

MICROFÁCIES CARBONÁTICAS E COMPORTAMENTO ISOTÓPICO DE C E O NOS CALCÁRIOS LAMINADOS APTIANOS LACUSTRES DA SERRA NEGRA, BACIA DO JATOBÁ, NORDESTE DO BRASIL

V. H. Neumann¹
D. E. G. A. Rocha^{1,3}
A. S. Moraes³
A. N. Sial¹
M. T. Taboada Castro⁴
J. A. Barbosa⁵,
G. L. Fambrini¹
R. R. Carvalho³

1Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, neumann@ufpe.br

2Serviço Geológico do Brasil, CPRM

3Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

4Departamento de Edafologia, Universidade de A Coruña, Espanha

5Programa de Recursos Humanos-PRH-26/ANP-UFPE

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento dos isótopos de C e O nos calcários laminados da Bacia do Jatobá, Nordeste do Brasil. Os calcários laminados ocorrem em duas serras localizadas na parte norte da bacia. Estes calcários são semelhantes aos que afloram nas bacias do Araripe (Formação Crato) e Tucano Norte (na Serra do Tonã). Os calcários aptianos repousam sobre os sedimentos da Formação Marizal. Foram coletadas amostras dos calcários laminados e 20 lâminas delgadas foram confeccionadas e estudadas sob o microscópio óptico e catodoluminescência. Os calcários laminados são calcilititos constituídos por lâminas milimétricas (0.5 a 1.5 mm). As lâminas apresentam cores claras (bege) e escuras (marrom). Pirita framboidal foram observadas em várias lâminas. As principais estruturas observadas foram de escorregamentos e de apertamento das lâminas (semelhante a um boudinage sedimentar). Cinco microfácies foram definidas: plano-paralela, ondulada, apertamento das lâminas simples e complexos e escorregamentos. As principais porosidades observadas nos calcários laminados foram vulgar, fratura e fenestral. Seis amostras das lâminas foram coletadas para o estudo de isótopos de C e O, três claras e três escuras. Os valores de delta ¹³C variaram de -4,4 a -5,4 ‰ PDB e delta ¹⁸O de -5,4 a -6,0 ‰ PDB. Estes resultados estão de acordo com os entrados para ambientes lacustres na literatura mundial. A não covariância nos valores do delta ¹³C e delta ¹⁸O indica tratar-se de um paleolago hidrologicamente aberto quando da deposição dos calcários laminados.

Palavras-chave: Calcários laminados, isótopos estáveis, carbonatos lacustres

ABSTRACT

The objective of this work has been to study the C- and O isotopes of the aptian lacustrine laminated limestones of the Jatobá Basin, NE Brazil. There are two mountain ranges on the north side of Jatobá basin that the limestones crops out. These limestones are very similar to the ones found in the Araripe (Crato Formation) and Tucano Norte (Tonã mountain range) basins. The Aptian limestones overlay the sediments of the Marizal Formation. The laminated limestones were sampled and more than twenty thin sections were studied under an optical microscope and a cathodoluminescence. The limestones are calcilutite which are constituted by milimetric laminae (0.5 to 1.5 mm). The laminae shows light and dark colors beige and brown. Framboydal pyrite was observed in various laminae. The main observed structures were slumps and loop-bedding (similar to sedimentary boudinage). Five microfacies of the laminated limestones were observed: plain parallel, undulations, simple and complex loop-beddings, and micro slumps. The main porosities observed in the limestones were vug, fracture and fenestral. C- and O-stable isotopes were analysed in six laminae, three light and three dark colors. Delta ^{13}C (-4,37 to -5,42 ‰ PDB) and delta ^{18}O (-5,64 to -6,03 ‰ PDB) are typical of lacustrine environments. The no covariance between delta ^{13}C and ^{18}O suggests a hydrologically open paleolake when the laminated limestones were deposited.

Keywords: Laminated limestones, stable isotopes, lacustrine carbonates

INTRODUÇÃO

Os isótopos estáveis estudados neste trabalho foram de C e O já que os depósitos lacustres estudados estão constituídos por carbonatos.

