

Estromatólitos estratiformes da lagoa Pernambuco, Rio de Janeiro, Brasil

Loreine Hermida da Silva e Silva

Depto. Botânica, UNIRIO, Av. Pasteur, 458, sala 409, 22290-240 Rio de Janeiro RJ, Brasil.

Anderson Andrade Cavalcanti Iespa, Cynthia Moreira Damazio Iespa

Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ, Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco F, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, 21949-900 Rio de Janeiro RJ, Brasil. iespa.bio@uol.com.br, acdamazio@uol.com.br

RESUMO

A lagoa Pernambuco está localizada entre 22°55'31" - 22°56'02"S e 42°20'21" - 42°17'26" W, no nordeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil e sua formação está relacionada à última transgressão ocorrida durante o Holoceno. Os objetivos deste estudo são descrever a morfologia interna e caracterizar a composição cianobacteriana dos estromatólitos estratiformes encontrados no assoalho da lagoa Pernambuco. Nos estromatólitos estratiformes foram encontradas 31 espécies de cianobactérias, na qual a Família Chroococcaceae Nägeli 1849 foi a mais freqüente, respondendo por 32,2% do total de elementos presentes, seguida por Phormidiaceae Anagnostidis e Komárek 1988, com 25,8%. As outras famílias presentes são Synechococcaceae, Schizothricaceae, Oscillatoriaceae, Merismopediaceae, Pseudanabaenaceae e Nostocaceae Bourrelly 1970. Em nível específico, dominam *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892 e *Chroococcus minutus* Keissler 1901. O condicionamento ambiental e climático moderno deste e de outros corpos lagunares nas áreas do litoral norte do Rio de Janeiro, submetidos a variações sazonais da influência marinha e a climas quentes e secos, é elemento fundamental para a formação destas estruturas estromatólíticas e constituem um bom análogo moderno para a compreensão de sua gênese pretérita.

Palavras-chave: estromatólito estratiforme, cianobactérias, lagoa Pernambuco, Rio de Janeiro, Brasil.

ABSTRACT

STRATIFORM STROMATOLITES OF LAGOA PERNAMBUCO, RIO DE JANEIRO, BRAZIL. The Pernambuco Lagoon is located between 22°55'31" - 22°56'02" S and 42°20'21" - 42°17'26" W, in the northeastern portion of Rio de Janeiro State, Brazil, being its formation related to the last Holocene transgression. The aim of this study was to characterize the cyanobacteria assemblage in the stratiform stromatolites found on the floor of Pernambuco Lagoon. 31 species of cyanobacteria were found, the Family Chroococcaceae Nägeli 1849 being the most frequent, representing 32,2% of the total assemblage, followed by Phormidiaceae Anagnostidis and Komárek 1988. The other families are Synechococcaceae, Schizothricaceae Elenkin 1934, Oscillatoriaceae, Merismopediaceae, Pseudanabaenaceae, and Nostocaceae. *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892 and *Chroococcus minutus* Keissler 1901 are the dominant species. Understanding the modern environmental and climatic conditions that control the lagoon genesis in the coastal plain of Southeast Brazil, with seasonal marine influence and warm and dry climate are important in the comprehension of the past requirements needed to the establishment of the stratiform stromatolites.

Key words: stratiform stromatolites, cyanobacteria, Pernambuco Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil.

INTRODUÇÃO

Os estromatólitos são depósitos atribuídos à atividade das cianobactérias, grupo de organismos que é registrado desde cerca de 3,5 bilhões de anos atrás. Os depósitos estromatólíticos, que representam o registro inicial da vida, são encontrados hoje principalmente na África do Sul e na Austrália (Formação Bitter Spring) e caracterizam o período Arqueano. Declinam no final do Proterozóico, devido ao aparecimento dos eucariontes e dos tipos multicelulares da biota vendiana (Bengt-

son, 1994; Altermann e Kazmierczak, 2003). Modernamente, se formam na costa da Austrália, sob condições de águas marinhas rasas e quentes e, de modo mais localizado, em algumas outras regiões costeiras do globo e em ambientes lacustres e lóticos de águas claras (Sabater *et al.*, 2000; Stolz, 2003; Burns *et al.*, 2004).

