizado até mesmo fora da própria Bacia de Campos.

9 - CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA

Camadas de cinza vulcânica, como as do Marco

"3-Dedos", assinalam eventos geológicos de curta duração e, conseqüentemente, representam horizontes ideais para a correlação cronoestratigráfica. Isto porque clastos carregados pelo ar a partir de uma dada erupção explosiva podem sobrepular barreiras fisiográficas e depositar uma mesma camada simultaneamente em diferentes ambientes e bacias (Fisher e Schmincke, 1984). Desta forma, a correlação a longas distâncias fica potencialmente facilitada.

durante o Campaniano no poço n° 2 (Campo de Marimbá), cujos testemunhos, conforme já mencionado, recuperaram apenas os dois "dedos" inferiores (fig. 4).

Outra variação na configuração do Marco "3-Dedos" é encontrada no poço n° 8 (fig. 2c), onde a existência de mais de três "dedos" torna difícil a determinação de quais efetivamente corresponderiam aos do Marco "3-Dedos".

Em face do curto espaço de tempo geológico em que

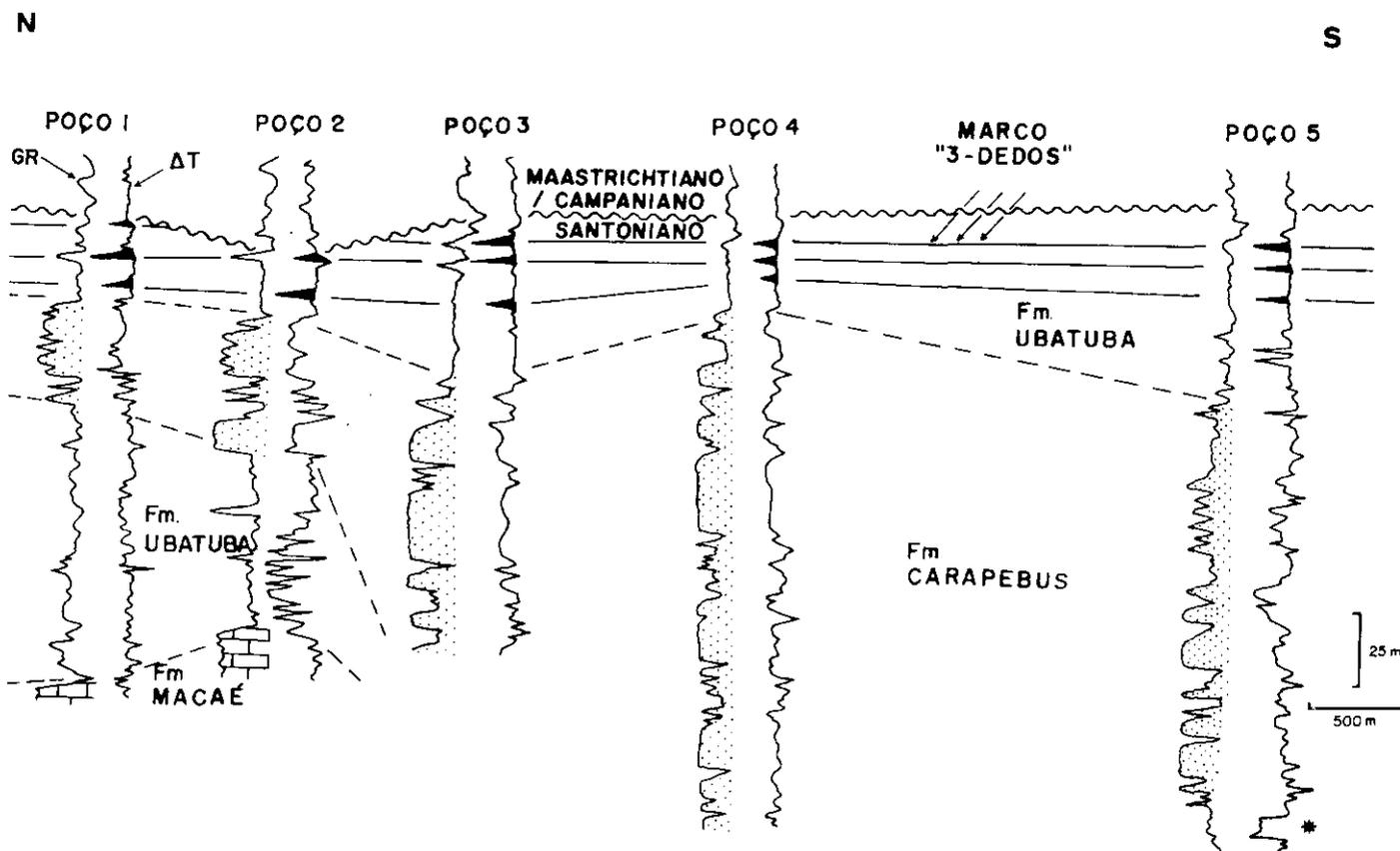


Fig. 9 - Seção estratigráfica entre os poços de n°s 1 a 5. A localização dos poços encontra-se na figura 7 (com a colaboração de L.F. Saggioratto).
 Fig. 9 - Stratigraphic section, well # 1 to 5. See figure 7 for wells' location (with assistance from L.F. Saggioratto).

A correlação estratigráfica entre os poços da área estudada (fig. 9), por meio do Marco "3-Dedos", não é, em geral, problemática, em face de suas características bem definidas nos perfis elétricos. Todavia, a distribuição da seção santoniana na Bacia de Campos é irregular, com áreas de não-deposição e áreas de remoção de seção por pelo menos uma das três principais discordâncias regionais posteriores à sua deposição: Campaniano, Eoceno e Oligoceno (fig. 1). Estes processos podem alterar localmente a configuração geométrica característica deste marco nos perfis e originar formas mutiladas com apenas um ou dois "dedos".

Um exemplo da ação dos processos de erosão na área estudada pode ser observado na seção estratigráfica *dip* entre os poços n°s 1 e 5 (fig. 9). Embora contínuo por toda a seção, o Marco "3-Dedos" foi parcialmente erodido

se processou a deposição dos níveis de argilito estudados, ambos os métodos de datação paleontológica e radiométrica não têm, até o presente, resolução para determinar a idade de cada "dedo" individualmente. Nestas circunstâncias, a composição química dos elementos-traços e terras raras de cada "dedo" pode vir a ser um método alternativo auxiliar na correlação regional das camadas de argilito (Huff e Kolata, 1990; Huff e Morgan, 1990; Trevail, 1990). Outra possibilidade seria o estudo dos minerais acessórios (opacos, epidoto, etc.). Para se testar ambas as hipóteses é, entretanto, indispensável se obter uma amostragem sistemática com testemunhos. A contaminação com o fluido de perfuração (também rico em argilominerais expansíveis) torna impossível a utilização de amostras de calha tanto para a caracterização litológica detalhada como para a realização das análises recomendadas.

