

Geoquímica do Sistema Lacustre Carbonático Aptiano da Bacia do Jatobá, Nordeste do Brasil

Dunaldson Eliézer Guedes
Alcoforado da Rocha¹
Rafael Pereira de Lima²
José Diego Dias Veras³
Alex Souza de Moraes⁴
José Antônio Barbosa⁵
Tiago Siqueira de Miranda⁵
Virgínio Henrique Neumann⁵

¹CPRM-Serviço Geológico do Brasil SUREG/RE
Avenida Sul, nº 2291
Afogados, Recife PE Brasil
CEP 50770-011
e-mail: dunaldson@msn.com

²Universidade Federal de Alagoas,
Av. Lourival Melo Mota, s/n
Tabuleiro dos Martins
Maceió AL Brasil
CEP 57072-900
rplima.geo@gmail.com

³Grupo João Santos
Itapicuru Cimento Nassau em Codó
Rod 316, 316 km 466 Vila Nassau
Codó MA Brasil
CEP 65.400-000
e-mail: diegodias_jg@hotmail.com

⁴Universidade Federal Rural de Pernambuco
UACSA, BR-101 Sul, 5225
Cabo de Santo Agostinho
alex.moraes@uacsa.ufpe.br

⁵Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Geologia
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n, 5º andar CTG
Várzea Recife PE Brasil
CEP: 50.740-530,
barboant@hotmail.com
tiagogeo@gmail.com
neumann@ufpe.br
asahsk@hotmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta a análise do comportamento dos valores dos isótopos de C e O e resultados de difratometria de Raios X em rochas carbonáticas da Serra Negra, bacia do Jatobá, Nordeste do Brasil. Os carbonatos foram analisados a partir de testemunhos de um poço e amostras de afloramentos. Também foram coletadas amostras do testemunho para a confecção de lâminas delgadas, que permitiu verificar que os carbonatos estudados são calcilitos (micritos e biomicritos), apresentando coloração em tons que variam de bege claro a marrom escuro, com presença de pirita framboidal. Para o estudo do comportamento dos isótopos de C e O foram analisadas cento e treze amostras. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -8,72 a 2,47 ‰ VPDB e os de $\delta^{18}\text{O}$ entre -8,67 a -3,96 ‰ VPDB. Os resultados encontrados apresentam boa correlação com os obtidos em outros estudos para carbonatos lacustres. Os resultados obtidos a partir dos dados isotópicos de carbono e oxigênio dos carbonatos lacustres da Serra Negra sugerem paleolago hidrologicamente fechado. Os difratogramas de Raios X apresentaram illite e esmectita como argilominerais dominantes tanto nos calcários laminados como nas litofácies de folhelhos e arenitos, indicando entrada de material detrítico dentro do paleolago.

Palavras-Chave: bacia do Jatobá, carbonatos lacustres aptianos, geoquímica isotópica

Abstract

This paper presents analyses of C and O isotopes and results of X-ray diffractometry in carbonate and terrigenous rocks of the Aptian lacustrine system of Serra Negra, Jatobá basin, northeastern Brazil. The carbonates were analyzed from samples collected from logs of well and outcrops. Thin sections were studied and indicated that the carbonate succession is composed by mudstones, wackstones and packstones, ranging from light beige to dark brown in color, with framboidal pyrite. Analyses of C and O isotopes were conducted in 113 samples. The $\delta^{13}\text{C}$ values ranged from -8.72 to 2.47 ‰ VPDB and $\delta^{18}\text{O}$ values presented values between -8.67 to -3.96 ‰ VPDB, similar to that obtained in other studies for lacustrine carbonates. Based on these results it is proposed here that the carbonates of Serra Negra were deposited in a hydrologically closed paleolake. The X-ray diffractograms showed illite and smectite as dominant clay minerals in laminated limestones, shales, as well as in sandstones lithofacies, indicating an input of terrigenous material into the paleolake.

Keywords: Jatobá basin, aptian lacustrine carbonates, isotopic geochemistry

1. INTRODUÇÃO

A utilização de isótopos de C e O como uma ferramenta eficaz para caracterização de ambientes lacustres já está bastante difundida no meio científico (Talbot, 1990; Talbot & Kelts, 1990; Valero-Garcés *et al.*, 1999; Paz & Rossetti (2006); Neumann *et al.*, 2008 e 2010; Rocha, 2011; Gratzner *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2014) e tem sido bastante eficaz na sua determinação.

Segundo Mello & Maxwell (1990) e Mello *et al.*, (1993) as bacias mesozoicas brasileiras apresentam paleoambientes lacustres variando de águas doce à hipersalinas, com influência marinha variável.

A área de estudo, Bacia do Jatobá, faz parte do rifte Recôncavo– Tucano–Jatobá, formado durante a fragmentação do Supercontinente Gondwana, que deu origem ao Oceano Atlântico no Cretáceo (Costa *et al.*, 2007). A Bacia de Tucano ocupa aproximadamente uma área de 30.500 km² e está dividida em três sub-bacias, Tucano Norte, Central e Sul (Magnavita *et al.*, 1994).

A sequência Aptiana da Bacia do Jatobá representa a terceira manifestação lacustre da bacia e está constituída pelas formações Crato e Romualdo do Grupo Santana (Neumann, 1999; Neumann & Cabrera, 1999), que junto com as formações Marizal e Exu formam a Tectonosequência Pós-rifte da Bacia do Jatobá descrita por Rocha & Leite (1999), baseados em Ponte & Ponte Filho (1996), ao estudar a Bacia do Araripe.

O preenchimento sedimentar Aptiano apresenta uma espessura média de 170 metros e ocupa uma área aflorante de aproximadamente 75 km². Constitui cerca

de 70% das serras Negra e do Periquito, que representam um platô residual de grande expressão topográfica de destaque no relevo geral da Bacia do Jatobá (Figura 1).

A Formação Crato está constituída por litótipos flúvio-lacustres, que se intercalam com carbonatos lacustres laminados, que dominam sua porção superior, estudados, principalmente, com base em amostras do furo estratigráfico 2 - JSN – 01 – PE e em alguns afloramentos na Serra Negra e na Serra do Periquito.

A Formação Romualdo, por sua vez, está constituída por pelitos lacustres na base e calcários maciçosossilíferos no topo, que foram estudados, principalmente, baseando-se em observações realizadas em afloramentos na Serra do Periquito.

Todos esses litótipos apresentam-se cobertos, de forma esparsa, mas frequente, por depósitos coluviais resultantes da erosão dos arenitos silicificados da Formação Exu, que se sobrepõe a toda sequência.

Comparando esta sequência lacustre com a da Bacia do Araripe, observa-se a ausência dos evaporitos da Formação Ipubi, posicionada estratigraficamente entre as formações Crato e Romualdo. A falta de informações na literatura geológica, aliada a escassez de afloramentos, tanto na Serra Negra quanto na Serra do Periquito, impedem que seja atestada a existência desses evaporitos na Bacia do Jatobá. Contudo as características litofaciológicas, geoquímicas, tectono-ambientais, e a baixa salinidade predominante neste paleolago, indicam a falta de condições propícias para a formação desses litótipos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na sequência lacustre aptiana da bacia do Jatobá foram analisadas 113 amostras do furo estratigráfico 2-JSN-01-PE, perfurado na Formação Crato, utilizando isótopos de O e C e difratometria de Raios X.