As cianobactérias exerceram um importante papel no direcionamento seguido pelos processos evolutivos, já que foram as responsáveis pelo enriquecimento da atmosfera por oxigênio, que garantiu o aparecimento da vida mais complexa

(Schopf, 1983; Stolz, 2003). São organismos procariontes fotoautotróficos e organotróficos que podem viver em condições afóticas e anóxicas (Riding, 2002) e capazes de tolerar altas temperaturas e salinidade, sendo encontradas, inclusive, em fontes hidrotermais com temperaturas entre 55-85°C (Konhauser *et al.*, 2001; Knauth, 2005).

Os estromatólitos por elas produzidos são estruturas organossedimentares litificadas resultantes da interação entre a comunidade microbiana e os elementos químicos presentes no meio

(Batchelor *et al.*, 2005). Crescem a partir da precipitação de carbonato de cálcio sobre a esteira formada pelos filamentos da bactéria, já que a atividade fotossintética da bactéria capta o carbonato de cálcio dissolvido na água e provoca a precipitação dos sais que são aprisionados pela mucilagem que rodeia as colônias de bactérias (Storrie-Lombardi *et al.*, 2004). O polímero extracelular (EPS) secretado pelas cianobactérias sobre as esteiras precipita de CaCO_3 , utilizando o CO_2 do meio, com o acréscimo de Ca^{2+} e a degradação de EPS (Decho *et al.*, 2005).

Dois tipos de processos podem estar envolvidos na precipitação de CaCO_3 . No primeiro deles as cianobactérias fotossintéticas causam o aumento do pH no sistema supersaturado em CaCO_3 , causando sua precipitação e a litificação laminada. No segundo, a decomposição da matéria orgânica causada pelas bactérias libera Ca^{2+} e, igualmente, provoca a precipitação do carbonato de cálcio (Päerl *et al.*, 2001).

Ao longo do tempo, formam-se sucessivas camadas que fazem a estrutura crescer verticalmente, dependendo da regularidade temporal, do tipo de substrato e dos sedimentos e da baixa energia do ambiente (Grotzinger e Rothman, 1996; Altermann e Kazmierczak, 2003; Braga e Martin, 1995). Os estromatólitos podem ser estratiformes laminares ou colunares e ramificados, ou nodulares (os trombolitos, Semikhatov e Raaben, 2000), e a taxa de seu crescimento dependerá da profundidade, da turbulência, da salinidade e da concentração de carbonato de cálcio na região (Duane e Al-Zamel, 1999).

As comunidades microbianas formadoras de estromatólito podem se tornar fortemente estáveis na presença de sílica causando litificação do carbonato, primordial para a preservação do estromatólito (Draganits e Noffke, 2004).

Associados aos estromatólitos podem ocorrer biodetritos, como conchas de moluscos e carapaças de ostracodes. A presença maciça de conchas de gastrópodes e de ostracodes não interfere no desenvolvimento da população cianobacteriana e, conseqüentemente, no crescimento do es-

tromatólito (Silva e Silva *et al.*, 1999; Silva e Silva, 2002).

Os aspectos vistos permitem avaliar a importância das estruturas estromatólíticas para desvendar a origem e a evolução das primeiras formas de vida e o condicionamento ambiental que controlou sua existência.

O objetivo deste trabalho é descrever a morfologia interna e composição cianobacteriana de estromatólitos estratiformes que se desenvolvem atualmente no assoalho da lagoa Pernambuco, uma das que compõem o importante sistema lacustre e lagunar do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro.

ÁREA DE ESTUDO

A lagoa Pernambuco é um corpo aquático costeiro, situado a leste da cidade de Araruama e a oeste da cidade de Cabo Frio, a cerca de 100 km da cidade do Rio de Janeiro, entre as latitudes $22^{\circ}55'31''$ e $22^{\circ}52'02''\text{S}$ e as longitudes $42^{\circ}20'21''$ e $42^{\circ}17'26''\text{W}$ (Figura 1), fazendo parte do sistema lagunar de Araruama (Iespa, 2006). Possui um formato alongado e apresenta uma série de pequenos bolsões (ou baías), separados por pontais (Figura 2). A leste, o canal que a conecta com a lagoa de Araruama possui cerca de 300 m

de comprimento e desemboca na praia dos Nobres (Primo e Bizerril, 2002).

As áreas a oeste da lagoa, formadas por colinas suaves, são constituídas por rochas do embasamento, na forma de gnaisses e migmatitos de idade Pré-Cambriano, e por rochas sedimentares cenozoicas. A composição mineralógica dos sedimentos mostra a presença de aragonita, dolomita, quartzo, calcita magnésiana, caolinita e sílica amorfa. Na restinga podem ocorrer areias quartzozas e, nas áreas alagadas, solos higromórficos orgânicos (Patchineelam e Rebelo, 1984; Anjos, 1999).