Feições em perfis semelhantes às dos argilitos do Marco "3-Dedos" também são observadas, na área estudada, abaixo dos arenitos da Formação Carapebus. No poço n° 5, a amostra lateral de uma destas feições (representada por um asterisco na figura 9), com cerca de 7 m de espessura, é composta, também, por um argilito monomineralico (Anjos, 1990) semelhante aos do Marco "3-Dedos" e de idade santoniana (Martins, 1990).

Além disso, diversas camadas do mesmo tipo de argilito, com idades do Santoniano ao Maastrichtiano, foram também observadas em testemunhos de campos mais distantes, como Carapeba e Pargo (Caddah, 1993). A existência de níveis de cinza vulcânica com idades diversas na Bacia de Campos abre, portanto, novas perspectivas para o aprimoramento das correlações estratigráficas nesta bacia.

10 - CONCLUSÕES

- O Marco "3-Dedos" da Formação Ubatuba da Bacia de Campos é formado por três camadas de argilito cinza-esverdeado, extremamente higroscópico, homogêneo e não-bioturbado, separadas entre si por folhelhos e siltitos intercalados, de cor esverdeada, fossilíferos e intensamente bioturbados, de idade santoniana.
- Os folhelhos e siltitos do marco são polimineralicos, ao passo que os argilitos são praticamente monomineralicos, sendo compostos por argilominerais interestratificados do tipo illita/esmectita dioctáedricos altamente expansivos.
- Os argilitos apresentam um teor 12% mais elevado no valor de perda ao fogo (aquecimento a 1 000 °C) do que os folhelhos e siltitos, correspondendo ao excesso de água livre agregada à estrutura dos seus interestratificados.
- A porosidade anômala dos argilitos do Marco "3-Dedos" observada nos perfis elétricos deve-se à enorme microporosidade existente entre as diminutas partículas dos seus argilominerais, em disposição aleatória nestas rochas. A baixa resistividade nos argilitos do marco resulta do elevado teor de água livre agregada aos seus interestratificados illita/esmectita e à ausência de carbonato.
- Os argilitos são enriquecidos em Al_2O_3 , quando comparados aos folhelhos adjacentes, por causa do seu teor mais elevado de argilominerais. Apresentam, também, teores inferiores de K_2O , atribuído aos interestratificados illita/esmectita com teores baixos do componente illita e à ausência de feldspatos potássicos.
- O modo de ocorrência dos argilitos (camadas com topo e base abruptos, ausência de fissilidade, ocorrência local de esfoliação esferoidal, pouca espessura e boa continuidade lateral, o caráter episódico e repetitivo), sua composição mineralógica e resquícios de sua textura petrográfica relictas indicam uma origem a partir de cinzas vulcânicas. Desta forma, estas rochas podem ser classificadas como bentonitas, tanto pelo conceito composicional como pelo genético.

