



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

NÍVEL

MESTRADO E DOUTORADO

CONCEITO CAPES: 4 – M/D

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

GEOLOGIA

SUB-ÁREAS

Geologia Regional e Recursos Minerais

Hidrogeologia

Geologia Ambiental

Geofísica Aplicada

LINHAS DE PESQUISA

Geodinâmica e Recursos Minerais

Hidrogeologia e Gestão das Águas

Zoneamento Geoambiental e Geoquímica Ambiental

Geofísica Aplicada à Hidrogeologia e Tectônica

Coordenação da Pós-Graduação (geolpos@ufc.br)

Profa. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos (smaria@ufc.br)

Coordenadora

Campus Universitário do Pici, Bloco 912

60.455-760 Fortaleza - CE

Tel.: (85) 3366-9873 / 3366-9866 Fax: (85) 3366-9874

<http://www.posgradgeo.ufc.br>

Período de Inscrição: Novembro

Seleção: Dezembro



Estudo dos estromatólitos *biscuit* da lagoa Vermelha (Rio de Janeiro – Brasil)

M. Sc. Siglia Andressa Pinto Monteiro do Nascimento Alves^{a*}; D. Sc. Loreine Hermida da Silva e Silva^b

Recebido em 10 de junho de 2011 / Aceito em 02 de fevereiro de 2012

Resumo

Estromatólitos são depósitos laminados microbianos bênticos formados pela precipitação e / ou acreção de sedimento por comunidades cianobacterianas. Estas comunidades têm sido associadas aos estromatólitos desde o Pré-cambriano. Atualmente, os estromatólitos se desenvolvem em ambientes de características peculiares e a lagoa Vermelha se enquadra nesta descrição, possuindo hipersalinidade e pH alcalino. Está localizada entre as coordenadas 22°55'39" e 22°56'06" de latitude S e 42°21'29" e 42°24'13" de longitude O, entre os municípios de Araruama e Saquarema. Os estromatólitos *biscuit* são um tipo particular de estromatólito individual que apresenta como principais características: tamanho reduzido; superfície calcária crostosa, irregular e nodosa; laminações finas, irregulares e indistintas macroscopicamente. O objetivo deste estudo foi caracterizar geomicrobiologicamente os estromatólitos *biscuit* da lagoa Vermelha. A composição cianobacteriana revela 21 *taxa*. Os bioclastos foram representados por foraminíferos, bivalvíos e ostracódios. Mineralogicamente, os estromatólitos *biscuit* foram caracterizados como completamente compostos por calcita. Microestratigraficamente foram caracterizadas duas microfácies, que marcam dois momentos distintos na sucessão microestratigráfica dos estromatólitos, que permitem inferir possíveis momentos singulares na evolução ambiental da lagoa.

Palavras-chave: Estromatólitos, Geomicrobiologia, lagoa Vermelha.

Abstract

Stromatolites are laminated benthic microbial deposits formed by precipitation and / or sediment accretion by cyanobacterial mat communities. Stromatolites have been associated with these communities as far back as the Precambrian era. In the present days, stromatolites grow in singular environments such as lagoa Vermelha, which shows hypersalinity and high pH level waters. It is located over the coordinates 22°55'39"- 22°56'06" S and 42°21'29" - 42°24'13" W, between two municipalities: Araruama and Saquarema. Biscuit stromatolites are a particular kind of individual stromatolites that show small size range, outer calcareous surface crusty, irregular and knobby. Laminations in these stromatolites are thin, irregular, discontinuous and macroscopically indistinct. This study aims to geomicrobiologically classify the biscuit stromatolites from lagoa Vermelha. The stromatolites cyanobacterial constitution show 21 taxa. Foraminifers, bivalves and ostracods were the bioclasts found. Its mineralogical constitution consists entirely of calcite. The determination of 2 microfacies and the microstratigraphic boundaries in the biscuit stromatolites show possible correlations among distinct moments in the environmental evolution of the lagoon.

Keywords: Stromatolites, Geomicrobiology, lagoa Vermelha.

^aProfessora Assistente. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biociências. Núcleo de Geomicrobiologia. Avenida Pasteur 458, 4º andar, n. 409, Urca. CEP: 22290-255 – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. (21)2244-5681. E-mail: siglia@gmail.com ^bProfessora Associada. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biociências. Núcleo de Geomicrobiologia. Avenida Pasteur 458, 4º andar, n. 409, Urca. CEP: 22290-255 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil. (21)2244-5681. E-mail: loreineh@unirio.br

1. Introdução

Estromatólitos são estruturas notáveis. Tão primitivos e simples e ainda tão complexos e versáteis. Até o início do século XX foram considerados objetos curiosos. Atualmente, estas estruturas biossedimentares laminadas são intensamente estudadas. Eles são ao mesmo tempo fósseis e sedimentos e oferecem informações de um intervalo de tempo de aproximadamente 3,5 bilhões de anos para três dos maiores campos da ciência: Geologia, Biologia e Astronomia (Hofmann, 1973).

Os estromatólitos são os mais representativos fósseis pré-cambrianos, os componentes das plataformas carbonáticas proterozóicas mais significativos e são localmente importantes em recifes fanerozóicos (Riding, 1999). Eles têm sido usados para identificar locais de atividade biótica passada; interpretar ambientes deposicionais pretéritos e paleossalinidades; fazer correlações e determinação de idades; limitar cronologicamente a origem das cianobactérias, da fotossíntese produtora de oxigênio, do hábito filamentososo das algas e das comunidades biologicamente integradas; determinar a direção de paleocorrentes; mapear antigas linhas de costa; medir amplitudes antigas de marés; medir a órbita lunar; determinar ritmos astronômicos antigos; determinar as taxas de acumulação de sedimento; determinar paleolatitudes; prospecção de depósitos de minerais alcalinos e de microfósseis; determinações de seqüências deformadas; servir como atrações ecoturísticas (Srivastava, 2004).

Estromatólitos *biscuit* são estromatólitos individuais holocênicos, identificados pela primeira vez por Horodyski & Haar (1975) na lagoa Mormona, México. Morfológicamente apresentam-se como formações carbonáticas crostosas aragoníticas, de formato irregular e nodoso, tamanho reduzido, com até 15 cm de altura, laminações irregulares, descontínuas e pobremente

desenvolvidas. Sua frágil morfologia inspirou sua denominação *biscuit*, que foi inicialmente atribuída à predominância de *taxa* de cianobactérias cocóides.

2. Área de estudo

A lagoa Vermelha é um corpo d'água hipersalino, que se localiza entre os municípios de Saquarema e Araruama, estado do Rio de Janeiro, Brasil (Fig. 1) nas coordenadas 22°55'39" e 22°56'06" S e 42°21'29" e 42°24'13" O de Greenwich. Seu acesso é feito através da rodovia RJ-102. Suas dimensões são 4.400 m de comprimento, 250 – 850 m de largura com uma área de aproximadamente 2.400 m² e profundidade de 0,2 a 1,7 m. Separada do Oceano Atlântico por uma restinga de aproximadamente 350 m de largura e 4 m acima do nível do mar, a lagoa foi artificialmente dividida em três bolsões dos quais, o bolsão leste foi selecionado para o presente estudo. Nos bolsões central e oeste, até o presente momento, não foi constatada a ocorrência estromatólitos *biscuit*.

O balanço hídrico da lagoa é controlado pela precipitação, evaporação e entrada de águas subterrâneas de origem marinha e continental levando a abruptas variações de volume, profundidade e salinidade (Maddock, 1999). Segundo Primo & Bizerril (2002) a lagoa Vermelha possui ligação com lagoa de Araruama por canais que passam entre os tanques de concentração das salinas.

A região é caracterizada por um micro-clima de transição entre o tropical com chuvas de verão e seca de inverno (AW), e o semi-árido quente (Bsh) com o predomínio absoluto dos ventos nordeste no decorrer do ano com velocidade variada, que se intensifica no período inverno/primavera. Höhn *et al.* (1986), destacam que devido a pouca profundidade e forte ação dos ventos na região, a coluna d'água da lagoa não se apresenta estratificada.