Os trabalhos que versam sobre a composição isotópica em carbonatos lacustres são muitos e com diferentes focos e podem ser destacados os seguintes trabalhos: McKenzie (1985), Kelts and Talbot (1990), Talbot (1990), Li (1991), Currie et al (2003).

A análise dos isótopos estáveis em rochas carbonáticas consiste em calcular as diferenças nas relações isotópicas $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra em relação a um padrão. A notação delta (δ) é utilizada para expressar as pequenas diferenças em relação a um valor padrão.

Há dois tipos de padrões, os internos dos laboratórios e os internacionais. Os padrões internacionais, e que são utilizados aqui, têm uma grande difusão em todo o mundo e servem para a comparação dos resultados.

Os padrões mais conhecidos para carbonatos são o PDB (Belemnites da Formação Pee Dee de idade Cretácea da Carolina do Sul, Estados Unidos) para o oxigênio e o carbono, e o SMOW (“Stan-

dard Mean Ocean Water”, Craig 1961) para o oxigênio.

Os valores de δ medidos podem resultar: a) positivos, quando a amostra é mais rica em isótopos mais pesados (^{13}C e ^{18}O) que a amostra padrão, b) zero (0), quando a amostra apresenta um valor igual ao padrão e, c) negativos, quando a amostra está enriquecida em isótopos mais leves (^{12}C e ^{16}O) que na amostra padrão.

Os calcários laminados estudados neste trabalho localizam-se na bacia do Jatobá, Nordeste do Brasil.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Jatobá localiza-se na porção sul do Estado de Pernambuco, na região conhecida como Sertão do Moxotó, compreendida pelas coordenadas $08^{\circ} 20'$ a $09^{\circ} 10'$ de latitude S e $37^{\circ} 00'$ a $38^{\circ} 30'$ de longitude W (Figura 1). O principal acesso faz-se através da BR 232, partindo do Recife até a cidade de Arcoverde, numa distância aproximada de 250 km, onde já se observam as escarpas da borda da bacia (Rocha e Leite, 1999).



Figura 1 - Mapa de localização da bacia sedimentar do Jatobá e suas vias de acesso e as principais sedes municipais.

A evolução tectônica da bacia do Jatobá iniciou no contexto da separação dos continentes sul-americano e africano, em duas fases distintas. Na primeira, iniciada no Berriasiano (± 130 Ma), os processos de rifteamento atuaram com os tensores de esforços distensivos orientados segundo a direção E-W (Magnavita, 1992 e Rocha e Leite, 1999).

Peraro (1995), a partir de dados geofísicos (sísmica e gravimetria) sugere uma estrutura em forma de meio graben, com os blocos do embasamento rotacionados e rebaixados na direção NW.

Rocha e Leite (1999) sugerem que a bacia do Jatobá possui uma estratigrafia semelhante à do Araripe e, por isso, definiram cinco tectonosequências para a mesma (Figura 2): a) tectonosequência Beta, representada pelas formações Tacaratu e Inajá; tectonosequência Pré-Rifte, representada pelas formações Alinça e Sergi; tectonosequência Sin-Rifte, representada pelas formações Candeias e São Sebastião; tectonosequência Pós-Rifte, representada pelas formações Marizal, Crato, Romualdo e Exu.