A pluviosidade média anual da região varia de 750 mm a 900 mm e a evaporação média entre 890 mm e 1.370 mm, garantindo uma umidade relativa média de 890 mm (Primo e Bizerril, 2002), que caracteriza o clima como semi-árido, aspecto importante para o desenvolvimento de lagoas hipersalinas (Fonseca, 2002). As temperaturas são relativamente uniformes ao longo do ano, variando entre 19°C e 31°C (Santelli, 1988), o que garante médias de verão de $25,1^{\circ}\text{C}$ e de inverno de $21,4^{\circ}\text{C}$ (Primo e Bizerril, 2002). A salinidade média da lagoa é de 67,4‰ e o pH é alcalino, com valores de 8,56 (Iespa *et al.*, 2004). A área da lagoa é de $1,89\text{ km}^2$ e seu perímetro de $12,34$



Figura 1. Foto aérea da lagoa Pernambuco, indicando os pontos de coleta (CPRM).
Figure 1. Aerial photo of the Pernambuco Lagoon showing the sampled points (CPRM).

km. A profundidade máxima é de 2 m (Weber, 2001).

Os ventos dominantes ao longo do ano provêm de nordeste e apresentam velocidade variável, em média, 6m/s no período de primavera/verão (Santelli, 1988).

O sistema lagunar de Araruama é representado ainda pelas lagoas Vermelha, Pitanguinha e Azul e pelo brejo do Espinho e ocupa uma estreita planície formada entre as duas barreiras arenosas que caracterizam a costa (Turcq *et al.*, 1999). Foi formado durante o último episódio de transgressão holocênica (Anjos, 1999). Restos de conchas de bivalves, gastrópodes, foraminíferos e ostracodes são comumente encontrados na região e constituem uma das fontes de carbonato de cálcio (Silva e Silva *et al.*, 2004a).

A presença de estruturas microbianas na lagoa Pernambuco havia sido preliminarmente comunicada por Silva e Silva (2004b).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo se baseou em coletas mensais realizadas na região marginal da lagoa, nas porções de inframaré, intermarés e supramaré, entre março e dezembro de 2006. Foram retiradas amostras de estromatólitos, com auxílio de espátula de pedreiro, em 10 estações com 500 m de distância entre si e no entorno da lagoa. Em cada ponto foram coletadas cinco amostras de estromatólitos, de aproximadamente 300 g cada, selecionadas segundo os seguintes critérios: integridade da amostra, coesão, coloração, porosidade e tamanho, espessura, largura e comprimento dos estratos (obtidos com paquímetro).

O isolamento das cianobactérias do sedimento foi executado em laboratório utilizando líquido de Perenyi. As cianobactérias foram tratadas com solução neutra de formol a 4%. A análise taxonômica envolveu a confecção de lâminas permanentes, semipermanentes e a fresco, com realização de medidas em microscópio, que permitiram a observação das características morfológicas. Desenhos das estruturas foram feitos em câmara clara. Para cada

espécime foram realizadas seis mensurações, sendo averiguado o diâmetro dos filamentos, das colônias e dos tricomas, a espessura das bainhas e o comprimento e a largura das células.

Para analisar as microestratificações e a ciclicidade nas sucessões das microfácies, foram preparadas lâminas petrográficas.

RESULTADOS

Os estromatólitos estratiformes consistem em placas poligonais planas, compactas, porosas e litificadas, com coloração cinza, que se formam sobre o assoalho arenoso da lagoa (Figura 3). Possuem uma espessura média de 1,8 cm, largura de 7,9



Figura 2. Vista parcial da lagoa Pernambuco e de um dos pontais arenosos.

Figure 2. Proximal view of one of the sand points that characterizes the Pernambuco Lagoon.