Todas as análises de isótopos estáveis de C e O e de difratometria de Raios X foram realizadas na Universidade de

Leoben, Áustria. As medições de isótopos de carbono e oxigênio foram feitas em rochas carbonáticas, bem como no querogênio após o tratamento pelo ácido clorídrico diluído (remoção de carbonato), nas frações saturadas e aromáticas de extratos e compostos selecionados de hidrocarbonetos saturados.

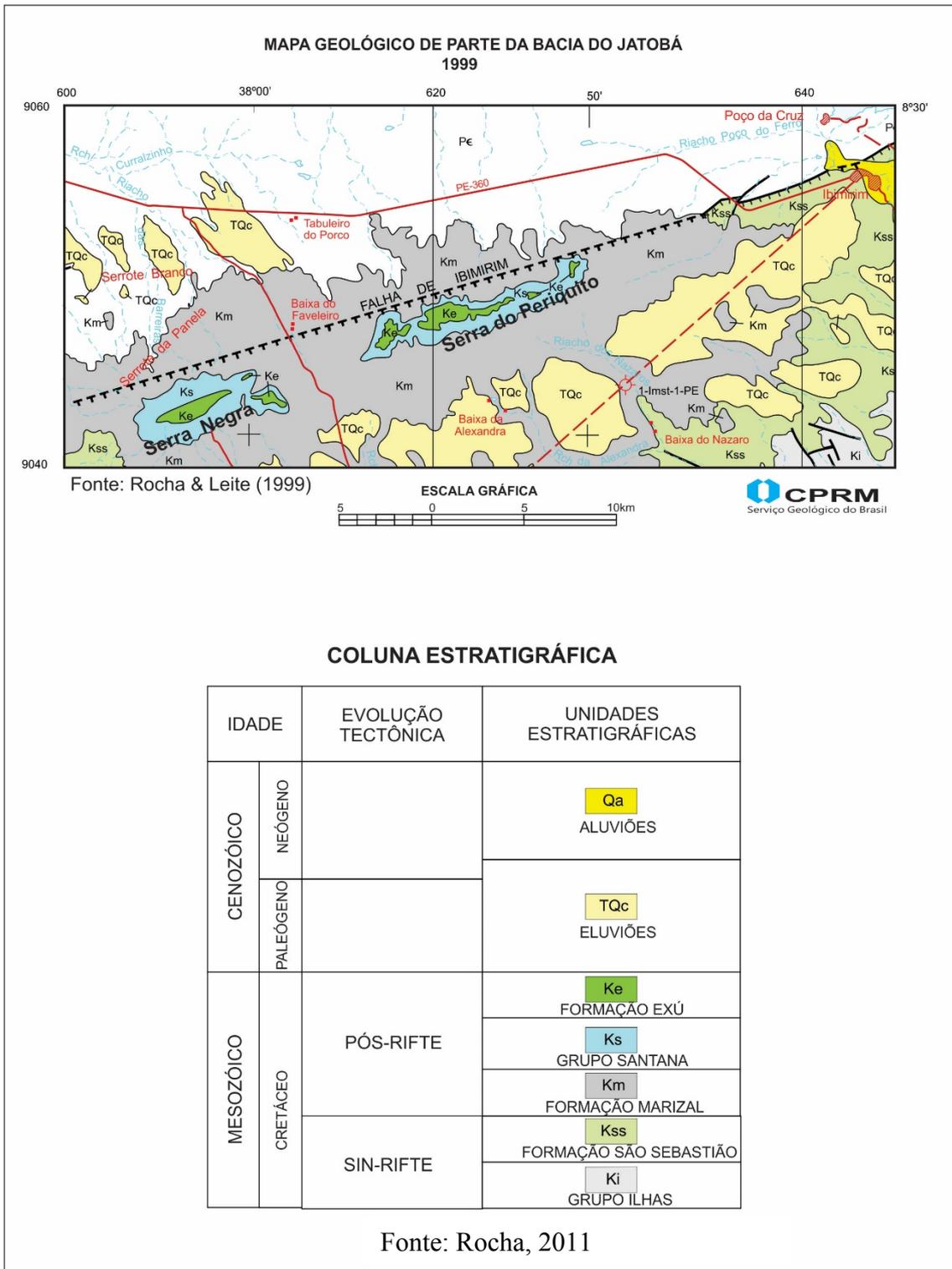


Figura 1
Mapa Geológico de Parte da Bacia de Jatobá, onde podem ser observadas nas serras Negra e do Periquito, nas quais ocorrem as formações Crato e Romualdo (sistemas lacustres aptianos). Fonte: Rocha, 2011.

Pela decomposição de calcita para análise de espectrometria de massa, partes das amostras foram pesadas em frascos de vidro que posteriormente foram liberados

com hélio. Foram realizadas medidas de isótopos de carbono e oxigênio pela adição de 100% H₃PO₄ para as amostras aquecidas a 70° C em um sistema on-line (Gasbench

II com opção de carbonato) para análise de ^{13}C e ^{18}O em carbonato.

A análise foi realizada com espectrômetro de massa ThermoFisher DELTA V. Os resultados foram relatados em relação a VPDB padrão para $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$. A reprodutibilidade foi melhor do que 0.2%. A difratometria de Raios X foi realizada por um equipamento Philips X-pert com as seguintes condições de medição: amostras de rocha total, 2 – 65° 2

θ , pó aleatório; (b) argilominerais de amostras finas, ricas em argila (inclusive arenitos), pó das amostras orientadas (esfregadas no vidro, Vortisch, 1982), 2-38° 2 θ , não tratadas, tratados com etileno glicol, tratado termicamente, 350° C/2h, 550° C/2h.

Confecção de lâminas delgadas tanto de rochas carbonáticas quanto de siliciclásticas, que foram estudadas sob o microscópio óptico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Geoquímica isotópica

Análise de isótopos estáveis foi efetuada em 59 amostras carbonáticas, mas destacamos os resultados referentes a 39 amostras de calcários laminados e 6 amostras de ritmitos argilo-carbonáticos, que representam as principais unidades carbonáticas desse estudo. Estes resultados variaram conforme mostra a Figura 2, onde se observa a distribuição das amostras segundo as profundidades, litofácies, microfácies e unidades carbonáticas.

De uma maneira geral, observam-se que os valores do $\delta^{18}\text{O}$ apresentam valores negativos e com pouca variação, em contraste com os valores do $\delta^{13}\text{C}$, que mostram desde valores muito negativos na porção inferior do poço até valores positivos em sua porção superior (Tabela 1 e Figuras 3 e 4). Deve-se destacar que na porção inferior do poço, dominam sedimentos terrígenos fluviolacustres e deltáicos.