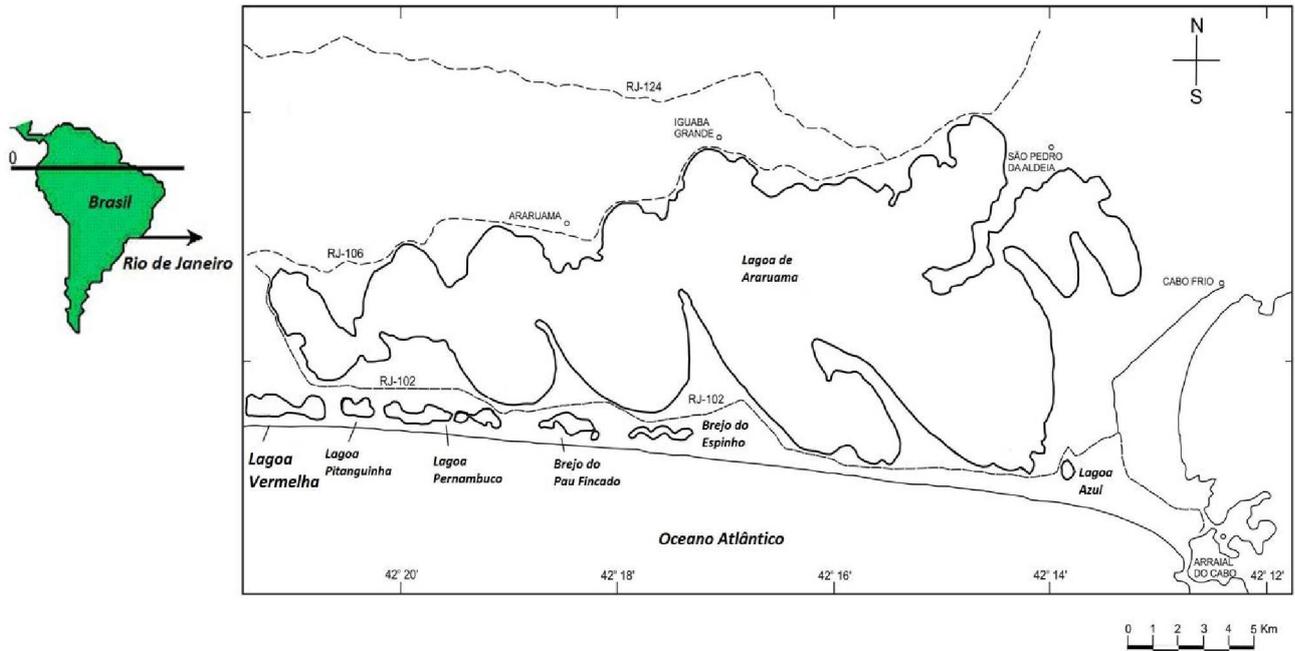


Fig. 1 - Diagrama e mapa do Complexo Lagunar de Araruama indicando a localização da lagoa Vermelha ($22^{\circ}55'39''$ e $22^{\circ}56'06''$ de latitude S e $42^{\circ}21'29''$ e $42^{\circ}24'13''$ de longitude O) entre o oceano Atlântico e a lagoa de Araruama, Rio de Janeiro, Brasil (Vasconcelos et al., 2006 modificado).

Segundo Vasconcelos (1988) os sedimentos da área correspondem aos do litoral fluminense, constituídos principalmente por quartzo de granulometria média arredondados a subangulosos. Santelli (1988) ainda relata que o sedimento da lagoa é rico em carbonato, formado quase na sua totalidade por camadas laminadas, de porções cinza claras que contêm minerais carbonáticos e camadas escuras de matéria orgânica. Outro fator que destaca os sedimentos da lagoa Vermelha é a formação de dolomita diagenética em camadas superficiais (Burns et al., 2000; Lith et al., 2003; Patchineelan, et al., 1984). Maddock (1999) ressalta que esta lagoa mostra evidências de acumulação contemporânea nos sedimentos de camadas orgânicas e carbonáticas, sendo um acumulador natural de material orgânico e inorgânico e provendo uma analogia para ambientes que, indicados por evidências fósseis, ocorreram no Pré-Cambriano e que levaram a formação de depósitos de petróleo e certos tipos de minérios sulfetados, em particular o folhelho Kupferschieffer.

Por fazer parte do complexo lagunar de Araruama a formação da lagoa Vermelha está intimamente relacionada à origem deste. Coe Neto (1984) descreveu a origem do sistema lagunar de

Araruama ligada às subidas sucessivas relativamente recentes do nível do mar e a presença das lagoas sobre cordões litorâneos sugere que foram construídos ao curso de duas transgressões marinhas com oscilações menores. Trabalhos recentes baseados em testemunhos coletados dentro do sistema lagunar externo, localizado entre as duas barreiras, revelaram que estas pequenas lagoas iniciaram a sua formação entre 7000 e 5000 anos A.P. Porém a barreira interna corresponde a um episódio transgressivo anterior ao Holoceno, datado de 123.000 anos A.P. (Turcq et al., 1999).

3. Materiais e métodos

Foram marcadas cinco estações de coleta no bolsão leste da lagoa Vermelha denominadas: **LV1** ($22^{\circ}55'32,0''$ S e $42^{\circ}22'01,7''$ W), **LV2** ($22^{\circ}55'55,6''$ S e $42^{\circ}21'46,0''$ W), **LV3** ($22^{\circ}55'52,1''$ S e $42^{\circ}22'19,3''$ W), **LV4** ($22^{\circ}55'52,1''$ S e $42^{\circ}22'10,4''$ W) e **LV5** ($22^{\circ}55'33,8''$ S e $42^{\circ}22'55,4''$ W) e realizadas coletas bimensais no período de maio de 2005 a novembro de 2006 (Fig.2).

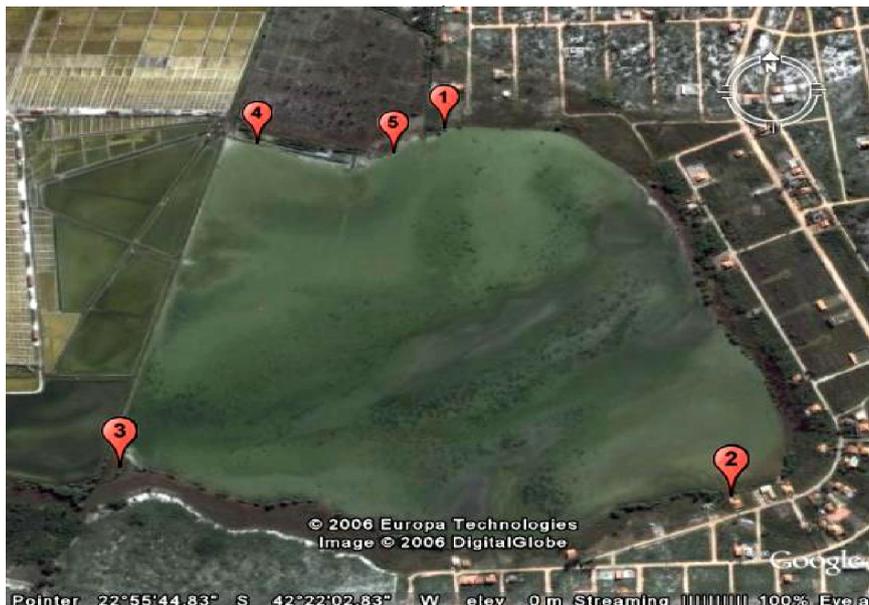


Fig. 2 - Imagem de satélite mostrando a localização das estações de coleta no bolsão leste da lagoa Vermelha (Google Earth, 2006).