- O modelo de origem das camadas de cinza vulcânica estudadas pressupõe a existência de vulcões ou cadeias de vulcões subaéreos explosivos, nos arredores, fornecendo, periodicamente, clastos de vidro vulcânico para a troposfera superior, que, distribuídos pelos ventos, foram posteriormente depositados interdigitados com a sedimentação marinha normal da bacia.
- A alteração quase total das cinzas vulcânicas estudadas, ocorrida logo após sua deposição e em condições subaquosas, originou, inicialmente, argilominerais da família das esmectitas, que depois evoluíram para os interestratificados illita/esmectita, por ação da diagênese termal ocasionada pelo soterramento pós-deposicional. O estágio diagenético atingido é, ainda, incipiente, conforme mostra o alto grau de expansibilidade destes minerais.
- A composição estimada para o vidro vulcânico original é traquítica. Desta forma, as cinzas santonianas do Marco "3-Dedos" apresentam uma estreita correlação composicional com algumas rochas magmáticas alcalinas das regiões emersas adjacentes à Bacia de Campos.
- Camadas de cinzas vulcânicas assinalam eventos geológicos de curta duração e, conseqüentemente, representam horizontes ideais para a correlação cronoestratigráfica a longas distâncias. Como de fato é observado com o Marco "3-Dedos", que pôde ser rastreado em uma área extensa da Bacia de Campos, que inclui, até o momento, os campos de Marimbá, Piraúna, área do RJS-116, e parte dos campos de Enchova, Pampo e Bonito.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas do DEPEX/DESUD Ricardo Jahnert e Murilo Silva, pela colaboração durante o rastreamento do Marco "3-Dedos"; à Ricardo Jahnert e Luiz F. Saggioratto, pela colaboração na confecção das figuras 7 e 8, respectivamente; à Léo F. Zimmermann pelas críticas e sugestões durante as etapas de aquisição e interpretação dos dados. Às equipes de trabalho coordenadas por Hosan A.A. Rehim, Najla M. Estrada, Lúcia M.L. Geraldo (DIQUIM/SEQUIM), Sylvania C. Anjos (DIGER/SEGEX) e Carlos N. Khalil (DIPLLOT/SETRAF) do CENPES pelos resultados analíticos; à Francisco A. L. Martins pelas críticas e sugestões; à Cristiano L. Sombra e Marco A.S. Moraes, pela revisão crítica e sugestões para o texto final; à Idalina Gouvêa, Nilton Nascimento e Francisco E. Saracchini pelo desenho das ilustrações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. B. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no Centro de Pesquisas da PETROBRÁS. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 157-175, 1987.
- ANJOS, S. M. C. Absence of clay diagenesis in Cretaceous-Tertiary marine shales, Campos Basin, Brazil, *Clays and Clay Minerals*, Bloomington, v. 34, n. 4, p. 424-434, 1986.
- ANJOS, S. M. C. *Resultado das análises de difratometria de raios X em amostras dos poços 7-MA-2D-RJS, 3-RJS-301 e 3-VL-1A-RJS*. Rio de Janeiro : PETROBRÁS. CENPES. DIGER, 1990. 7p. Relatório interno.
- ANJOS, S. M. C., ALVES, D. B., FARIA, R. T. *Argilominerais da Formação Campos, Bacia de Campos*. Rio de Janeiro : PETROBRÁS. CENPES. LABOR. 1982. 100p. Relatório Interno.
- AZEVEDO, R. L. M., GOMIDE, J., VIVIERS, M.C. Geo-história da Bacia de Campos, Brasil : do Albiano ao Maastrichtiano. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 139-146, 1987.
- BEURLIN, G., RICHTER, A. J., CUNHA, A. S., TELLES Jr., A. S. *et al. Bioestratigrafia das bacias mesozóicas brasileiras: texto explicativo das cartas bioestratigráficas*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS. CENPES. DIVEX, 1992. v. 1.
- CADDAH, L. F. G. *Caracterização sedimentológica e petrofísica do reservatório cretácico do Campo de Carapeba, Bacia de Campos*. Macaé : PETROBRÁS. DESUD. DIREP, 1993. 62p. CT DIREP 009/93.