GEOCRONOLOGIA			TECTÓNICA	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	AMBIENTE DEPOSICIONAL	COMPOSIÇÃO LITOLÓGICA
PERÍODO	IDADE					
Cenozóico	Neógeno	Pleistoceno		Aluviões	Leques aluviais/Fluvial	Areias, siltes, argilas e lentes conglomeráticas
	Paleógeno	Oligoceno		Coluviões	Cobertura detritica residual	Predominantemente arenosas
Mesozóico	Cretáceo	Albiano/Cenomaniano	Pós-Rifte	Formação Exu	Fluvial entrelaçado para fluvial meandrante	Arenitos grossos a conglomeráticos com leitos finos de cor creme e róseo localmente avermelhados
		Aptiano		Formações Crato e Romualdo	Lacustrino raso a profundo, associado a planície tipo "sabka"	Calcissiltitos e calcilitosossilíferos de coloração creme a cinza claro, intercalados a arenitos e folhelhos
				Formação Marizal	Leques aluviais/fluvial proximal e distal	Arenitos, siltitos e argilitos, com lentes de calcário, folhelhos betuminosos e evaporíticos
		Barreniano	Rifte	Formação São Sebastião	Fluvial de alta energia gradando para ambiente eólico	Arenitos médios a finos com níveis grossos na base
		Haute-rioviano		Grupo Ilhas	Planície e frente deltaica associada a ambiente lacustre	Alternância de arenitos médios a grossos com argilitos e siltitos creme
		Valanginiano				
	Barra-siano	Formação Candeias		Flúvio-lacustre raso	Folhelhos e siltitos argilosos de cor marrom, intercalados com arenitos	
	Jurássico	Tithoniano	Pré-Rifte	Formação Sergi	Fluvial entrelaçado com retrabalhamento eólico	Arenitos finos esbranquiçados a róseos avermelhados
				Formação Aliança	Lacustrino raso, com influência fluvial	Folhelhos e siltitos amarronzados e esverdeados com intercalações de arenitos finos e calcarenitos. Níveis e gipsita
	Paleozóico	Devoniano	Sinéclise	Formação Inajá	Marinho de plataforma associada a fluvial	Arenitos finos laminados, ferruginosos com intercalações arenosas e níveis de matéria orgânica
Siluriano		Formação Tacaratu		Fluvial "braided" associado a leques aluviais	Arenitos grossos a conglomeráticos de cor rósea a avermelhada	
Proterozóico			Embasamento cristalino		Granitos, migmatitos, gnaisses, sieno-granito, monzogranito	

Figura 2 – Estratigrafia da bacia do Jatobá (modificado de Rocha e Leite, 1999)

Este trabalho objetivou estudar o sistema carbonático lacustre de idade aptiana da bacia do Jatobá (calcários laminados semelhantes aos da Formação Crato (Neumann e Cabrera, 1999). Este sistema carbonático apresenta características semelhantes aos de mesma litologia e idade do Araripe (Neumann, 1999, Neumann e Cabrera, 1999), da Serra do Tonã (Bueno, 1996), sendo ambos correlacionáveis ao denominado "Calcário Trairi", Campos de Atum e Xaréu, da bacia do Ceará, que

tanto é gerador quanto reservatório de petróleo. Os campos de Atum e Xaréu foram descobertos na década de 70 e atualmente estão em produção. Localizam-se na bacia do Ceará.

Estudos estratigráficos, sedimentológicos, geoquímicos e de fraturas e porosidades em detalhe, para uma simulação de fluxos de fluidos deste reservatório torna-se difícil pelo fato de ser muito dispendioso. Uma alternativa é o estudo de reservatórios semelhantes, com mesmas

características litológicas, estruturais, de mesmo conteúdo paleontológico, de mesma idade, mesmo ambiente original e mesmas porosidades.

Os carbonatos aflorantes na Serra Negra e Araripe apresentam as mesmas características faciológicas e porosidades (tipos fratura e vugular) que o calcário Trairí, da Formação Paracuru, do campo de Xaréu, da Bacia do Ceará. Portanto, os carbonatos da Serra Negra e Araripe são reservatórios análogos ao Trairí. O estudo dos isótopos estáveis de ^{13}C e delta ^{18}O ajudaram numa melhor compreensão sobre o comportamento hidrológico e paleoambiental do sistema lacustre aptiano da bacia do Jatobá.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de campo foram realizados nas serras Negra e do Periquito, onde afloram os calcários laminados na bacia do Jatobá. Como as melhores amostras para as microanálises afloram na Serra Negra, então só foram analisadas as amostras co-

letadas nos afloramentos desta serra.

Foram confeccionadas 20 lâminas delgadas que foram estudadas sob o microscópio óptico e catodoluminescência para descrever as microfácies. Estes estudos foram realizados no Laboratório de Geologia Sedimentar do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

As análises isotópicas foram realizadas em seis lâminas dos calcários laminados. Foram escolhidas três lâminas claras (cor bege) e três escuras (cor marrom) para analisar o comportamento isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ nos calcários laminados.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os carbonatos aptianos da bacia do Jatobá são compostos por calcários laminados aflorantes nas escarpas e em riachos da Serra Negra (Figuras 3 e 4).