As amostras de estromatólitos *biscuit* foram obtidas através de extração manual, com o auxílio de martelo geológico e espátula, durante o período de maré baixa, na superfície da zona de inframaré. Antes da extração, os estromatólitos *biscuit* foram observados *in situ* e registrado sua geometria e características da sua distribuição no terreno.

Foram acondicionados em sacos plásticos, identificados e transportados ao Laboratório de Biologia e Taxonomia Algal (LABIOTAL) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro onde as amostras foram triadas e classificadas segundo sua morfologia, de acordo com Silva e Silva & Alves (2005). A água para análise química foi coletada em frascos plásticos descartáveis e encaminhadas para análise.

Foram aferidos *in loco* parâmetros físico-químicos da água e do sedimento: pH; temperatura da água, temperatura do sedimento, condutividade e salinidade. Cada parâmetro foi apresentado na forma de média obtida entre as cinco estações durante o dia da coleta.

Foram confeccionadas cinco lâminas petrográficas. Estas lâminas foram descritas através de microscopia óptica de luz polarizada identificando-se texturas e assembléias biológicas, além de componentes clásticos (siliciclásticos).

Os carbonatos dos estromatólitos *biscuit* foram analisados mineralogicamente através de microscopia eletrônica de varredura associado à espectroscopia de energia dispersiva.

A análise microbiológica dos estromatólitos *biscuit* baseou-se no método qualitativo de Silva e Silva (2002).

4. Resultados

A análise química da água revelou: fósforo total: 0,05 mg/dL; fósforo solúvel: <0,01 mg/dL; nitrato: <0,01 mg/dL; nitrito: 0,001 mg/dL; dureza total expressa em bicarbonatos: $7,1 \times 10^3$ mg/dL; dureza total expressa em cálcio: $2,1 \times 10^3$ mg/dL; dureza total expressa em magnésio: $4,2 \times 10^3$ mg/dL.

As médias dos parâmetros físico-químicos lagunares durante o período de acompanhamento ambiental foram: pH: $8,3 \pm 0,5$ u.pH; temperatura da água: 28 ± 2 °C; temperatura do sedimento: 27 ± 3 °C; condutividade: $78 \text{ m} \pm 11 \text{ S.cm}^{-1}$ e salinidade: 54 ± 12 ‰.

Os estromatólitos *biscuit* com suas superfícies crostosas calcárias, irregulares e nodosas e possuidores de laminações finas, irregulares,

descontínuas e indistintas foram encontrados apenas no bolsão leste da lagoa Vermelha, nas estações de coleta LV2 e LV4, posicionados na região de inframaré e com distribuição em padrão aleatório sobre o soalho da lagoa. Foram classificadas como planos, convexos ou côncavos, mistos e irregulares

(Fig.3). De 30 amostras analisadas obteve-se: planos: 66,6%, convexos ou côncavos: 8,3%, mistos: 8,3%, irregulares: 16,8%. As dimensões médias entre as amostras foram: 83 ± 18 mm de comprimento, 58 ± 9 mm de largura e 9 ± 2 mm de espessura.

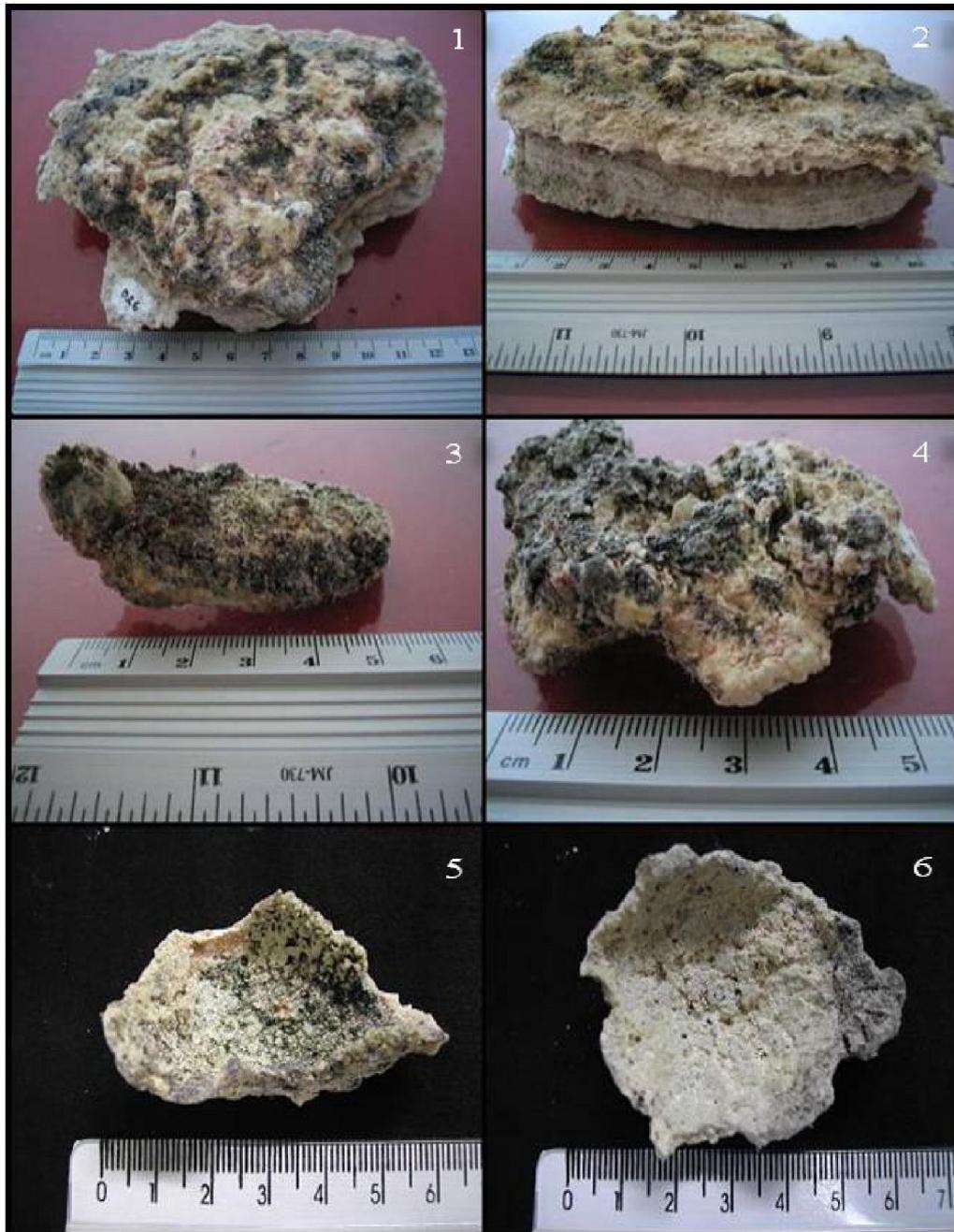


Fig. 3 - Estromatólítos biscuit: 1-Vista de topo de estromatólito plano; 2-Vista lateral de estromatólito plano; 3-Estromatólito convexo; 4- Estromatólito irregular; 5-Estromatólito côncavo; 6- Estromatólito côncavo. (Escala em centímetros para todas as amostras).

Seções delgadas dos estromatólitos *biscuit* foram analisadas para caracterizar e traçar um perfil microestratigráfico. Foram selecionadas quatro amostras, levando-se em consideração a integridade da amostra, coesão, coloração, porosidade e tamanho. Tais amostras, encontradas na estação de coleta LV2, foram identificadas como LV2-1, LV2-

2, LV2-3 e LV2-SN. Destas amostras, foram confeccionadas lâminas petrográficas, respectivamente identificadas com igual denominação das amostras, com uma única exceção para a amostra LV2-3, da qual se confeccionou duas lâminas petrográficas: LV2-3a e LV2-3b (Fig. 4).