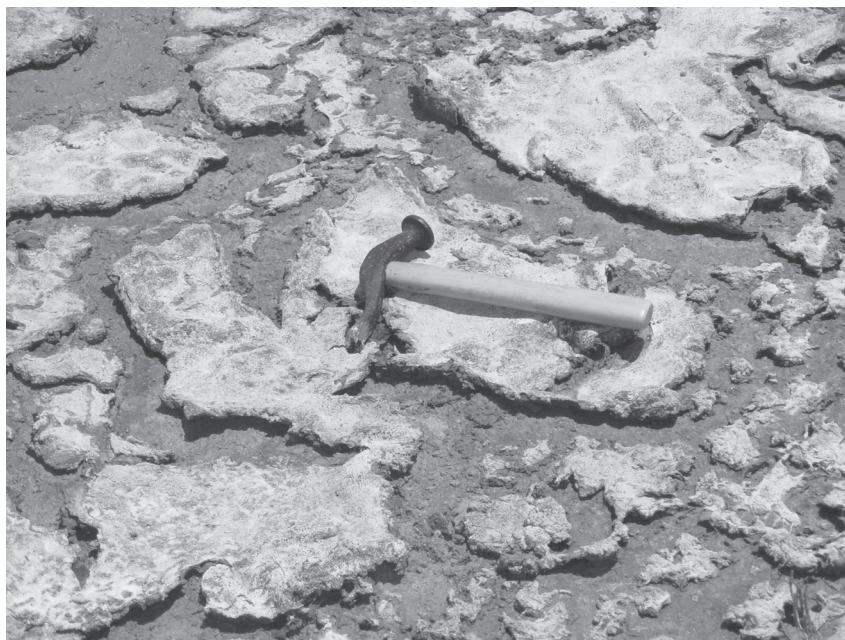


Figura 3. Estromatólitos estratiformes na lagoa Pernambuco.

Figure 3. Stratiforms stromatolites at Pernambuco Lagoon.

cm e comprimento de 23,6 cm e são compostos por laminações plano-paralelas a onduladas, milimétricas, micríticas, que alternam camadas escuras (ricas em matéria orgânica) e claras, estas constituídas de calcita com microcavidades de 0,3 cm de diâmetro em média. Alguns pelóides aleatórios de calcita estão presentes nas laminações escuras. Apresentam fragmentos de conchas de bivalve, tais como *Anomalocardia brasiliana* Gmelin 1791, de ostracodes do gênero *Cyprideis* Jones 1857 e do gastrópode *Heleobia australis* d'Orbigny 1835 (Figura 4). Na sua composição mineralógica, apresenta calcita, grãos de quartzo, feldspato e mica (Figura 5).

Foram constatadas 31 espécies de cianobactérias nas estruturas estromatolíticas: *Aphanothece clathrata* West e West 1906; *A. marina* (Ercegovic) Komárek e Anagnostidis 1995; *A. salina* Elenkin e Daniloo 1915; *Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemmermann 1904; *C. giganteus* W. West 1892; *C. membraninus* (Meneghini) Nägeli 1849; *C. microscopicus* Komarkova-Legnerova e Cronberg 1994; *C. minimus* (Keissler) Lemmermann 1904; *C. minor* Nägeli 1849; *C. minutus* Keissler 1901; *C. turgidus* Nägeli 1849 (Figura 6); *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis e Pantazidou 1991 (Figura 7); *Gomphosphaeria aponina* Kützing 1836; *Joanesbaptistia pellucida* (Dickie) Taylor e Drouet 1938; *Kyrtutbrrix maculans* (Gomont) Umezati 1958; *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis e Komárek 1988; *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892; *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892; *M. tenerrimus* Gomont 1892; *M. vaginatus* (Vaucher) Gomont 1892; *Oscillatoria subbrevis* Schmidle 1901; *Phormidium acuminatum* Gomont 1892; *P. acutum* (Bühhl e Bisw.) Anagnostidis e Komárek 1988; *P. okenii* (Gomont) Anagnostidis e Komárek 1988; *P. terebriforme* (Gomont) Anagnostidis e Komárek 1988; *P. willei* (Gardner) Anagnostidis e Komárek 1988; *Pseudocapsa dubia* Ercegovic, 1925; *Schizothrix arenaria* (Berkeley) Gomont 1892; *S. friesii* (Agardh) Gomont 1892; *Synechococcus elongatus* Nägeli 1849 e *S. salinarum* Komárek 1956.