- CADDAH, L. F. G., HANASHIRO, M. *Caracterização e origem do Marco "3-Dedos" da Bacia de Campos e suas aplicações exploratórias*. Macaé: PETROBRÁS. DESUD. DINTER, 1990. 17p. CT DINTER 009/90.
- CADDAH, L. F. G., HANASHIRO, M. *Análise sedimentológica dos testemunhos nº 01 a 10 do poço 7-MA-2D-RJS: Formação Campos / Membro Carapebus cretácico*. Macaé: PETROBRÁS. DESUD. DINTER, 1991. 103p. CT DINTER 005/91.
- CHAMLEY, H. *Clay sedimentology*. Berlin : Springer-Verlag, 1989. 623p.
- CUNHA, A. A. S., MARTINS, G. A., ANTUNES, R. L., MOREIRA, J. *Reconhecimento do Andar Campaniano na Bacia de Campos*. Rio de Janeiro : PETROBRÁS. CENPES. DIVEX, 1993. 28p. Relatório interno.
- EKDALE, A. A., BROMLEY, R. G., PEMBERTON, S. G. *Ichnology: trace fossils in sedimentology and stratigraphy*. Tulsa : Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1984. 317p. (SEPM short course, 15).
- FISHER, R. V., SCHMINCKE, H. U. *Pyroclastic rocks*. New York : Springer-Verlag, 1984. 472p.
- GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. *Rock color chart*. Boulder, Co, 1980.
- GRIM, R. E., GÜVEN, N. *Bentonites : geology, mineralogy, properties and use*. Amsterdam : Elsevier, 1978. 256p. (Developments in Sedimentology, 24).
- GUARDADO, L. R., GAMBOA, L. A. P., LUCCHESI, C. F. Petroleum geology of the Campos Basin, Brazil, a model for a producing Atlantic type basin. In : EDWARDS, J. D., SANTOGROSSI, P. A. (Ed). *Divergent, passive margins*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1989. p. 3-79. (AAPG. Memoir, 48).
- HASUI, Y., FONSECA, M. J. G., RAMALHO, R. A parte central da região de dobramentos Sudeste e o Maciço Mediano de Guaxupé. In : SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., DERZE, G. R., ASMUS, H. E. (Coord.). *Geologia do Brasil : texto explicativo do mapa geológico do Brasil esc. 1 : 2.500.000*. Brasília : Departamento Nacional da Produção Mineral, 1984. p. 322-323.
- HOFFMAN, J. *Regional metamorphism and K-Ar dating of clay minerals in cretaceous sediments of the disturbed belt of Montana*. Cleveland, Ohio : Case Western Reserve University, 1976. 226p. Tese-Doutorado.
- HONNOREZ, J. The aging of the oceanic crust at low temperature. In : EMILIANI, C. (Ed). *The oceanic lithosphere*. New York : Wiley, 1981. p. 525-587. (The Sea, 7).
- HOWARD, J. D. Sedimentology and trace fossils. In : BASAN, P. B. (Ed). *Trace fossils concepts*. Tulsa : Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1978. p. 11-42. (SEPM short course, 5).
- HUFF, W. D., KOLATA, D.R. Correlation of the Ordovician Deicke and Millbrig K-bentonites between the Mississippi Valley and the Southern Appalachians. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Tulsa, v. 74, p. 1736-1747, 1990.
- HUFF, W. O., MORGAN, D. J. Stratigraphy, mineralogy, and tectonic setting of Silurian K-bentonites in southern England and Wales. In : FARMER, V. C., TARDY, Y. (Ed). *Proceedings of the 9th International Clay Conference*. Strasbourg: Université Louis Pasteur de Strasbourg, 1990. p. 33-42. (Sci. Geol. Mem. 88)
- HUGHES, C. J. *Igneous petrology*. New York : Elsevier, 1982. 551p.
- JONAS, E. C. Diagenesis in shales. In : JONAS, E. C., McBRIDE, E. F. (Ed). *Diagenesis of sandstone and shale : application to exploration for hydrocarbons*. Austin : University of Texas, 1977. 45p. (Continuing education program publication, 1).
- KHALIL, C. N., TEIXEIRA, L. C. F. L. Método analítico de determinação da capacidade de troca catiônica de argilominerais. In : SEMINÁRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA, 2, Conservatória, 1992. *Trabalhos apresentados...* Salvador : PETROBRÁS. SEREC. CEN-NOR. 1992, 1 v.