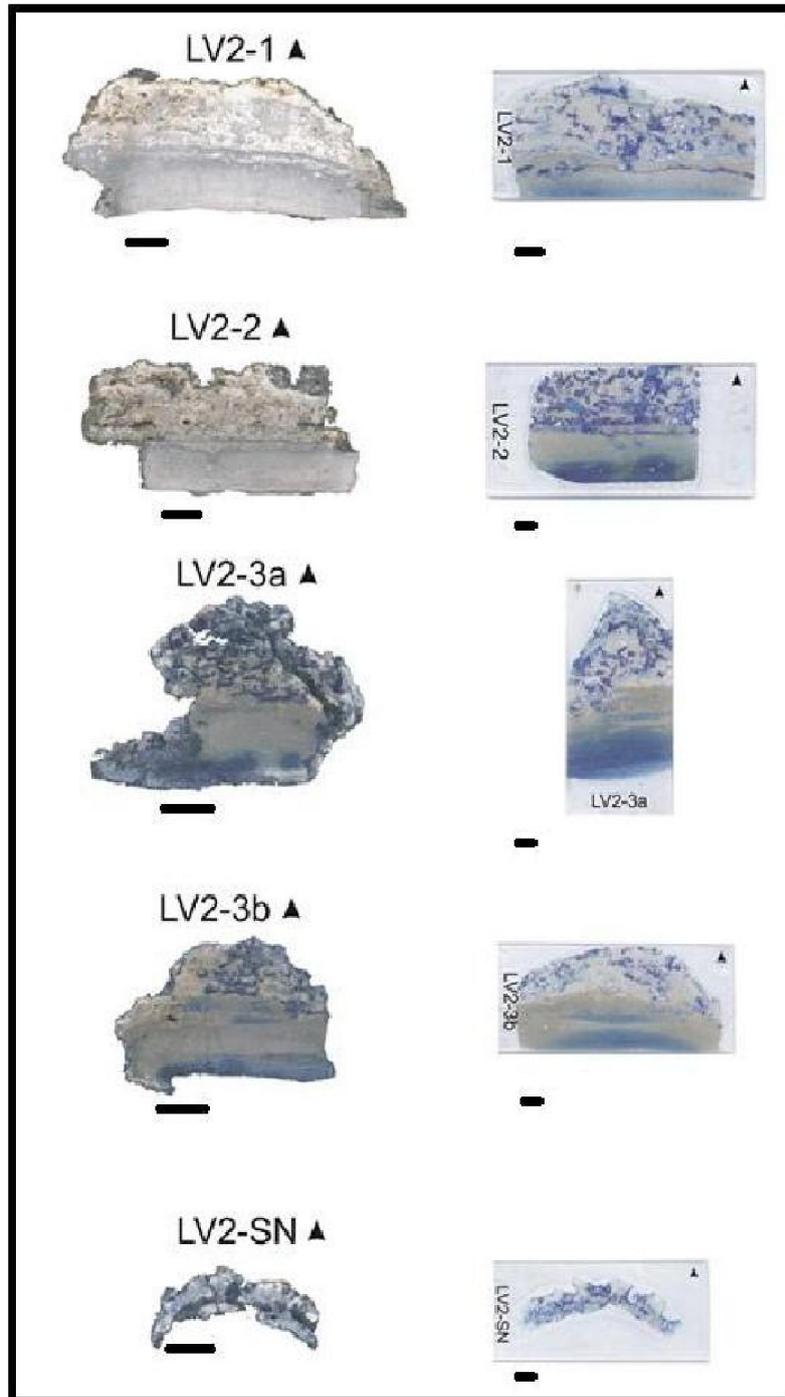


Fig. 4 - Estromatólitos biscuit LV2-1, LV2-2, LV2-3 e LV2-SN e suas respectivas lâminas petrográficas. (Escala = 1cm).

A espectroscopia das amostras revelou que todos níveis microestratigráficos dos estromatólitos *biscuit* são compostos de calcita. A análise das amostras permitiu a identificação de duas microfácies: microfácies M1 e M2, que se distribuem na mesma sucessão microestratigráfica entre as amostras; numeradas e ordenadas em seqüências crescentes, da base para o topo de cada amostra. Cada uma dessas microfácies foi subdividida de acordo com características particulares microtexturais. Foram utilizados os trabalhos clássicos de Folk (1962) e Dunham (1962) para a descrição petrográfica dos carbonatos.

Microfácies M1

Em geral esta microfácies ocorre no nível basal dos estromatólitos *biscuit*, composto segundo a classificação de Folk (1962), de setores de micrita e dismicrita, alternando feições carbonáticas e terrígenas e cujo análogo seria um argilito. Segundo Dunham (1962) todo setor poderia ser classificado como um *mudstone*. Pode ser subdividida nas microfácies M1a, M1b, M1c e M1d. A microfácies M1a é caracterizada como micrita de alta porosidade. A matriz se encontra impregnada pela resina utilizada no processo de preparação petrográfica (Fig. 5).

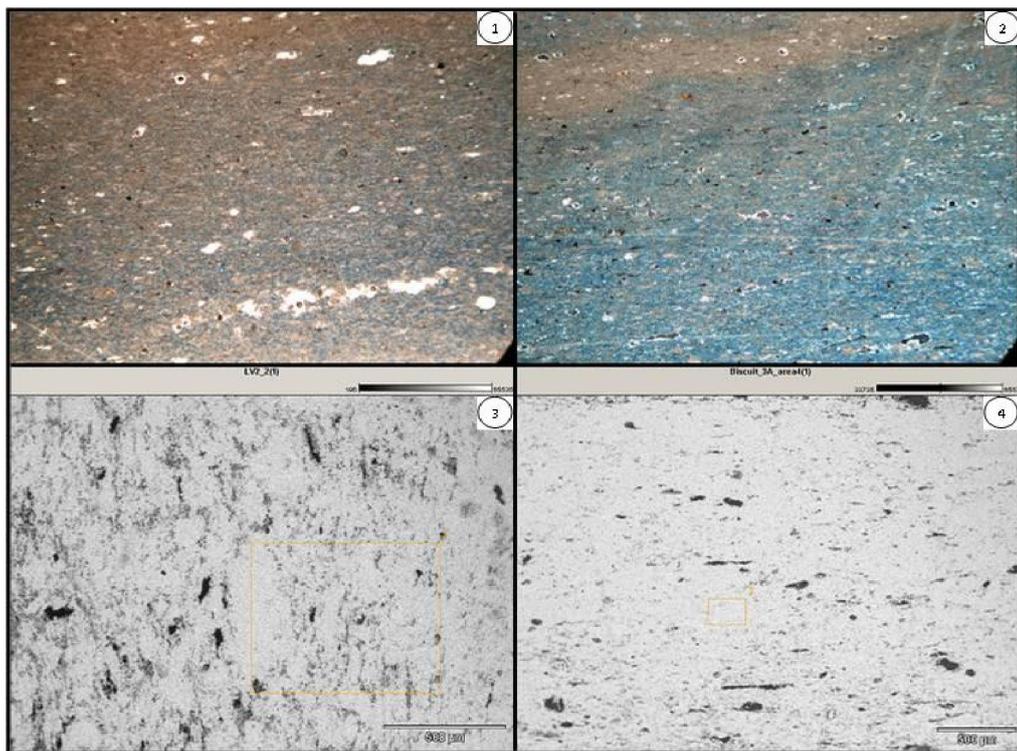


Fig. 5 - Fotomicrografias por microscopia óptica de luz polarizada (MOLP) e fotomicrografias por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da microfácies M1a: 1- MOLP em nicol // evidenciando micrita de alta porosidade; 2- MOLP em nicol //, micrita impregnada com resina (cor azul) (Escala = 0,5 mm); 3 e 4 - MEV de amostras LV2-2 e LV2-3a.

A microfácies M1b se apresenta como área dismicrítica caracterizada pela presença de *vugs* (porosidade vugular), com orientação horizontal (Fig. 6), de maiores eixos com comprimento médio de 132 μ m e menores eixos com comprimento médio de 57 μ m.