Analisando-se os dados isotópicos, por unidades carbonáticas (Figura 2), percebe-se que as variações isotópicas tanto do Oxigênio quanto do Carbono refletem o comportamento geral ao longo do poço 2-JSN-01-PE, com exceção da sua porção basal, onde ocorre a primeira deposição carbonática descrita (UC1). Nesta unidade carbonática, predomina um calcário peloidal com níveis dolomíticos, intercalados com folhelhos ricos em matéria orgânica da microfácies m3. Os valores isotópicos muito negativos do carbono

sugerem que essa escassez se deve ao alto teor de matéria orgânica presente nesta porção basal do poço e a influência marcante da atividade microbiana na formação dos carbonatos. Os resultados são os valores de carbono mais positivos para o topo, uma descida rápida do nível da água lacustre, provoca um trato de lago baixo, devido a uma queda nos aportes de água e sedimento, incrementando as condições salinas do lago (valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais positivos). Nesta situação, o lago teria um monimolimnium persistente salino (Gratzer et al., 2011).

Os resultados obtidos sugerem que o ambiente de sedimentação da sequência aptiana do Jatobá, possuía características de um lago com águas doce a salobra, isto é, baixa salinidade, com alto teor de matéria orgânica e intensa atividade bacteriana.

Na microfácies calcários laminados da Formação Crato, foram realizadas seis análises isotópicas pontuais em apenas uma amostra (Figura 5), com o objetivo de detectar as possíveis variações isotópicas entre as lâminas de coloração bege e marrom, que é sua característica mais marcante.

Os valores da composição isotópica do carbono variaram entre -4,37 e -5,42 ‰ PDB e os do oxigênio entre -5,64 e -6,03 ‰ PDB (Tabela 2) Estes valores se enquadram dentro dos limites de variação esperada para carbonatos lacustres, citados pela literatura (Talbot, 1990; Camoin *et al.*, 1997).

POÇO 2 - JSN - 01 - PE
Dados Isotópicos

Prof. [m]	Litofácies	δ 18O/16O	δ 13C/12C	Microf./ Lit	UC/AF
2,62	Calcário laminado	-6,07	-2,91	m2/m4/m5	UC6
5,20	Calcário laminado	-5,73	-0,04		
8,57	Calcário laminado	-4,57	0,65		
10,05	Calcário laminado	-5,70	-0,47		
10,09	Calcário laminado	-5,36	0,41		
11,02	Calcário laminado	-6,53	-1,02		
11,10	Calcário laminado	-6,64	-1,14		
11,28	Calcário laminado	-6,95	-1,72		
12,00	Calcário laminado	-5,73	-1,37		
14,25	Calcário laminado	-6,93	-0,76		
17,70	Calcário laminado	-6,39	-1,84	m4	
15,15	Calcário laminado	-6,79	-0,23	m7	
16,54	Folhelho	-6,61	-1,58	FLs	
20,56	Calcário laminado	-7,35	-0,97	m5	UC5
21,00	Calcário laminado	-7,25	-0,10	m4	
21,08	Calcário laminado	-7,26	0,16		
21,40	Calcário laminado	-7,20	0,27		
21,46	Calcário laminado	-7,18	0,19		
22,66	Calcário laminado	-7,36	0,91		
22,74	Calcário laminado	-8,67	0,22		
24,90	Calcário laminado	-7,60	1,36		
24,96	Calcário laminado	-7,60	1,34		
24,42	Calcário laminado	-7,60	1,03		
25,44	Calcário margoso	-7,28	1,98	m9	
25,48	Calcário margoso	-6,92	0,37		
25,81	Calcário laminado	-5,85	2,47	m5	
25,91	Calcário laminado	-4,98	1,89		
26,15	Ritmito arg-carb.	-4,11	-1,67	m1a	
28,97	Calcário laminado	-4,29	1,71	m2	
36,10	Ritmito arg-carb.	-3,96	2,39	m1a	UC4
36,16	Calcário laminado	-5,69	2,30	m2	
36,49	Calcário laminado	-7,74	2,09		
37,03	Calcário laminado	-7,27	1,96		
37,40	Calcário laminado	-7,51	2,08		
37,58	Calcário laminado	-7,78	1,70		
40,80	Arenito fino	-7,38	-2,42		AFct
44,04	Folhelho	-7,13	-1,14	Flac	AFTL
44,92	Folhelho	-6,21	-3,57		
53,36	Ritmito arg-carb.	-8,59	-0,37	m1b	UC3
54,27	Calcário laminado	-7,77	-0,13	m2	
54,63	Ritmito arg-carb.	-7,71	1,03	m1b	
54,90	Ritmito arg-carb.	-8,37	0,48		
57,92	Siltito	-7,86	-5,03	Scc	AFTL
60,06	Siltito	-7,50	-5,46		
60,40	Siltito	-7,52	-7,04		
61,08	Siltito	-7,60	-7,73		
66,82	Arenito médio	-8,01	-7,81	AMm	AFD
66,73	Arenito médio	-7,68	-6,99	Sac	AFTL
78,90	Siltito	-8,09	-3,65		
81,40	Siltito	-8,08	-4,14		
85,25	Ritmito arg-carb.	-6,31	-3,63		
85,30	Calcário laminado	-5,87	-5,31	m3	UC1
85,37	Calcário laminado	-6,28	-5,67		
85,56	Calcário laminado	-6,65	-6,08		
85,64	Calcário laminado	-6,68	-7,90		
85,74	Calcário laminado	-6,58	-7,47		
85,84	Calcário laminado	-4,98	-5,72		
85,87	Calcário laminado	-6,17	-8,72		
85,90	Calcário laminado	-6,32	-8,62		

> valor

< valor

Figura 2
Dados isotópicos de amostras do Poço 2 – JSN – 01 – PE (Serra Negra - Bacia do Jatobá).

Tabela 1- Variações dos valores do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, em carbonatos do poço 2 – JSN – 01 – PE

Resultados isotópicos	Parte inferior do poço (PDB‰)	Parte superior do poço (PDB‰)
$\delta^{13}\text{C}$ Carbonatos	-8.72 a -3.63	-2,91 a +2.47
$\delta^{18}\text{O}$ Carbonatos	-6,68 a -4.98	-8.67 a -3,96