Figuras 3 e 4 – Calcários laminados lacustres aptianos, aflorantes na Serra Negra.

Os calcários laminados apresentam uma granulação fina (calcilutitos) e são constituídos por uma alternância de lâminas com espessuras milimétricas (0,5 a 1,5 mm) e de cores bege-claro e bege-escuro a marrom.

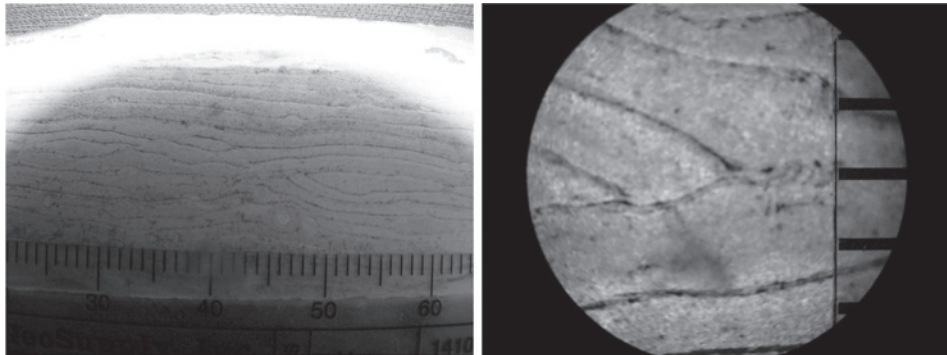
Nas lâminas de cor marrom foram observadas pirita framboidal que parcialmente são oxidadas. As principais estruturas observadas nos calcários laminados foram os escorregamentos (*slumps*) os pseudomorfos de sal, sendo que estes últimos fraturam os calcários laminados. Estas fraturas são preenchidas principalmente por calcita, algumas sem preenchimento e outras parcialmente preenchidas por óxido de manganês e penetram até alguns centí-

metros dentro dos calcários, cortando as lâminas.

Foram observadas microestruturas do tipo *loop-bedding*, que são estruturas que apresentam um apertamento das lâminas, numa morfologia de laço, formando uma espécie de *boudinage* sedimentar (Figuras 5 e 6).

Os *loop-bedding* apresentam-se de duas maneiras nos calcários laminados estudados: simples, gerados diageneticamente por sobrecarga e os complexos, associados à microfalhas e com influência tectônica.

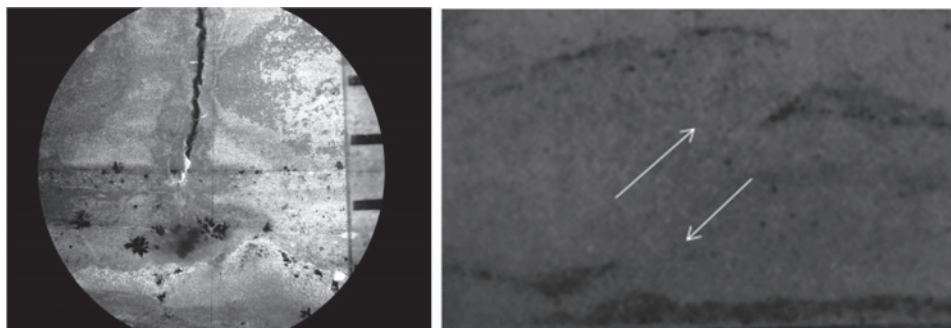
Em termos de microfácies, foram observadas nos calcários laminados lâminas plano-paralelas, plano-onduladas, *loop-bedding* simples e complexos e microslumps.



Figuras 5 e 6 – Estruturas do tipo *loop-bedding* nos calcários laminados aptianos da bacia do Jatobá. A equidistância das linhas pretas da escala é igual a 1 mm.

Nos calcários laminados foram, também, observadas fraturas e microfalhas (Figuras 7 e 8). Os calcários laminados apresentam uma alternância de lâminas milimétricas de coloração bege e marrom

(Figura 9). Nas lâminas de cor marrom foram evidenciadas pirita framboidal. Há um nível de carbonatos mais friáveis que foram observadas porosidades fenestral e vugular (Figura 10).