A microfácies M1c foi uma área apenas caracterizada na amostra LV2-3b como faixa

micrítica. A microfácies M1d é uma área de interface entre M1 e M2, onde a micrita sofre dissolução em direção a base, formando cavidades preenchidas por intraclastos peloidais provenientes da microfácies M2, caracterizando um intramicrito segundo Folk (1962) e um *wackestone* segundo Dunham (1962) (Fig. 7). Média do comprimento do maior eixo dos intraclastos foi de 111 μ m e do menor eixo foi de 69 μ m.

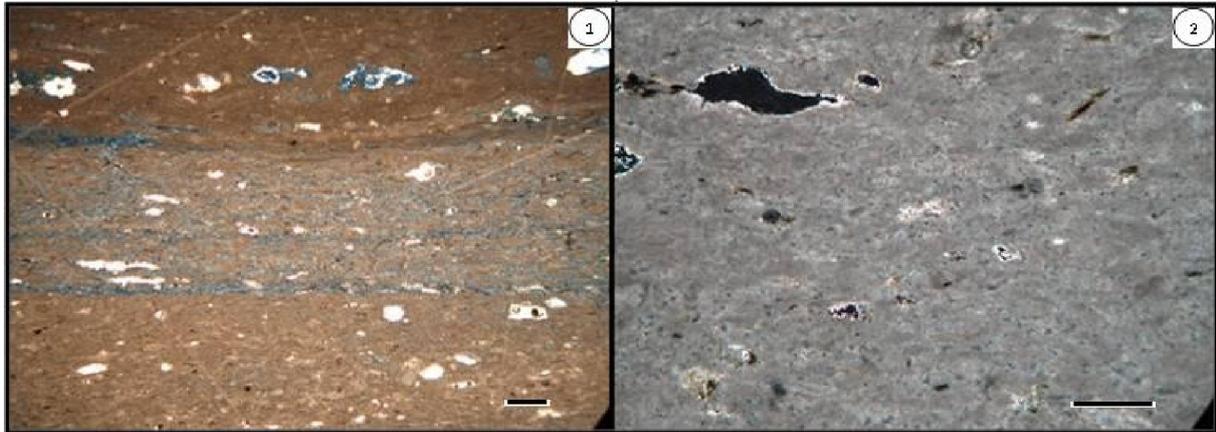


Fig. 6: Fotomicrografias por MOLP da microfácies M1b: 1- Nicol //, dismicrita com presença de vugs (Escala = 0,5 mm); 2- Nicol X, detalhe de um vug (Escala = 0,1 mm).

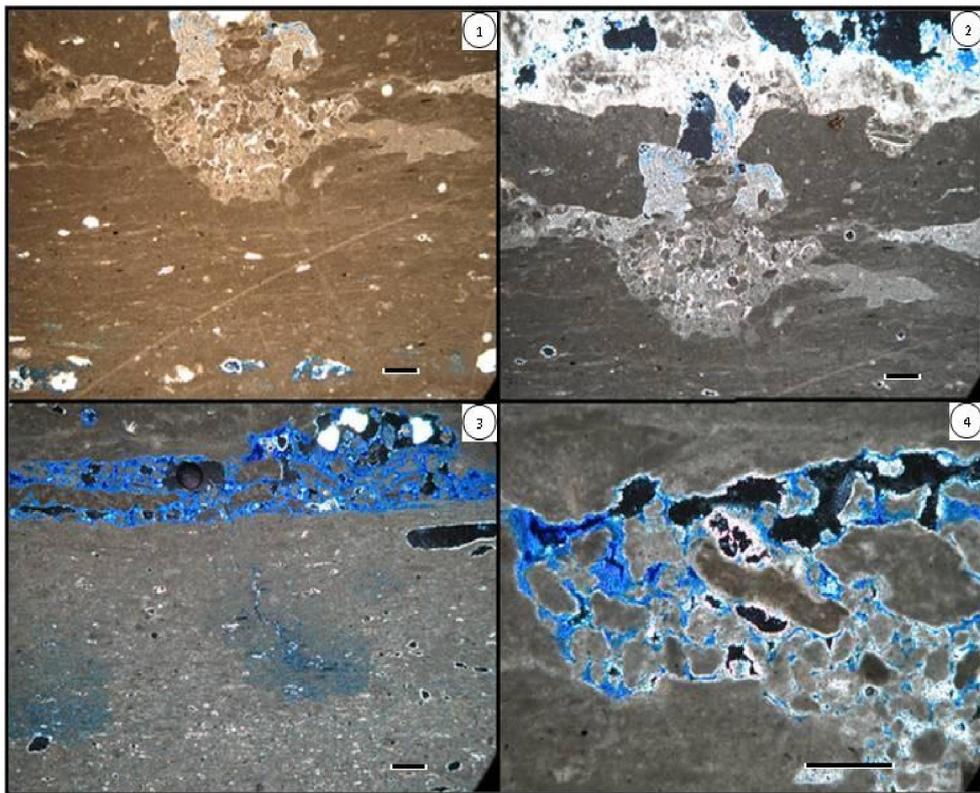


Fig. 7 - Fotomicrografias por MOLP da microfácies M1d: 1- Nicol //, cavidade de dissolução preenchida por intraclastos provenientes de M2; 2- Nicol X da região anterior mostrando a interface com M2a; 3- Nicol X, cavidades preenchida por intraclastos (para 1, 2 e 3 Escala = 0,5 mm); 4- Nicol X, detalhe de uma cavidade e seu preenchimento com intraclastos (Escala = 0,1 mm).

Microfácies M2

Em geral esta microfácies ocorre no nível apical dos estromatólitos *biscuit*, onde os processos de dissolução e bioerosão dominam as feições carbonáticas. Elementos peloidais e bioclastos estão presentes em diferentes organizações caracterizando

os sub-níveis de M2. Pela classificação de Folk (1962) teria-se uma pel-biomicrita e segundo Dunham (1962), de um *wackestone*. Pode ser subdividida nas microfácies M2a, M2b e M2c.

A microfácies M2a faz interface com M1 e é caracterizada por feição tufácea dos carbonatos, cuja organização é atribuível ao crescimento vertical dos filamentos cianobacterianos. Possui alta porosidade, com poros grandes de morfologia

atribuível à dissolução. Há presença de pequena quantidade de coágulos carbonáticos peloidais com morfologia variada, variando de subangulares a arredondados e com baixo índice de esfericidade (Fig. 8).

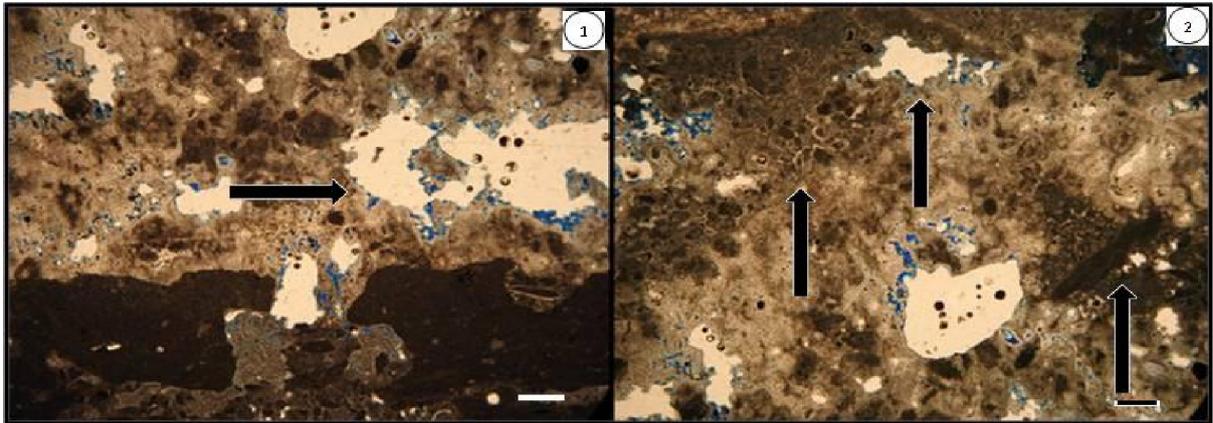


Fig. 8: Fotomicrografias por MOLP da microfácies M2a: 1- Nicol //, área contínua a M1d, formação tufácea dos carbonatos, grandes figuras de dissolução; 2 - Nicol //, visão mais ampla da área anterior; setas sinalizando conformação dos carbonatos, áreas de dissolução e pelóides (Escala = 0,5 mm).