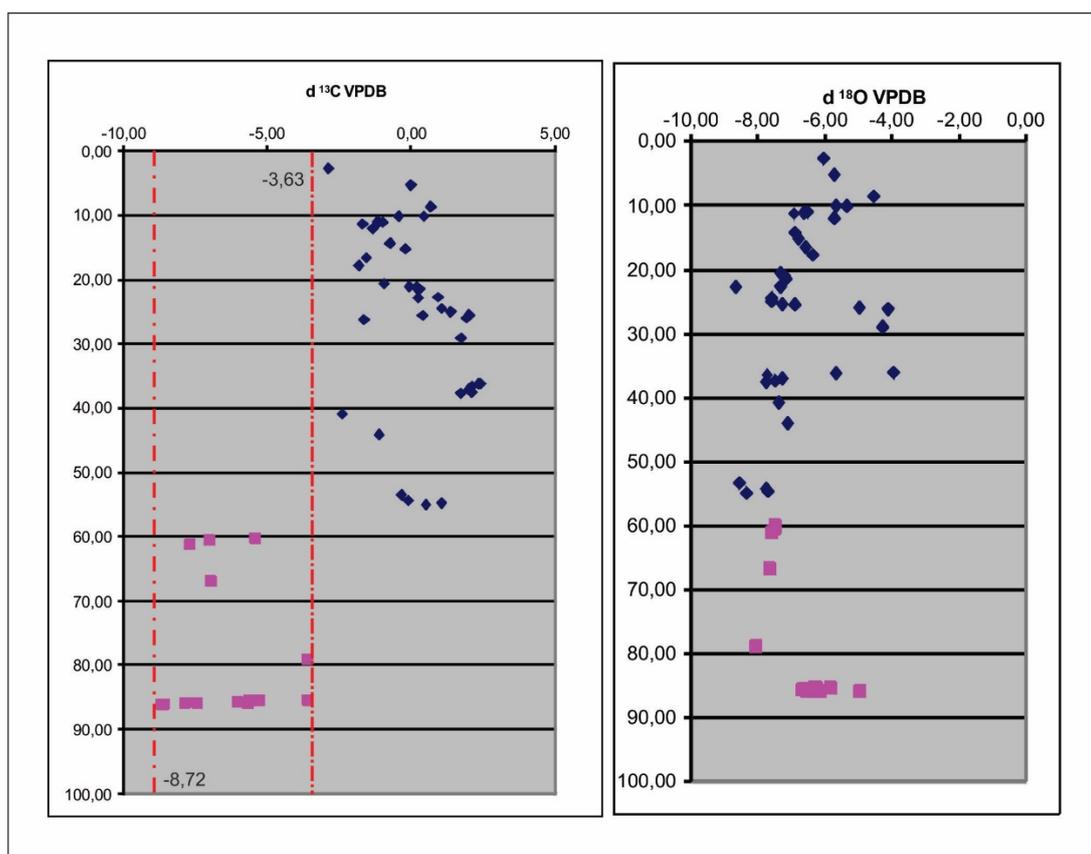


Figura 3
Distribuição isotópica do Carbono e do Oxigênio, no Poço 2-JSN-01-PE.
Os valores em rosa são da porção inferior e os azuis da porção superior do poço.

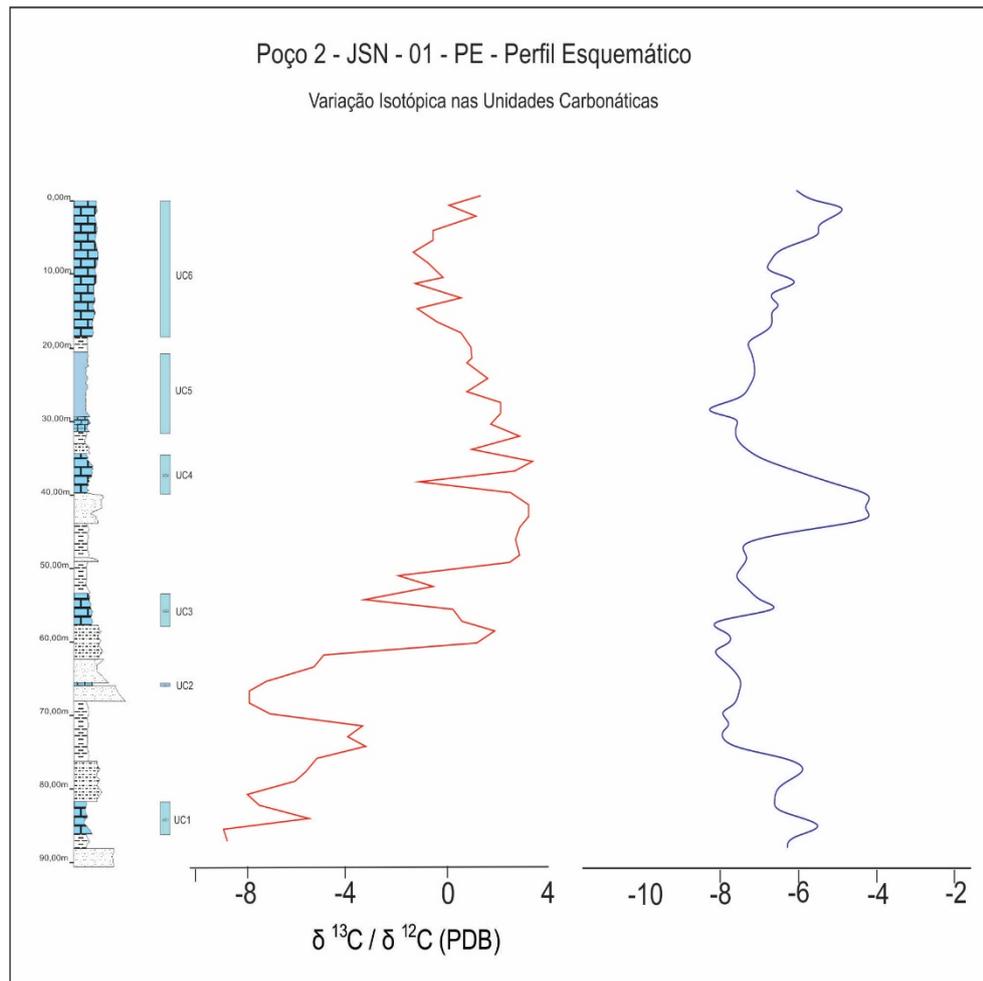


Figura 4
Varição isotópica nas unidades carbonáticas do poço 2-JSN-01-PE



Figura 5
Calcário laminado da microfácies m5, mostrando os pontos onde foram coletadas amostras das lâminas para as análises isotópicas de oxigênio e carbono.

Tabela 2 - Resultados das análises dos isótopos de oxigênio e carbono da amostra de calcário laminado da microfácies m5 da Formação Crato.

Amostra	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}\text{‰}$
1	-5.42	-5.64	25.05
2	-4.37	-5.90	24.77
3	-4.71	-5.89	24.79
4	-4.99	-6.03	24.65
5	-5.07	-5.93	24.75
6	-5.00	-5.70	24.98

A não covariância nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ nos calcários laminados (Figura 6) sugere que o sistema lacustre aptiano da Bacia do Jatobá tem sua origem associada a um paleolago hidrologicamente fechado em

uma região equatorial (Valero-Garcés *et al.*, 1997).