Figuras 7 e 8 – Fratura preenchida por pirita framboidal (foto da esquerda – meio superior) e microfalha observada com auxílio da catoluminescência.

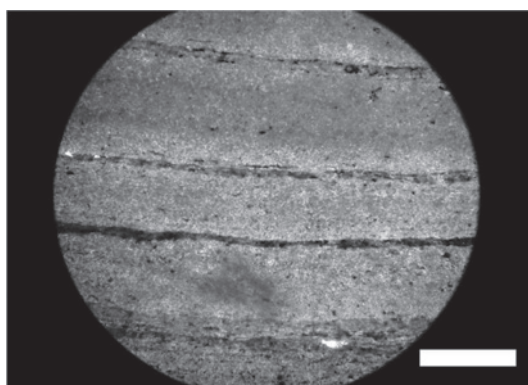


Figura 9 – Calcário laminado mostrando alternância de lâminas milimétricas de coloração bege e marrom. A escala em branco mede 1 mm.

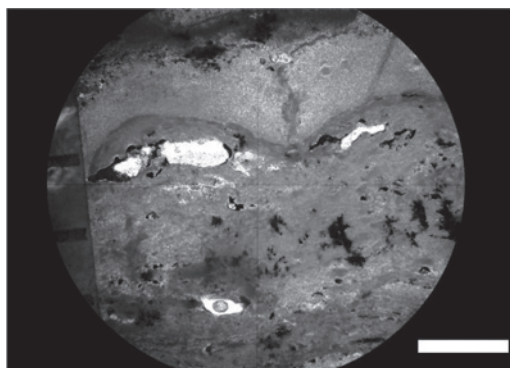


Figura 10 – Porosidades fenestral e vugular (em branco) observadas nos calcários laminados aptianos da bacia do Jatobá. A escala em branco mede 1 mm.

As principais porosidades encontradas foram do tipo fratura, vugular e fenestral. Estes resultados são semelhantes aos encontrados nos calcários laminados aptianos (calcários Crato) da bacia do Araripe e (calcários Trairi) da bacia do Ceará, que tanto são geradores como reservatórios de petróleo.

Foi observado que os calcários laminados aqui estudados estão compostos por calcita com baixo teor de magnésio (LMC) e que corresponde a uma fase mineral estável, formada a partir de carbonatos preexistentes que experimentaram dolomitização.

Apesar da evidência de fenômenos diagenéticos como a presença de pirita framboidal e dedolomitização, observou-se que a diagênese não produziu grandes alterações nas composições isotópicas originais nos calcários laminados lacustres da bacia do Jatobá.

Resultados semelhantes foram observados por Valero-Garces et al, 1997; Neumann, 1999.

Foram realizadas seis análises isotópicas em uma amostra do calcário laminado (Figura 11) para observar as possíveis variações entre as de coloração lâminas bege e marrom.

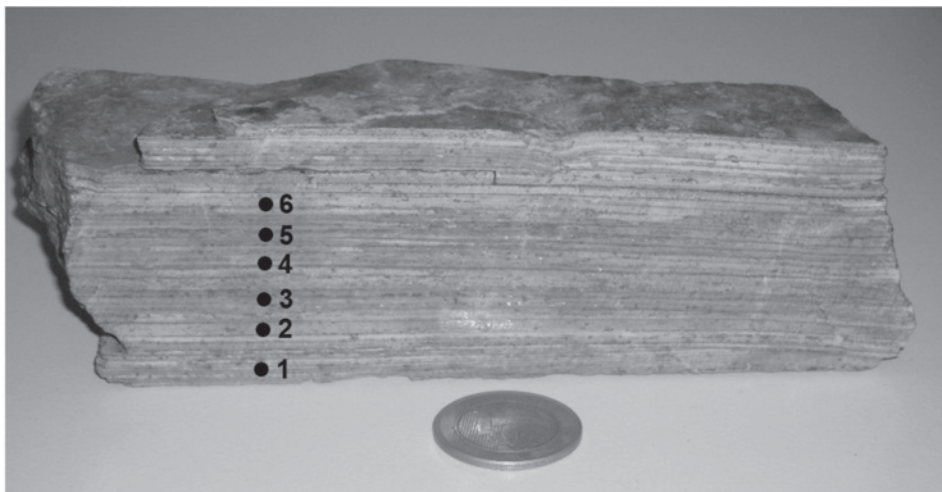


Figura 11 – Calcário laminado mostrando os pontos onde foram coletadas amostras das lâminas para as análises isotópicas de oxigênio e carbono.