DISCUSSÃO

Os estromatólitos estratiformes mostraram a presença de 31 espécies de ciano-

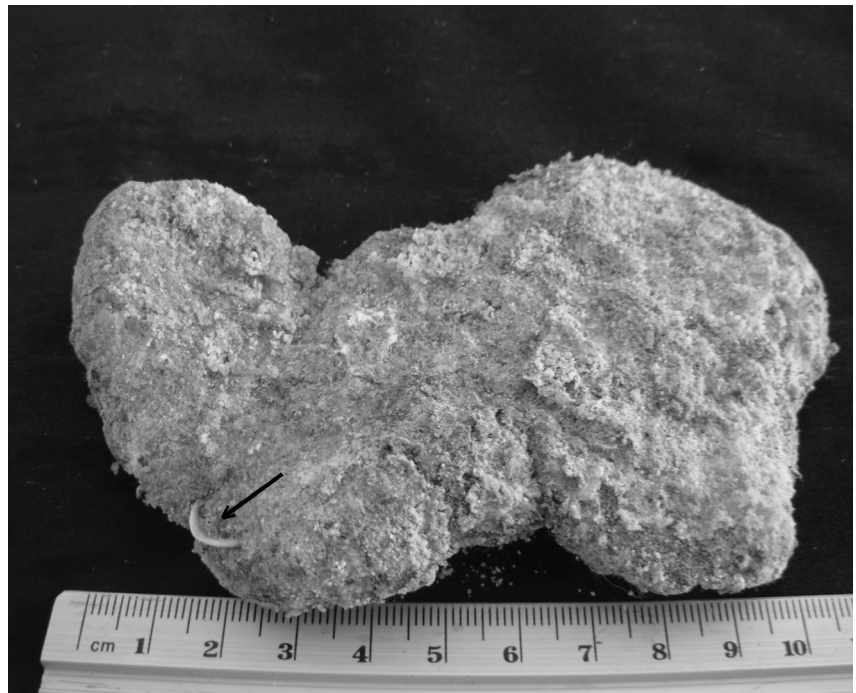


Figura 4. Aspecto geral de um estromatólito estratiforme com fragmentos esparsos de conchas de bivalves (seta).

Figure 4. General aspect of a stratiform stromatolite with sparse fragments of bivalve shells (arrow).

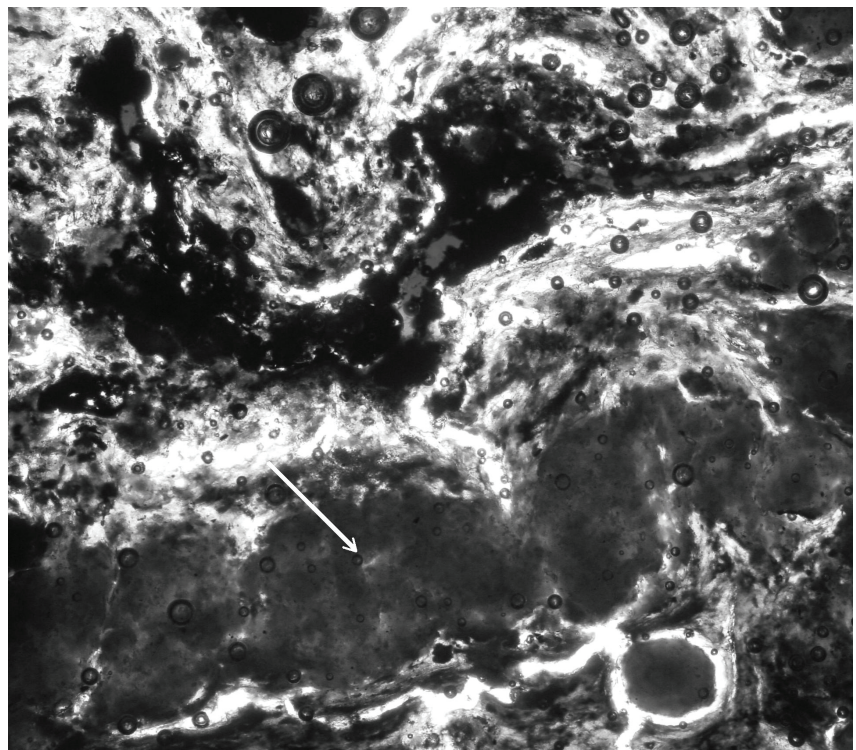


Figura 5. Fotomicrografia do estromatólito estratiforme. A seta indica a calcita. Escala: 0,5 mm.

Figure 5. Photomicrographie of the stratiform stromatolite showing calcite minerals (arrow). Scale bar: 0.5 mm.