Neumann (1999) também observou este tipo de comportamento isotópico, em parte dos calcários da Formação Crato, na Bacia do Araripe

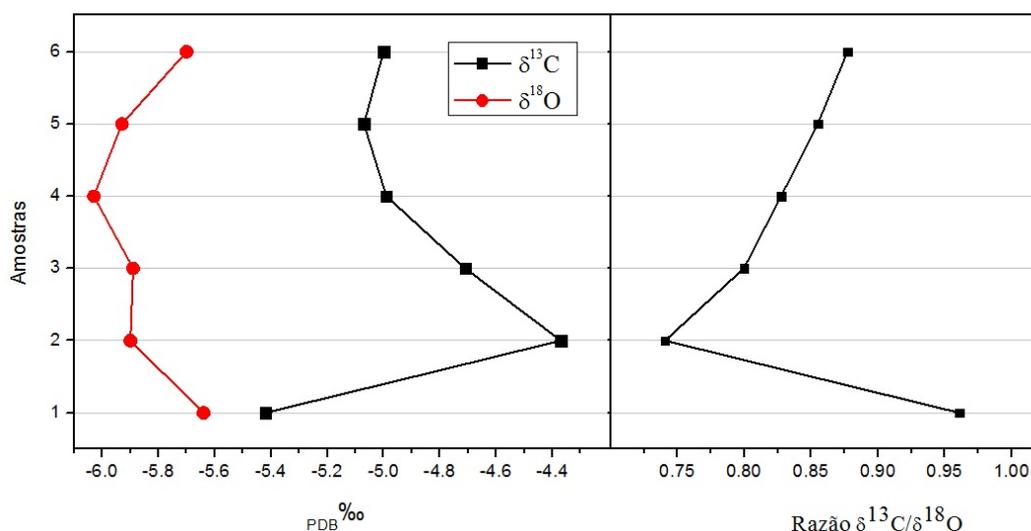


Figura 6
Distribuição dos isótopos de oxigênio e carbono no calcário laminado analisado.

3.2 Difratomia de Raios X

Das 113 amostras analisadas por Difratomia de Raios X, 17 foram selecionadas para o estudo específico de argilominerais.

Na grande maioria dos folhelhos foram identificadas argilas expansivas, com predomínio de interstratificados de illita-smectita, seguidas por illita, caulinita e clorita (Rocha, 2011; Vortisch *et al.*, 2011).

Nos arenitos analisados, o quartzo, os plagioclásios, os feldspatos potássicos e as micas, constituem os componentes principais. Em contraste com os folhelhos, os arenitos apresentam quantidades consideráveis de esmectita pura associada à illita, caulinita e clorita, em menor proporção (Figura 7). A calcita às vezes está presente, essencialmente como cimento

(Figura 8). Alguns dos arenitos mostram alto conteúdo de biotita não intemperizada, por vezes bastante concentradas e mais frequentemente, marcando estruturas

sedimentares, como laminações cruzadas e plano-paralelas (Figura 9). A muscovita ocorre em menor quantidade.

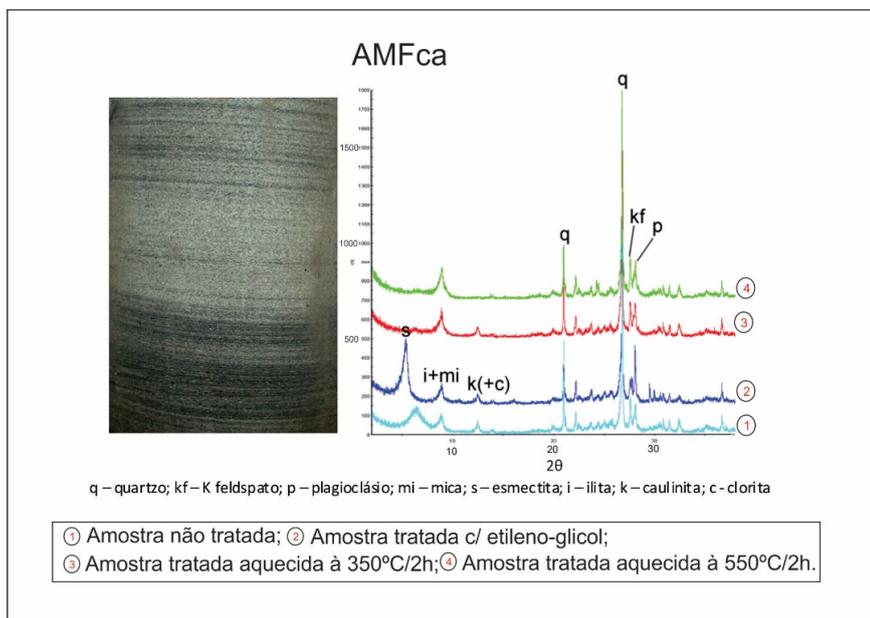


Figura 7
Difratograma do arenito da litofácies AMFca (64,21-64,32m), da associação de fácies deltaica (AFD), do poço estratigráfico 2-JSN-01-PE (Rocha, 2011).

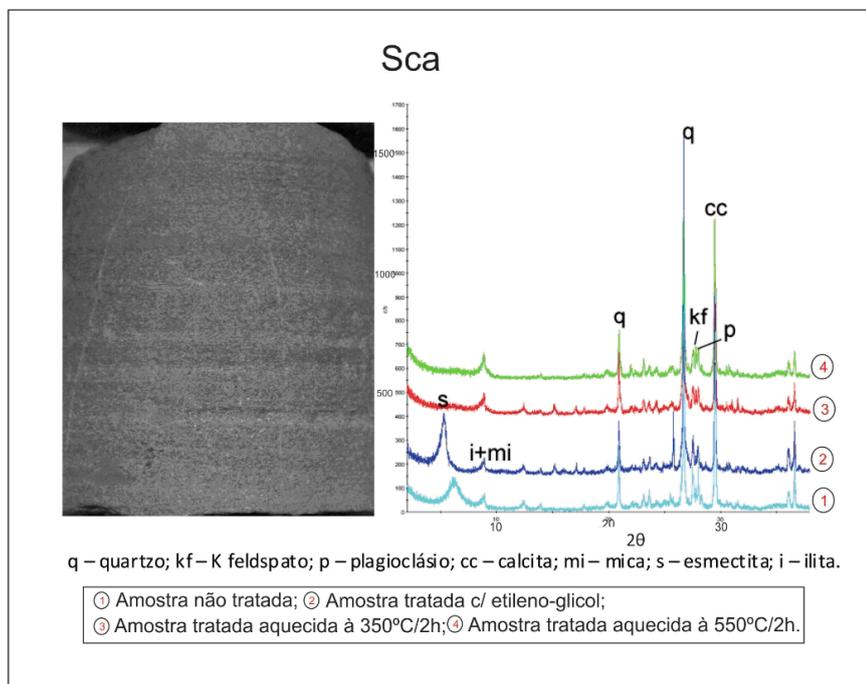


Figura 8
Difratograma do arenito da litofácies Sca (90,40-90,50m), da associação de fácies deltaica (AFD), do poço estratigráfico 2-JSN-01-PE (Rocha, 2011).