Os valores da composição isotópica do carbono variaram entre -4,37 e -5,42 ‰ PDB e -5,64 a -6,03 ‰ PDB. Estes valores

se enquadram dentro da variação dos citados pela literatura para carbonatos lacustres (Talbot e Kelts, 1990; Camoin et al, 1997).

Tabela 1 – Resultados das análises dos isótopos de oxigênio e carbono dos calcários laminados lacustres aptianos da bacia do Jatobá, Nordeste do Brasil.

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

Foi observado um comportamento sem covariância nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ nos calcários laminados (Figura 12), o que sugere um comportamento de um sistema lacustre aberto de curta duração em uma região equatorial. Este raciocínio está de

acordo com os resultados encontrados por Valero-Garcés et AL, 1997). Mas, isto não descarta a possibilidade de poder indicar respostas ao balanço hídrico devido aos efeitos da evaporação em um lago fechado, segundo Talbot e Kelts (1989).

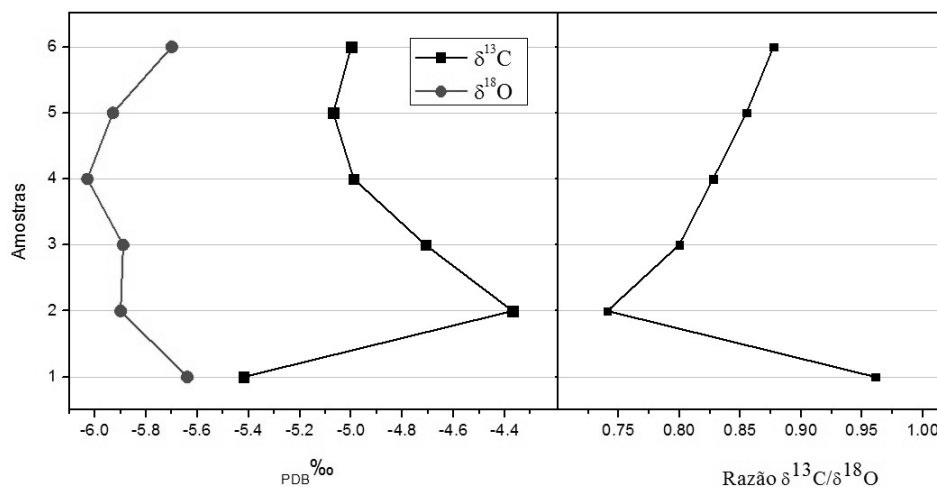


Figura 12 – Distribuição dos isótopos de oxigênio e carbono nos calcários laminados.

CONCLUSÕES

Os calcários laminados aflorantes na Bacia do Jatobá são calcilititos apresentando uma alternância de lâminas de coloração bege e marrom. Nesses calcários foram observadas estruturas de *loop-bedding*, fraturas e microfalhas nos calcários. Os calcários laminados apresentam uma alternância de lâminas milimétricas de coloração bege e marrom. Nas lâminas de cor marrom foram evidenciadas piritas framboidais. Há um nível de carbonatos mais friáveis que foram observadas porosidades fenestral e vugular.

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

Foi observado um comportamento sem covariância nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ nos calcários laminados, o que sugere um comportamento de um sistema lacustre aberto de curta duração em uma região equatorial.

Este raciocínio está de acordo com os resultados encontrados por Valero-Garcés et al, (1997). Mas, isto não descarta a possibilidade de poder indicar respostas ao balanço hídrico devido aos efeitos da evaporação em um lago fechado, segundo Talbot e Kelts (1989).