Figura 6. *Chroococcus turgidus* Nägeli 1849. Escala: 10µm
Figure 6. *Chroococcus turgidus* Nägeli 1849. Scale bar: 10µm

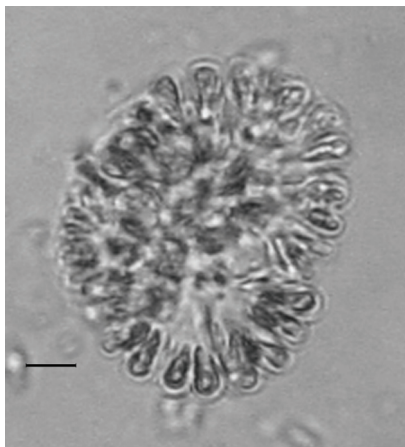


Figura 7. *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis e Pantazidou 1991. Escala: 10µm
Figure 7. *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis and Pantazidou 1991. Scale bar: 10µm

bactérias, com predomínio da Família Chroococcaceae Nägeli 1849, representando 32,2% dos tipos presentes. Este resultado corrobora aqueles obtidos para lagoa Vermelha por Silva e Silva *et al.* (2004a). As demais famílias observadas apresentaram os seguintes percentuais: Phormidiaceae Anagnostidis e Komárek 1988, com 25,8%; Synechococcaceae Komárek e Anagnostidis 1995, com 19,4%; Schizothricaceae Elenkin 1934, com 6,5%; Oscillatoriaceae Gomont 1892, com 6,5%; Merismopediaceae Elenkin 1933, com 3,2%; Pseudanabaenaceae Anagnostidis e Komárek 1988, com 3,2% e Nostocaceae Bourrelly 1970, com 3,2%.

A espécie *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892 foi a dominante neste tipo de estromatólito, o que também se coaduna com o que havia sido observado por Walter *et al.* (1973) em lagos da Austrália e por Silva e Silva (2002) e Silva e Silva *et al.* (2005), nas lagoas Salgada e Pitanguinha.

Estes elementos permitiram comprovar uma origem a partir da atividade de cianobactérias filamentosas para as esteiras microbianas laminadas, onde atuam como responsáveis pela união e pelo aprisionamento dos grãos. Comprova as observações prévias feitas para a lagoa Pernambuco por Iespa e Silva e Silva (2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições ambientais da lagoa, com baixa energia, sedimentos variados e substrato liso, colonizado por cianobactérias, certamente favoreceram e foram causa da formação destas estruturas laminadas. O caráter raso do corpo de água e o clima quente e seco foram, igualmente, fatores favoráveis ao desenvolvimento dos estromatólitos na região (Silva e Silva e Senra, 2000). Posteriormente, por precipitação e litificação, condições para o desenvolvimento de estromatólitos individuais também se estabelecem.

A presença de carbonato de cálcio entre as lâminas e de microcavidades causadas por bactérias cocóides nos estromatólitos aqui estudados sugere condições químicas e físicas semelhantes às bioconstruções em outras áreas modernas, sujeitas a climas tropicais, como as Bahamas e o norte da Austrália (Garcia-Pichel *et al.*, 2004). Como apontam Riding e Liang (2005), estes processos ficaram registrados em muitos momentos da história da Terra, permitindo o acompanhamento das mudanças seculares de temperatura e salinidade da água dos mares e, em especial, nas regiões costeiras do passado.

O conhecimento de análogos modernos destas formações constitui, indubitavelmente, uma ferramenta importante para a compreensão das estruturas presentes no registro.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela FAPERJ

(Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), através do IVP (Instituto Virtual de Paleontologia) e pela UNIRIO (Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro). Agradecemos a CPRM (Serviço Geológico do Brasil) a cessão da fotografia da aérea utilizada na Figura 1.