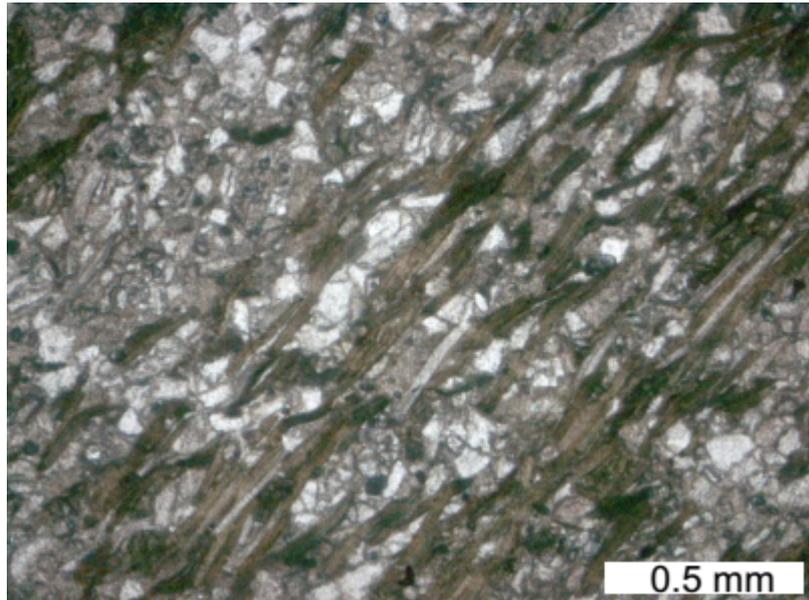


Figura 9
Fotomicrografia (NX) do arenito AMFca da Figura 8, mostrando lamelas de biotita marcando as laminações plano-paralelas. (Rocha, 2011).

A presença de clorita e biotita como componentes clásticos, indica um ambiente de intemperismo suave (clima ameno), como também uma erosão e transportes rápidos do material da área fonte para o interior da bacia lacustre, durante o Aptiano.

O comportamento observado nos folhelhos com relação ao conteúdo de argilominerais, também foi detectado nos folhelhos que representam as porções siliciclásticas da litofácies ritmitos argilo-carbonáticos, que ocorrem na maioria das unidades carbonáticas (Figura 10). Em algumas amostras da porção carbonática dos ritmitos argilo-carbonáticos, foi detectada a presença de gipsita e pirita (Figura 11).

Os calcários laminados, geralmente são micríticos de composição calcítica (às vezes a dolomita ocorre como componente menor), por vezes mostrando transições para calcários margosos. No topo do calcário peletoidal ocorrem níveis delgados de carbonato intercalados com níveis de

folhelhos ricos em matéria orgânica, onde predomina a dolomita em relação à calcita (Figura 12). Em outras amostras de calcários laminados, detectou-se a presença de dolomita, mas em proporção subsidiária (Figura 13). A presença da dolomita em ambientes lacustres de água doce, indicado pelos isótopos de oxigênio e conteúdo ostracodal, é incomum. Deng et al. (2010), mostram que mesmo com uma salinidade relativamente baixa, a precipitação da dolomita é possível devido à intensa atividade microbiana. Esta atividade microbiana foi caracterizada através de biomarcadores e do alto teor de matéria orgânica encontrados nos sedimentos do poço 2 – JSN – 01 – PE, identificados pela geoquímica orgânica realizada por Gratzner et al (2011).

A ocorrência de gipsita (Figura 11), na unidade carbonática basal do poço supracitado, indica condições efêmeras de evaporação, no início da sedimentação da sequência lacustre aptiana da Bacia do Jatobá.

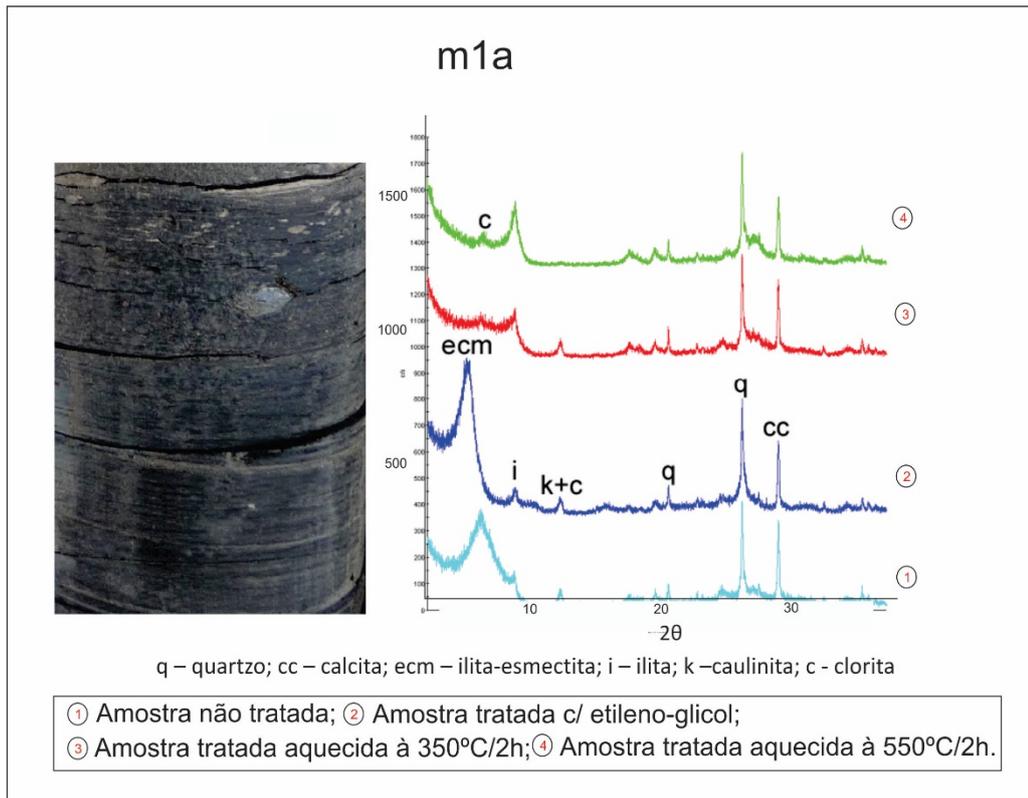


Figura 10

Difratograma do ritmo argilo-carbonático (84,77-84,84 m) do poço estratigráfico 2-JSN01-PE (Rocha, 2011).