Agradecimentos

Agradecimentos ao Laboratório de Geologia Sedimentar – LAGESE e ao LABISE do Departamento de Geologia do CTG/UFPE pela permissão de uso das instalações laboratoriais e dos equipamentos. Agradecimentos são extensivos ao PRH-26 ANP/UFPE e à FINEP/UFPE, Rede 07-Characterização Geológica e Geofísica de Campos Maduros-Fase 4, Conv. 01.07.0721.00.

REFERÊNCIAS

- Aragão, M. A. e Peraro, A. A. 1994. Elementos estruturais do rifte Tucano/Jatobá. 3º Simp. Cretáceo do Brasil, Rio Claro, UNESP, p.161-164.
- Bueno, G. V. 1996. Serra do Tona: um elo estratigráfico entre as bacias de Tucano Norte (BA) e Araripe (CE), Nordeste do Brasil. 4º Simp. Cretáceo do Brasil, Águas de São Pedro/Rio Claro, UNESP, p.135-142.
- Braun, O.P.G., 1966. Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região Nordeste do Brasil (bacias de Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe). DNPM, R.J., Boletim n 236, 75p.
- Camoin, G., Casanova, J., Rouchy, J. M., Blanc-Valeron, M. M., e Deconinck, J. F., 1997. Environmental control on perennial and ephemeral carbonate lakes: the central Palaeo-Andean basin of Bolivia during Late Cretaceous to Early Tertiary times. *Sedimentary Geology*, 113, p. 1-26.
- Currie, B. S., Cyr, A. J., e Rowley, D. B., 2003. Geochemical and stable isotopic evaluation of Fenghuoshan Group lacustrine carbonates, North-Central Tibet: implications for the paleoaltimetry of the Mid-Tertiary Tibetan Plateau. *Seattle Annual Meeting*, Section n. 121, paper 10.
- Kelts, K. e Talbot, M., 1990. Lacustrine carbonates as geochemical archives of environmental changes and biotic/abiotic interactions. In: Tilzer, M.M. e Serruya, C. (eds.), *Large Lakes: ecological structure and function*. Springer-Verlag, Berlin, 314p.
- Li, Yuan-Hui, 1991. Distribution patterns of the elements in the ocean: a synthesis. *Geochemistry et Cosmochemistry Acta*, 55, p. 3223-3240.
- Magnavita, L. P. – *Geometry and kinematics of the Recôncavo-Tucano-Jatobá*

- Rift, NE Brazil*. Oxford, 1992. 492p. Tese (Doutorado). University of Oxford, 1992.
- Martill, D.M., 1993. Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. The paleontological. Association; (London) Field Guides Fossils, n. 5, 159p.
- Mczenzie, J. A., 1985. Stable-isotope mapping in Messinian evaporate carbonates of central Sicily. *Geology*, 13, p. 851-854.
- Neumann, V. H. M. L. 1999. Estratigrafía, Sedimentología, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptiense-Albienses de la Cuenca de Araripe (Noreste de Brasil). Facultad de Geología, Universitat de Barcelona, Tese (Doctorado), 250 p.
- Neumann, V. H.; Cabrera, L. 1999. Una Nueva Propuesta Estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de araripe, Noreste de Brasil In. 5 SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCIO DO BRASIL E 1 SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMÉRICA DEL SUR, Serra Negra Atas do Simpósio, 1999, v. Unico, 279-285.
- Peraro, A. A. 1995. Caracterização sísmica do tectonismo transcorrente na Bacia do Jatobá. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 4, 1995. Rio de Janeiro. Resumos expandidos. Rio de Janeiro: SBGf, 1995. 2v. il. v 1, p. 1-3.
- Rocha, D. E. G. A.e Leite, J. F. 1999. Estudo Hidrogeológico da Bacia do Jatobá - Geologia. Recife. CPRM, 49 p.
- Talbot, M. R., 1990. A review of the paleohydrological interpretation of carbon and oxygen isotope ratios in primary lacustrine carbonates. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 80, p. 261-279.
- Talbot, M. R. & K. R. Kelts (eds), 1989. Phanerozoic record of lacustrine basins and their environmental signals. *Palaeogeog. Palaeoclimat. Palaeocol.* 70: 1-304.
- Valero-Garces, B.; Laird, K. R.; Fritz, S. C.; Kelts, K.; Ito, E.; Grimm, E. C. 1997. 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.