A microfácies M2b apresenta pelóides encontrados com maior frequência, mas, sem orientação aparente e com mesma morfologia de M2a. Permanece a alta porosidade com figuras de

morfologia atribuível à bioerosão (Fig.9). Segundo Dunham (1962), teria-se um *wackestone* segundo Folk (1962) teria-se um pelmicrito.

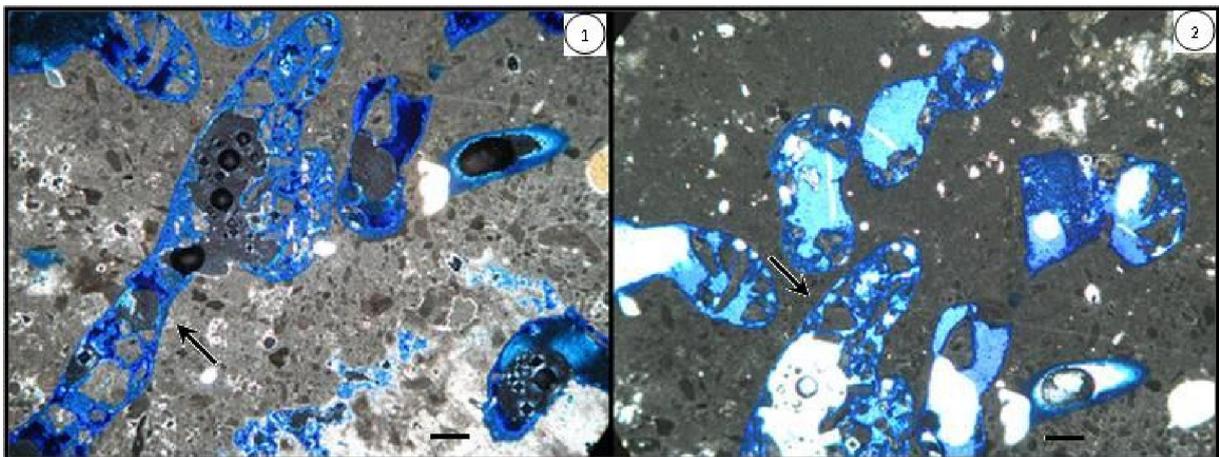


Fig. 9 - Fotomicrografias por MOLP da microfácies M2b: 1- Nicol X, grandes figuras de bioerosão; 2 - Nicol //, área anterior (Escala = 0,5 mm).

A microfácies M2c caracteriza o nível mais superficial das amostras, rico em bioclastos, representados por restos esqueléticos de foraminíferos, bivalvíos desarticulados e ostracódios. Neste nível são encontrados grãos de quartzo variando de subangulosos a subarredondados. Verificou-se que a amostra LV2-SN corresponde a

um setor M2c, que provavelmente foi desconectado de sua amostra mãe em função dos processos de dissolução e erosão que ocorrem nos níveis M2a e M2b. Este nível, segundo Folk (1962), seria considerado uma biomicrita. Neste nível foram observadas microlaminações finas de padrão descontínuo (Figuras 10 e 11).

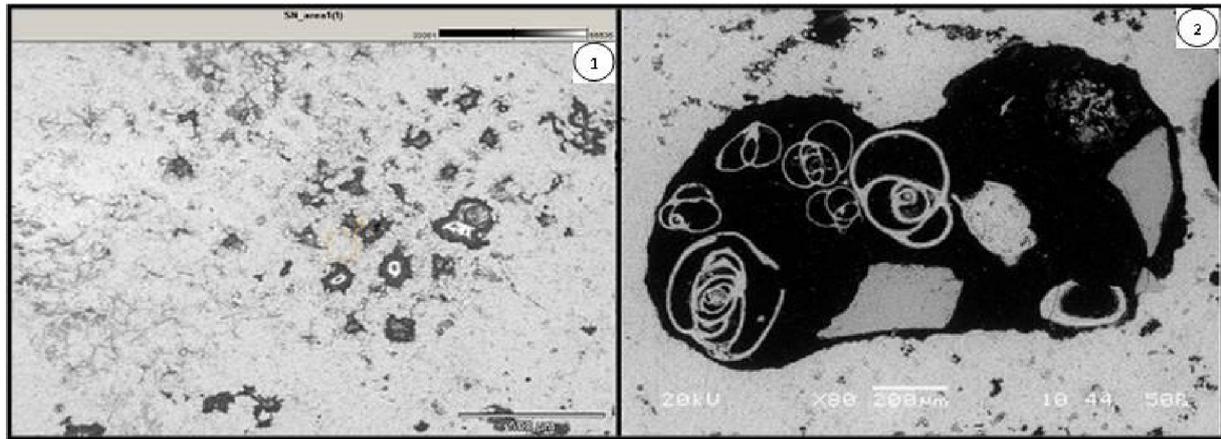


Fig. 10 - Fotomicrografias por MEV da microfácies M2c: 1- Textura da calcita em M2c; 2-Foraminíferos em cavidade.