REFERÊNCIAS

- ALTERMANN, W. e KAZMIERCZAK, J. 2003. Archean microfossils: a reappraisal of early life on Earth. *Research Microbiology*, **154**:611-617.
- ANJOS, A.P.A. 1999. *Caracterização da sedimentação atual de lagoas costeiras do litoral do Estado do Rio de Janeiro para fins de calibração de acordo com as variações paleoambientais e paleoclimáticas*. Rio de Janeiro, UFF, Dissertação de Mestrado, 133 p.
- BATCHELOR, M.T.; BURNE, R.V.; HENRY, B.I. e SLATYER, T. 2005. Statistical physics and stromatolite growth: new perspectives on an ancient dilemma. *Physica A*, **350**:6-11.
- BENGTSON, S. (ed.). 1994. *Early Life on Earth*. Nobel Symposium 84, New York, Columbia University Press, 630 p.
- BRAGA, J.C. e MARTIN, J. M. 1995. Controls on microbial dome fabric development along a carbonate-siliciclastic shelf-basin transect, Miocene, SE Spain. *Palaios*, **10**:347-361.
- BURNS, B.P.; GOH, F.; ALLEN, M. e NEILAN, B.A. 2004. Microbial diversity of extant stromatolites in the hypersaline marine environment of Shark Bay, Australia. *Environmental Microbiology*, **6**(10):1096-1101.
- DECHO, A.W.; VISSCHER, P.T. e REID, R.P. 2005. Production and cycling of natural microbial exopolymers (EPS) within a marine stromatolite. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **219**(1-2):71-86.
- DRAGANITS, E. e NOFFKE, N. 2004. Siliciclastic stromatolites and other microbially induced sedimentary structures in an early Devonian Barrier- island environment (muth formation, new Himalayas). *Journal of Sedimentary Research*, **74**(2):191-202.
- DUANE, M. J. e AL-ZAMEL, A.Z. 1999. Syngenetic textural evolution of modern sabkha stromatolites (Kuwait). *Sedimentary Geology*, **127**:273-245.
- FONSECA, M.C. 2002. *Avaliação de índi-*