- KOUTSOUKOS, E. A. M. Evolução paleoecológica do Albiano ao Maastrichtiano na área noroeste da Bacia de Campos, Brasil, com base em foraminíferos. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. v. 2, p. 685-698.
- Le BAS, M. J., Le MAITRE, R. W., STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, Oxford, v. 27, p. 745-750, 1986.
- MacDONALD, G. *Volcanoes*. New Jersey: Prentice-Hall, 1972. 510p.
- MARTINS, G. A. R. *Resultado das investigações biocronoestratigráficas e paleoecológicas, com base em nanofósseis calcários, de amostras laterais do poço 3-RJS-394D*. Macaé: PETROBRÁS. DESUD. DINTER, 1990. 3p.
- MARTINS, G. A. R. *Resultado de investigações biocronoestratigráficas e paleoecológicas de amostras de testemunhos do poço 7-MA-2D-RJS*. Macaé: PETROBRÁS. DESUD. DINTER, 1991. 5p. CT DINTER 003/91.
- MIZUSAKI, A. M. P., SARACCHINI, F. E. *Catálogo geral de dados geocronológicos da PETROBRÁS*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS. CENPES. DIVEX, 1991. 33p. Relatório interno.
- RANGEL, H. D., MARTINS, F. A. L., ESTEVES, F. R., FEIJÓ, F. J. *Bacia de Campos*. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 203-217, 1994.
- REHIM, H. A. A. A., ESTRADA, N. M. Análise de rochas por espectrometria de fluorescência de raios X. In : ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA, 6, Araraquara, 1991. *Livro de Resumos...* Araraquara: UNESP, 1991. p. 190.
- REYNOLDS Jr., R. C. Interstratified clay minerals. In : BRINDLEY, G. W., BROWN, G. (Ed.). *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. London: Mineralogical Society, 1980. p. 249-304. (Mineralogical Society Monograph, 5).
- RICHTER, A. J. Subafloramento das discordâncias Turoniana e Campaniana no Sul da Bacia de Campos. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 173-176, 1987.
- SCHULUMBERGER Well Services. *Log interpretation charts*. Houston, 1986. 122p.
- SCHULTZ, L. G. *Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre shale*. Washington: United States Government Printing Office, 1964. p.C1-C31. (Professional Paper, U.S. Geological Survey, 391-C).
- SINGER, A., MULLER, G. Diagenesis in argillaceous sediments. In : LARSEN, G., CHILINGAR, G. V. (Ed.). *Diagenesis in sediments and sedimentary rocks, 2*. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 198-200. (Developments in Sedimentology, 25b).
- STROHSCHOEN Jr., O. *Análise bioestratigráfica e paleoecológica dos testemunhos 1 a 10 do 7-MA-2D-RJS: método de foraminíferos*. Macaé: PETROBRÁS. DESUD. DINTER, 1991. 7p. CT DINTER 004/91.
- THOMASSIN, J. H. *Étude expérimentale de l'alteration des verres silicates dans l'eau douce et en milieu océanique. Apport des méthodes d'analyse de surface des solides*. Orléans: Université d'Orléans, 1984. 215p. Tese-Doutorado.
- TREVAIL, R. A. Ordovician K-bentonites in the subsurface of southwestern Ontario. In : ANNUAL PETROLEUM INSTITUTE INCORPORATION CONFERENCE, 29, Ontario, 1990. *Proceedings...* Ontário: [s.n.], 1990. 19p.
- von RAD, U., THUROW, J. *Bentonitic clays as indicators of early Neocomian post-breakup volcanism off Northwest Australia*. In: von RAD, U., HAQ, B. U. et al. (Ed.) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results: volume 122*. College Station, Tx.: Ocean Drilling Program, 1992. p.213-232.
- WEAVER, C. E. *Clays, muds, and shales*. Amsterdam: Elsevier, 1989. 819p. p. 279-417. (Developments in Sedimentology, 44).
- WILSON, M. *Igneous petrogenesis*. London: Unwin Hyman, 1989. 466p.
- WINCHESTER, J. A., FLOYD, P. A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, Amsterdam, v.20, p. 325-343, 1977.