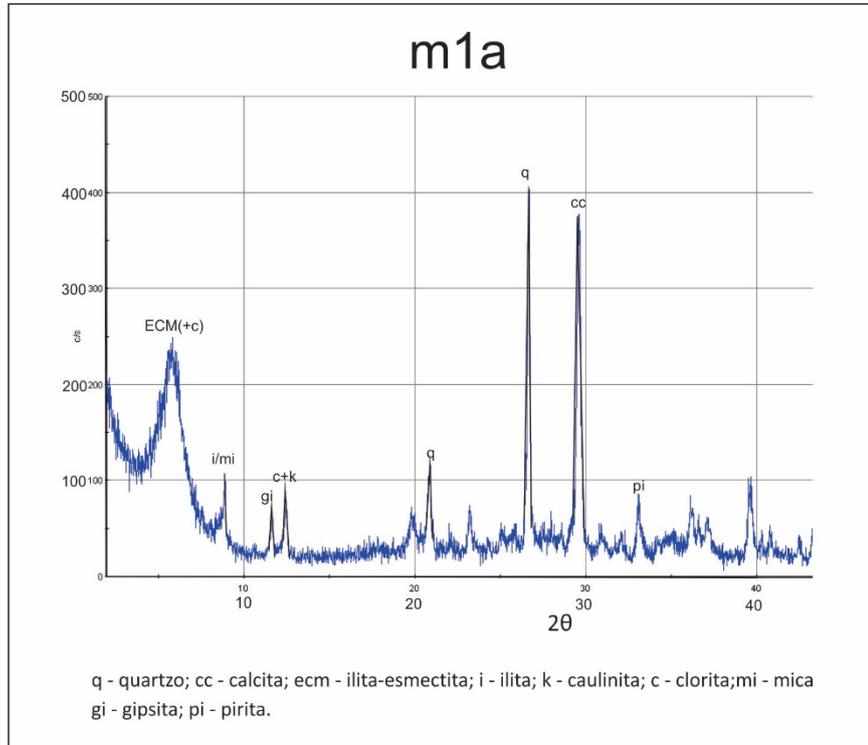


Figura 11

Difratograma do ritmo argilo-carbonático (85,56-85,64 m) do poço estratigráfico 2-JSN01-PE (Rocha, 2011).

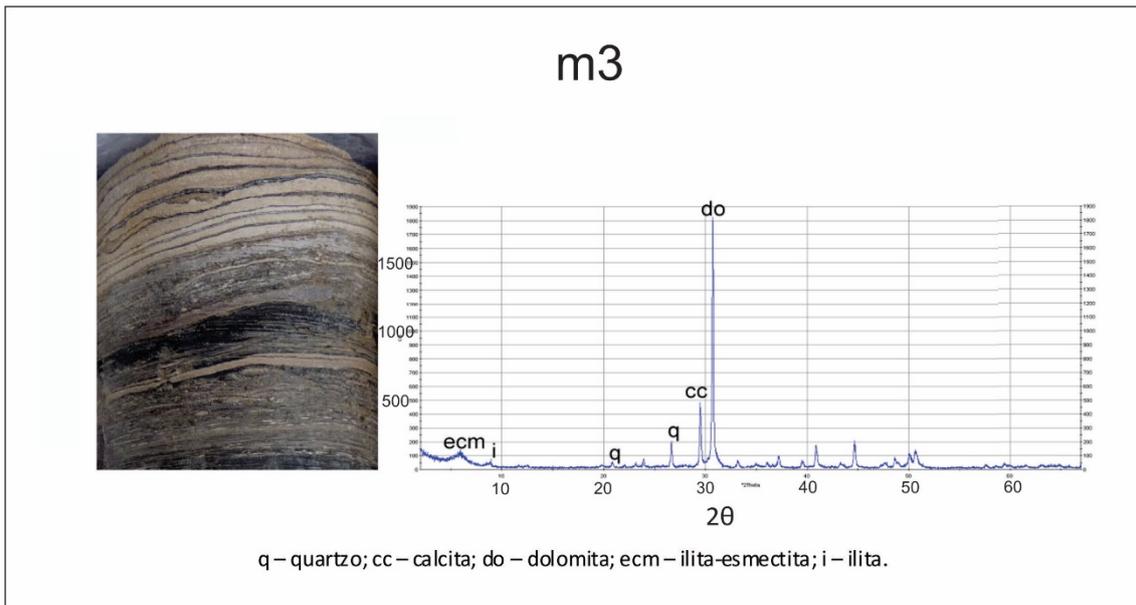


Figura 12

Difratograma mostrando delgados níveis de dolomito intercalados com níveis de folhelhos ricos em matéria orgânica, no topo do calcário peletoidal (85,30-85,37m) do poço estratigráfico 2-JSN-01-PE (Rocha, 2011).

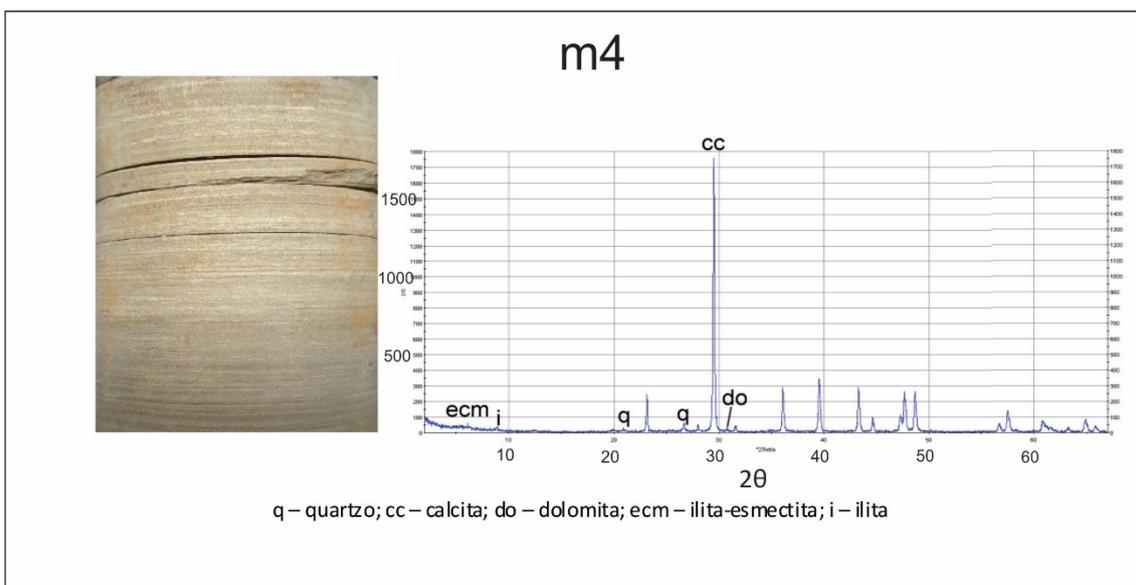


Figura 13

Difratograma do calcário laminado (21,38-21,46m), parcialmente oxidado, com traços de dolomita e silicatos, do poço estratigráfico 2-JSN-01-PE (Rocha, 2011).

4. CONCLUSÕES

Os resultados dos isótopos de oxigênio encontrados nos carbonatos da Bacia do Jatobá foram bastante negativos e se enquadram dentro da variação normalmente observada em carbonatos lacustres. Assim, o Grupo Santana na Bacia do Jatobá é constituído pelas formações Crato e Romualdo, que representam o sistema

lacustre aptiano da bacia. Isótopos de carbono também têm relação direta com o clima.

Valores mais positivos de $\delta^{13}\text{C}$ têm sido associados com aridez, enquanto valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ indicam climas relativamente mais úmidos. Esta interpretação é baseada no fato de que o

clima árido favorece a evaporação, provocando maior influência da vegetação terrestre e menor influxo, favorecendo a estratificação do lago, o que acabará por levar à preservação de matéria orgânica, com o conseqüente empobrecimento de ^{12}C no lago.