- ce de risco ecológico potencial para a contaminação por metais pesados. *Caso das lagoas do leste fluminense*. Rio de Janeiro, UFF, Dissertação de Mestrado, 116 p.
- GARCIA-PICHEL, F.; AL-HORANI, F. A.; FARMER, J.D.; LUDWIG, R. e WADE, B.D. 2004. Balance between microbial calcification and metazoan bioerosion in modern stromatolitic oncrites. *Geobiology*, **2**(1):49-57.
- GROTZINGER, J.P. e ROTHMAN, D.H. 1996. An abiotic model for stromatolite morphogenesis. *Nature*, **383**(3):423-425.
- IESPA, A.A.C. 2006. *Estudo geomicrobiológico da lagoa Pernambuco, Região dos Lagos (Estado do Rio de Janeiro)*. Rio de Janeiro, UFRJ, Dissertação de Mestrado, 116 p.
- IESPA, A.A.C. e SILVA e SILVA, L.H. 2005. Laminitos microbianos e cianobactérias na lagoa Pernambuco, Neógeno do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, **10**(6):5-10.
- IESPA, A.A.C.; DAMAZIO, C.M.; ALVES, S.A.P.M.N.; SHIMIZU, V.T.A.; CARVALHAL, S.B.V.; SANTOS, R.C.; BARROS, E.S.; LOPES, F.A.S., DELFINO, D.O. e SILVA e SILVA, L.H. 2004. Composição microbiana das esteiras estromatolíticas poligonais da lagoa Pernambuco, Neógeno do Rio de Janeiro, Brasil. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 3, Rio de Janeiro, *Resumos*, p. 4.
- KNAUTH, L.D. 2005. Temperature and salinity history of the precambrian ocean: implications for the course of microbial evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **219**(1-2):53-69.
- KONHAUSER, K.O.; PHOENIX, V.R.; BOTTRELL, S.H.; ADAMS, D.G. e HEAD, I.M. 2001. Microbial-silica interactions in Icelandic hot spring sinter: possible analogues for some Precambrian siliceous stromatolites. *Sedimentology*, **48**:415- 433.
- PAERL, H.W.; STEPPE, T.F. e REID, R.P. 2001. Bacterially mediated precipitation in marine stromatolites. *Environmental Microbiology*, **3**:123-130.
- PATCHINEELAM, S.R. e REBELO, A.R. 1984. Ocorrência de dolomita diagenética numa lagoa hipersalina. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 33, Rio de Janeiro, *Anais*, SBG, p. 245- 253.
- PETRISOR, A.I. e DECHO, A.W. 2004. Using geographical information techniques to quantify the spatial structure of endolithic boring processes within sediment grains of marine stromatolites. *Journal of Microbiological Methods*, **56**:173-180.
- PRIMO, P.B.S. e BIZERRIL, C.R.S.F. 2002. *Lagoa de Araruama. Perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo*. Rio de Janeiro, SEMADS, p.33-35.
- RIDING, R. 2002. Biofilm architecture of phanerozoic cryptic carbonate marine veneers. *Geology*, **30**(1):31-34.
- RIDING, R. e LIANG, L. 2005. Geobiology of microbial carbonates: metazoan and seawater saturation state influences on secular trends during the Phanerozoic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **219**(1-2):101-115.
- SABATER, S.; GUARCH, H. e ROMANI, A.M. 2000. Stromatolitic communities in Mediterranean streams: adaptations to a changing environment. *Biodiversity and Conservation*, **148**:99-117.
- SANTELLI, R.C.L. 1988. *Estudos de isótopos estáveis em sedimentos carbonáticos da lagoa Vermelha, Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, PUC-Rio, Tese de Doutorado, 85 p.
- SCHOPF, J.W. 1983. *Earth's Earliest Biosphere*. New Jersey, Princeton University Press, 543 p.
- SEMIKHATOV, M.A. e RAABEN, M.E. 2000. Proterozoic stromatolite taxonomy and biostratigraphy. *In: R.E. RIDING e S.M. AWARAMIK (eds.), Microbial sediments*. New York, Springer, p. 295-306.
- SILVA e SILVA, L.H. e SENRA, M.C.E. 2000. Estudo comparativo de esteiras microbianas presentes em duas lagoas hipersalinas. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, **5**(nº especial):225-227.
- SILVA e SILVA, L.H. 2002. *Contribuição ao conhecimento da composição microbiana e química das estruturas estromatolíticas da lagoa Salgada, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil*. Rio de Janeiro, UFRJ, Tese de Doutorado, 176 p.
- SILVA e SILVA, L.H.; SENRA, M.C.E. e SRIVASTAVA, N.K. 1999. Composição ficológica dos testemunhos dos estromatólitos estratiformes e esteira algal na lagoa Salgada, Rio de Janeiro, Brasil. *In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO*, 7, Porto Seguro, *Anais*, ABEQUA, Cd-Rom, viiabequa_zcp073.pdf.
- SILVA e SILVA, L.H.; SENRA, M.C.E.; FARUOLO, T.C.L.M.; CARVALHAL, S.B.V.; ALVES, S.A.P.M.N.; DAMAZIO, C.M.; SHIMIZU, V.T.A.; SANTOS, R.C. e IESPA, A.A.C. 2004a. Composição paleobiológica e tipos morfológicos das construções estromatolíticas da lagoa Vermelha, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**(2):193-198.
- SILVA e SILVA, L.H.; SENRA, M.C.E.; FARUOLO, T.C.L.M.; CARVALHAL, S.B.V.; ALVES, S.A.P.M.N.; DAMAZIO, C.M.; SHIMIZU, V.T.A.; SANTOS, R.C. e IESPA, A.A.C. 2004b. Estruturas microbianas recentes da lagoa Pernambuco, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**(2):189-192.
- SILVA e SILVA, L.H.; DAMAZIO, C.M. e IESPA, A.A.C. 2005. Identificação de cianobactérias em sedimentos da lagoa Pitanguinha, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, **28**(1):92-100.
- STOLZ, J.C. 2003. Fossil and recent biofilms a natural history of life on planet Earth. *In: W.E. KRUMBEIN; D.M. PATTERSON e G. ZAVARZIN (eds.), Structure of marine biofilms*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 65-76.
- STORRIE-LOMBARDI, M.C.; CORSETTI, F.A.; GRIGOLINI P.; IGNACCOLO, M.; ALLEGRINI, P.; GALATOLLO, S. e TINETTI, G. 2004. Complexity analysis to explore the structure of ancient stromatolites. *Chaos, Solitons and Fractals*, **20**:139-144.
- TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C. e ORTEGA, L.T. 1999. Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. *In: B. KNOPPERS; E.D. BIDONE e J.J. ABRÃO (eds.), Environmental geochemistry of coastal lagoon systems, Rio de Janeiro, Brazil*, Rio de Janeiro, UFF, Série Geoquímica Ambiental, p. 25-46.
- WALTER, M.R.; GOLUBIC, S. e PREISS, W.V. 1973. Recent stromatolites from hydromagnesite and aragonite depositing lakes near the Coorong Lagoon, South Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, **42**(4):1021-1030.
- WEBER, W. 2001. *Ambiente das águas no Estado do Rio de Janeiro*. SEMADS, Rio de Janeiro, 230 p.

Submetido em 05/08/2007

Aceito em 30/10/2007