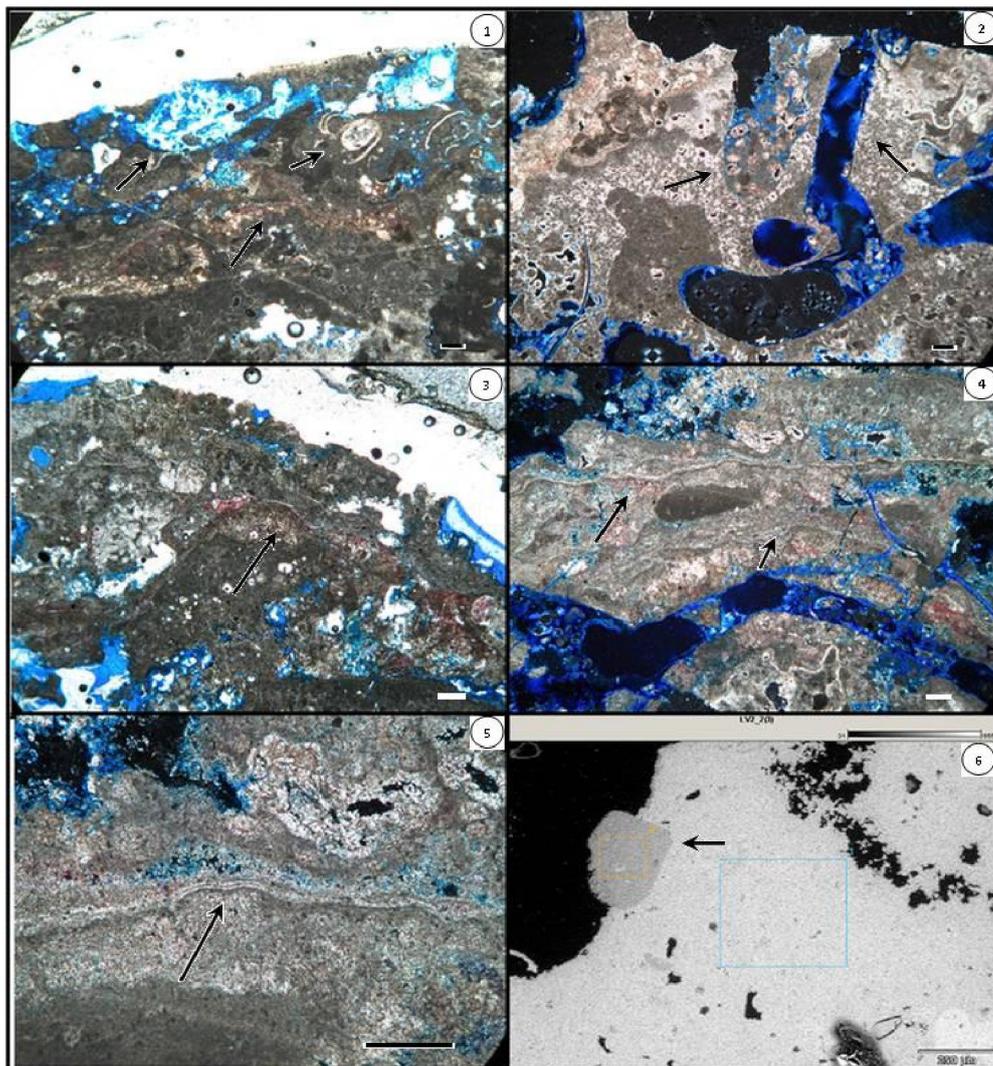


Fig. 11- Fotomicrografias por MOLP e por MEV da microfácies M2c: 1- Nicol //, setas indicando dissolução, bioclastos e microlaminações; 2- Nicol X, cavidades de bioerosão preenchidas com bioclastos e com resina; 3- Nicol //, microlamição; 4- Nicol X, duas microlaminações paralelas, notar padrão descontínuo da microlaminação basal; 5- Nicol X, microlaminação em detalhe; 6-Grão de quartzo prensado entre matriz micrítica e área de bioerosão. (para 1, 2, 3 e 4 Escala = 0,5 mm, para 5 Escala = 0,1 mm).

Com relação à composição cianobacteriana foram encontrados 21 taxa.

6. Discussão

A lagoa Vermelha é uma lagoa costeira que sustenta a formação de estruturas sedimentares microbianas conhecidas como esteiras microbianas e estromatólitos.

A análise dos parâmetros físico-químicos lagunares revelou uma temperatura média de 28 ± 2 °C, uma salinidade média de 54 ± 12 ‰ e um pH médio de $8,3 \pm 0,5$ u.pH permitindo classificá-la como possuidora de águas mornas, hipersalinas e alcalinas, que oferecem um ambiente restrito ao desenvolvimento de diversos organismos, assim como Silva e Silva (2002) observou na lagoa Salgada.

A alta salinidade verificada na lagoa é afirmada pelos parâmetros definidos por Esteves (1998), que classifica como eualinas lagoas que apresentem salinidade acima de 30‰ durante todo o ano e pode ser explicada pela ausência de efluentes continentais e por uma evaporação superior a precipitação. Os trabalhos de Santelli (1988), Carvalhal (2003) e Silva e Silva *et al.* (2004), na área confirmam estes parâmetros.

A alcalinidade da lagoa pode ser explicada por estar localizada em uma área cujo balanço hídrico promovido pela precipitação é negativo e pela influência marinha exercida sobre a mesma, conforme Esteves (1988). Ao mesmo tempo, as cianobactérias são capazes de criar um microgradiente de alcalinidade, quer por sua constituição (*e.g.* bainhas de mucilagem), quer pela fotossíntese, aumentando a alcalinidade como sugerido por Petencost & Riding (1986).

A água sem estratificação e transparente permite a maior penetração da luz solar, que alcança as comunidades bêntônicas mais eficientemente, favorecendo a fotossíntese cianobacteriana, que por sua vez gera uma conseqüente precipitação de carbonato de cálcio, principal componente das estruturas estromatolíticas, em especial, dos

estromatólitos *biscuit*.

A análise química da água permite classificá-la com muito dura, com alto conteúdo mineral, em especial, os elementos cálcio e magnésio e suas combinações com carbonatos e bicarbonatos. Além disso, a quantidade de fósforo, nitrito e nitrato aferidos sustenta a possibilidade de manutenção de níveis de nutrientes capazes de conferir um perfil atualmente mesotrófico à lagoa, podendo-se inferir que uma das causas seja a percolação de esgoto doméstico não tratado dos loteamentos adjacentes (ação antrópica).

Os estromatólitos *biscuit* exibem uma superfície crostosa calcária, irregular e nodosa, variam de poucos milímetros a alguns centímetros e suas laminações são finas, irregulares, descontínuas e indistintas, concordando com a descrição de Horodyski & Haar (1975) para estromatólitos encontrados na lagoa Mormona. Entretanto os estromatólitos *biscuit* da lagoa Mormona são compostos por aragonita enquanto os estromatólitos da lagoa Vermelha são compostos por calcita. Da mesma forma que os exemplares encontrados na lagoa Mormona, os estromatólitos *biscuit* da lagoa Vermelha são encontrados sempre submersos (zona de inframaré) e restritos a uma pequena área do corpo d'água. A justificativa encontrada por Horodyski & Haar (1975) para tal disposição foi a manutenção pontual de condições extremas de hipersalinidade (até 90‰), o que também é verificado na lagoa Vermelha. Outra possível justificativa para esta disposição na lagoa Vermelha seria a intensa atividade humana sobre o corpo d'água, em especial a atividade salineira, que em função da construção de marnéis, retrabalhou a região marginal de grande parte da lagoa, e portanto, é provável que estruturas estromatolíticas tenham sido eliminadas sem deixar qualquer tipo de sinal de sua existência.

O estudo microestratigráfico dos estromatólitos *biscuit* permitiu a caracterização de duas microfácies M1 e M2, que correspondem a dois períodos distintos do crescimento estromatolítico. O primeiro momento, representado pela microfácies M1 provavelmente foi uma fase de

influência fluvial (águas continentais). Tem-se sedimento derivado de uma esteira laminada que se compactou ao longo de sua evolução e os *vugs* encontrados foram formados pela decomposição da própria esteira.

A microfácies M1a apresenta-se mais argilosa, com menor quantidade de matéria orgânica por uma provável maior fase de turbulência, com aporte de lama (origem fluvial?). A microfácies M1b apresenta-se mais carbonática por provável supressão do aporte de lama, permitindo um maior desenvolvimento da esteira. Resultando em maior quantidade de matéria orgânica, que dá origem pela sua decomposição a inúmeros *vugs*. A microfácies M1c foi caracterizada apenas na amostra LV2-3b indicando uma intensa precipitação carbonática pontual caracterizado por um padrão irregular de implantação da esteira na amostra analisada. A microfácies M1d representa o limite entre o primeiro e o segundo momento, caracterizado pelas microfácies M1 e M2. M1d apresenta figuras de dissolução tipo carstificação, com a formação de microcavernas. Isto poderia ser explicado pela abertura da lagoa para o mar permitindo mudanças nas esteiras microbianas, que precipitam o estromatólito *biscuit* ou ainda pela exposição subaérea.

No segundo momento de crescimento estromatolítico, a microfácies M2 se caracteriza por carbonatos acumulados na forma de pequenos coágulos (pelóides) e pela bioerosão, que poderia ser gerada pela ação bacteriana e a ação de organismos invertebrados. Teria-se um momento de influência marinha.

A microfácies M2a apresenta uma microtextura carbonácea tufácea cuja formação é atribuível a cianobactérias filamentosas que adquirem uma orientação verticalizada (heliotropismo) durante o crescimento da esteira. A microfácies M2b perde a característica tufácea carbonática e aparecem em maior abundância as figuras de bioerosão. A provável justificativa para esta fase seria um aumento da circulação de água marinha, que restringiria o crescimento da esteira, permitindo que cianobactérias cocóides, mais resistentes, prosperem. A microfácies

M2c caracteriza outra fase de influência de cianobactérias cocóides sobre o crescimento estromatolítico com a manutenção da influência marinha e a participação dos bioclastos, como ostracódios em provável predação da esteira microbiana formadora do estromatólito, na composição estromatolítica.