A partir dos estudos isotópicos e dos difratogramas de Raios X, associados aos estudos faciológicos da Formação Crato,

sugere-se que o Paleolago Aptiano do Jatobá representa um trato de sistema de lago alto de baixa salinidade, com características de lago hidrologicamente fechado. Nesse lago predominavam águas doces a salobras (oligoalinas a mesoalinas), com alto teor de matéria orgânica, intensa atividade bacteriana (lago eutrófico). Os dados dos ostracodes estudados por Tomé (2011) confirmam a sua idade aptiana.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FINEP pelo financiamento deste trabalho por meio do Projeto Rede 07 – Caracterização Geológica e Geofísica de Campos Maduros – Fase 4, Convênio 01.07.0721.00 – FINEP/UFPE. Também agradecimentos são extensivos ao CNPq pelo apoio com uma bolsa de pesquisa N° Proc. 303670/2013-4 e

ao Laboratórios de Geologia Sedimentar – LAGESE do Departamento de Geologia (DGEO/CTG) da UFPE pela permissão de uso das instalações e equipamentos e à Universidade de Leoben pelas análises de isótopos estáveis e difratometria de Raios X.

6. REFÊNCIAS

- Costa, I. P.; Bueno, G. V.; Milhamem, P. da S.; Lima e Silva, H.S. R. & Kosin, M. D. 2007. Sub-bacia Tucano Norte e Bacia do Jatobá. Boletim Geociências. Petrobras, Rio de Janeiro, V. 15, N. 2: 445-453.
- Gratzer, R.; Neumann, V. H.; Vortisch, W.; Rocha, D. E. G. A.; Bechtel, A., 2011. Stable isotopes of organics and inorganics of Aptian lacustrine sediments in North-Eastern Brazil. In: Mineralogical Magazine Goldschmidt Conference 2011, Praga. Goldschmidt Conference Abstracts. Cambridge: Cambridge, p. 943-943.
- Gratzer, R. ; Neumann, V. H. ; Vortisch, W. ; Rocha, D. E. A. ; Bechtel, A. . Stable isotopes of organics and inorganics, clay mineralogy and chemical environment of an Aptian lacustrine succession in northeastern Brazil. Geological Society Special Publication, v. 1, p. SP382.4, 2013.
- Magnavita, L. P.; Davison, I.; Kusnir, N. J. 1994. Rifting, erosion, and uplift history of the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, northeast Brazil. *Tectonics*. v. 13. N. 2. P. 367-388.
- Mello, M. R. & Maxwell, J. R., 1990. Organic geochemical and biological marker characterization of source rocks and oils derived from lacustrine environments in the Brazilian continental margin. In: *Lacustrine Basin Exploration: Case Studies and Modern Analogs* (B. J. Katz, ed.), American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, p. 77-97.
- Mello, M. R.; Koutsoukos, E. A. M.; Santos Neto, E. V.; Silva Teles, A. C. Jr, 1993. Geochemical and micropaleontological characterization of lacustrine and hypersaline from Brazilian sedimentary basins. In: *Source rocks in a sequence stratigraphic framework* (B. J. Katz & L. M. Pratt, eds.), American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, p.17-34.
- Neumann, V. H., 1999. Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptiense-Albienses de La Cuenca de Araripe (Noreste de Brasil). Tesis

- Doctoral. Departament d'Estratigrafia i Paleontologia y Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. 250p.
- Neumann, V. H.; Cabrera, L. 1999. Uma nueva propuesta estratigráfica para La tectonosecuencia post-rifte de La Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil. In: Simpósio do Cretáceo Brasileiro, 5, Serra negra. UNESP, Boletim de Resumos: 279-285.
- Neumann, V. H.; Rocha, D. E. G. A., Moraes, A. S., Sial, A. N., M. T. Taboada Castro, J. A. Barbosa, G. L. Fambrini, R. R. Carvalho. 2010. Microfacies carbonáticas e comportamento isotópico de C e O nos calcários laminados aptianos lacustres da Serra Negra, bacia do Jatobá, nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos, UFPE*, v. 20 (1), p. 89-100.
- Paz, J. D. S.; Rossetti, D. F., 2006. Paleohydrology of an Upper Aptian lacustrine system from northeastern Brazil: Integration of facies and isotopic geochemistry. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* v. 241 (2), 247-266.
- Ponte, F. C.; Ponte Filho, F. C. 1996. Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe. Recife: DNPM, 68p.
- Rocha, D. E. G. A., 2011. Caracterização do intervalo carbonático do sistema lacustre aptiano da Bacia do Jatobá, NE do Brasil. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, 128 p., anexos.
- Rocha, D. E. G. A.; Leite, J. F. 1999. Estudo hidrogeológico da Bacia do Jatobá – PE. *Geologia. Série Hidrogeologia – Estudos e Projetos – vol. 2*, 20p. ilustrado.
- Silveira, A. C. ; Varejão, F. G. ; Neumann, V. H. ; Sial, A. N. ; Assine, M. L. ; Ferreira, V. P. ; Fambrini, G. L. . Químioestratigrafia de Carbono e Oxigênio dos Carbonatos Lacustres Aptianos da Serra do Tonã, Sub- Bacia de Tucano Norte, NE do Brasil. *Estudos Geológicos (UFPE)*, v. 24, p. 47-63, 2014.
- Talbot, M. R., 1990. A review of the paleohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, v. 80, p. 261-279.
- Talbot, M.R., Kelts, K., 1990. Paleolimnological signatures from carbon and oxygen isotopic ratios in carbonates from organic carbon-rich lacustrine sediments. In: Katz, B.J. (Eds.), *Lacustrine Basin Exploration: Case Studies and Modern Analogs*. AAPG Memoir, vol. 50, pp.99-112.
- Tomé, M. E. 2011. Estudo dos ostracodes não-marinho do Andar Alagoas, nas bacias do Araripe, Cedro, Jatobá e Sergipe/Alagoas, Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geociências. Centro de Tecnologia e Geociências. UFPE. 162p.
- Valero-Garcés, B. L.; Laird, K. R.; Fritz, S. C.; Kelts, K.; Ito, E.; Grimm, E. C. 1999. Holocene climate in the northern Great Plains inferred from sediment stratigraphy, stable Isotopes, carbonate geochemistry, diatoms, and pollen at Moon Lake, North Dakota. *Quaternary Research*, 48, 359-369.
- Vortisch, W.; Neumann, V. H.; Gratzer, R.; Rocha, D. E. G. A. 2011. Clay mineralogy and chemical environment of an Aptian lacustrine succession in North-Eastern Brazil. In: Goldschmidt Conference 2011, 2011, Praga. *Mineralogical Magazine - Goldschmidt Conference Abstracts*. Middlesex: Cambridge Press, 2011. v. único. p. 2103-2103.
- Vortisch, W., 1982. Clay mineralogical studies of some tills in northern Germany. - *Geologica et Palaeontologica* 15, 167 - 192.