EXPANDED ABSTRACT

A conspicuous marker bed called "3-Dedos" is observed in the electrical well-log pattern of the Santonian pelitic section of the Ubatuba Formation, above the Cretaceous turbidite oil reservoirs of the Carapebus Formation, in the Campos Basin, SE Brazil.

This marker bed is characterized by three net peaks of low resistivity (between 0.6 and 0.8 ohm.m) in the induction log,

and highly anomalous porosity (40 to 45%) in the sonic, neutron and density logs. The rock material corresponding to these peaks has been studied in detail in cores from the Marimbá oil field. Each peak represents a 1 to 2 m thick bed of dark greenish gray, lumpy, brittle, with irregular partition, extremely hygroscopic and nonbioturbated claystone. These beds are separated by 5 to 10 m beds of mainly light green-

ish gray, laminated, fossiliferous and highly bioturbated shales and siltstones.

The shales and siltstones are composed of quartz, plagioclase, potassic feldspar, calcite, micas and clay minerals (illite/smectite and chlorite/smectite mixed-layers, illites and chlorites). The random illite/smectite mixed-layers contain around 50 to 55% illite layers and are highly heterogeneous. Contrasting with them, the claystones consist mainly of a homogeneous dioctahedral illite/smectite mixed-layer clay with random interstratification and around 85 to 90% smectite layers. Locally, low amounts of quartz, calcite and analcime are also found.

The loss on ignition of the claystones is about double of that of the shales and siltstones, due to the high free water content that is ordinarily attached to the structure of the mixed-layers. The exaggerated caliper diameter is a common feature derived from this property since, when in contact with drilling muds, this mineral incorporates more water and expands causing collapse of the hole.

The claystone high porosity reflects the very high microporosity created among the randomly arranged microscopic clay crystals. The low resistivity of the claystones is associated to the high water content of the illite/smectite mixed-layers, and to the absence of carbonates.

The claystones are Al_2O_3 -rich when compared to the surrounding shales and siltstones due to their higher clay mineral contents. Their K_2O content is low, which reflects both the illite/smectite mixed-layer containing fewer illite layers and the absence of K-feldspar. These variations are registered by the gamma-ray log that show values of 10 to 30 API degrees lower than the normal pelites of the Ubatuba Formation.

The mode of occurrence of the "3-Dedos" claystones (presenting abrupt contacts at the top and at the base of the beds as well, beds not much thick with good lateral continuity, lack of fissility, spheroidal exfoliation occurring locally, repetitive and episodic character), their specific mineralogical compo-

sition, and the vestiges of relict petrographic texture indicate an origin after volcanic ashes. For these reasons, the claystones under investigation can be classified as bentonites, both by compositional and genetic concepts.

The authors propose that the "3-Dedos" claystones are derived from nearby subaerial volcanoes, perhaps a volcanic chain, with an explosive character, that periodically supplied the upper troposphere with volcanic glass ashes that were distributed by winds and deposited intercalated with the usual marine sediments of the Campos Basin.

Soon after their deposition, almost a complete alteration of these volcanic ashes took place under subaqueous conditions. Firstly discrete smectites were originated and later, under the action of incipient burial diagenesis, they evolved to highly expandable illite/smectite mixed-layers. The original composition of the volcanic glass, obtained from the SiO_2 versus (Zr/TiO_2) chart, is that of a trachyte. Consequently, the Santonian volcanic ashes of the "3-Dedos" Marker bed present a good compositional correlation with some Upper Cretaceous alkaline magmatic rocks from nearby terrains; hence, the source of the volcanoclastic fragments may even lie outside the Campos Basin.

Volcanic ash beds indicate geological events short in time, and consequently, they are ideal horizons for chronostratigraphic correlation. Microscopic clasts from an explosive eruption are carried by the winds far beyond physiographic barriers and are simultaneously deposited in different environments and basins, making easy long distance correlations. The "3-Dedos" Marker bed is indeed frequently used for stratigraphic correlation over an extensive area of the Campos Basin that includes the Marimbá and Piraúna oil fields, the area of the RJS-116 wildcat well and part of the Enchova, Pampo and Bonito oil fields. The distribution of this marker may exceed the limits of this studied area since the same kind of claystones are observed in other distant oil fields as Carapeba and Pargo.