As microfácies dos estromatólitos *biscuit* compartilham componentes em comum com as microfácies de outros estromatólitos individuais, como exemplos de estromatólitos domais e irregulares de Shark Bay (Papineau *et al.*, 2005). Neste estudo o tipo domal apresentou uma microfácies interior composta por areia carbonática submilimétrica, foraminíferos, conchas de bivalvíos inteiras e fragmentadas e micrita, interrompidas por poros; e o tipo irregular apresentou uma microfácies interior menos porosa e com menor quantidade de foraminíferos e bivalvíos quando comparadas aos domais, caracterizando uma micrita maciça.

O estudo dos carbonatos microbianos desenvolvido por Riding (2000) distingue os estromatólitos como um dos produtos finais e os dividem segundo sua microfábrica em três tipos, nos quais os estromatólitos *biscuit* se inserem como exemplares finamente granulados. Segundo este estudo a micrita seria derivada de células cianobacterianas e biofilmes calcificados, e os pelóides seriam agregados bacterianos calcificados.

7. Conclusão

Como presentes nos demais tipos de estromatólitos, estromatólitos *biscuit* apresentam microlaminações descontínuas e irregulares. O carbonato de cálcio encontrado nos estromatólitos foi caracterizado como micrítico apresentando variações entre cada microfácies, onde da base para o ápice se tem microfácies micríticas, dismicríticas, pelmicríticas a biomicríticas. Em todos os níveis do estromatólito *biscuit* da lagoa Vermelha a calcita se mostrou como principal componente mineralógico.

A análise de microfácies estromatolíticas possibilita inferir possíveis momentos da evolução ambiental do ambiente deposicional dos estromatólitos. O estudo microestratigráfico dos estromatólitos *biscuit* permitiu a caracterização de duas microfácies M1 e M2, que correspondem a dois períodos distintos do crescimento estromatolítico. O primeiro momento, representado pela microfácies M1 provavelmente foi uma fase de influência fluvial (águas continentais). Tem-se sedimento derivado de uma esteira laminada que se compactou ao longo de sua evolução e os *vugs* encontrados foram formados pela decomposição da própria esteira. No segundo momento de crescimento estromatolítico, a microfácies M2 se caracteriza por carbonatos acumulados na forma de pequenos coágulos (pelóides) e pela bioerosão, que pode ser gerada pela ação bacteriana e a ação de organismos invertebrados. Teria-se um momento de influência marinha.

Na composição dos estromatólitos estudados foram constatados restos esqueléticos (bioclastos) de foraminíferos, bivalvíos e ostracódios.

Os níveis verificados de fósforo total, fósforo solúvel, nitrato e nitrito, permitiram confirmar a manutenção de condições nutricionais ótimas para o processo de assimilação e presença das cianobactérias.

O entendimento do desenvolvimento dos estromatólitos modernos e o reconhecimento de suas microfácies, permitem a reconstrução dos paleoambientes deposicionais e das paleobiótas outrora existentes, levando cada vez mais ao entendimento da história biológica do planeta Terra.

Agradecimento

Nosso agradecimento ao CNPq pelo auxílio através de bolsa de mestrado.

Referências Bibliográficas

Burns, S. J., Mckenzie, J. A. & Vasconcelos, . 2000. Dolomite formation and biogeochemical cycles in the phanerozoic. *Sedimentology*, 47(1): 49-61.

Carvalho, S. B. V. 2003. Bioestratificação cianobacteriana das esteiras microbianas recentes da lagoa vermelha, rio de janeiro, brasil. 80p. (Monografia, Bacharelado em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro).

Coe Neto, R. 1984. Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de Araruama. in: Simpósio de Restingas Brasileiras, Niterói, 1984. *Anais*: Rio de Janeiro, 61-63.

Dunham, R. J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. in: Ham, W. E. (ed.). *Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir*; p. 108-121.

Esteves, F. A. 1998. Lagoas Costeiras: origem, funcionamento e possibilidades de manejo. in: Esteves, F. A. (ed.). *ecologia das lagoas costeiras do parque nacional da restinga de Jurubatiba e do município de Macaé (rj)*, Rio de Janeiro, NUPEM – UFRJ, p. 63-87.

Esteves, F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência / finep, Rio de Janeiro, 575p.

Folk, R. L. 1962. Spectral subdivision of limestone types. in: ham, w.e. (ed.). *classification of carbonate rocks - a symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir*; p. 62-84.

Google Earth. 2006. <<http://www.earth.google.com>>, acessado em 08 de novembro de 2006.

Hofmann, H. J. 1973. Stromatolites: characteristics and utility. *Earth - Science Reviews*, 9: 339-373.

Hönn, A, Tobschal, H. J. & Maddock, J. e. L. 1986. Biogeochemistry of a hypersaline lagoon east of Rio de Janeiro, Brasil. *The science of the total environment*, 58: 175-185.

Horodyski, R. J. & Haar, S. P. V. 1975. Recent calcareous stromatolites from laguna mormona (Baja california) Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45 (4): 894-906.

Lith, Y. V., Warthmann, R, Vasconcelos, C. & Mckenzie, J. A. 2003. Microbial fossilization in carbonatae sediments: a result of the bacterial surface involvement in dolomite precipitation. *Sedimentology*; 50: 237-245.

Maddock, J. E. 1999. Physical and chemical characteristics of algal mats from hypersaline lagoon: lagoa vermelha, Rio de Janeiro, Brazil. in: *Environmental Revista de Geologia, Vol. 24 (2), 2011*

- geochemistry of coastal lagoon systems of rio de janeiro, brazil. (Série Geoquímica Ambiental, 6).* finep, p. 197-202.
- Patchineelam, S. R., Rebello, A. L. & Moreira, I. 1984. Ocorrência de dolomita diagenética numa lagoa hipersalina. in: congresso brasileiro de geologia, **33**, Rio de Janeiro, 1984. *anais...*, Rio de Janeiro, p. 245-253.
- Papineau, D., Walker, J. J., Mojzsis, S. J. & Pace, N. R. 2005. Composition and structure of microbial communities from stromatolites of hamelin pool in shark bay, western australia. *Applied and Environmental Microbiology*, 71 (8): 4822–4832.
- Pentecost, A. & Riding, R. 1986. calcification in cyanobacteria. in: leadbeater, b. s. c & riding, r. (eds.). *biomineralization in lower plants and animals*. systematic association special volume, 30: 73-90
- Primo, P. B. S. & Bizerril, c. r. s. f. 2002. *Lagoa de araruama perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo*. Semads, Rio de Janeiro, 160p.
- Riding, R. 1999. The term stromatolite: towards an essential definition. *Lethaia*, 32: 321-330.
- Riding, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 47 (1): 179-214.
- Santelli, R. C. L. 1988. Estudos de isótopos estáveis em sedimentos carbonáticos da lagoa vermelha – rj. 95p. (Tese de Doutorado, programa de pós-graduação em Química, Pontifícia Universidade Católica).
- 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. 176p. (tese de doutorado, programa de pós-graduação em geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- Silva e Silva, L. H. & Alves, S. A. P. M. N., 2005. Estruturas estromatolíticas “biscuit” na lagoa vermelha, estado do Rio de Janeiro, Brasil. in: Congresso Brasileiro de Paleontologia e Congresso Latino – Americano de Paleontologia, xix e vi, Aracaju, 2005. resumos, Sergipe, cd rom.
- 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., Iespa, A. A. C. 2004. Composição paleobiológica e tipos morfológicos das construções estromatolíticas da lagoa vermelha, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7 (2): 193-198.
- Srivastava, N. K. 2004. Estromatólitos. in: Carvalho, I. S. (ed.). *Paleontologia*. interciência, 2ª ed., rio de janeiro, p. 171-195.
- Turcq, B., Martin, L., Flexor, M., Suguio, K., Pierre, C. & Ortega, L. T. 1999. Origin and evolution of the quaternary coastal plain between guaratiba e cabo frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. in: Knoppers, B., Bidone, E. D. & Abrão, J. J. (ed.). *Environmental geochemistry of coastal lagoon systems*. Série Geoquímica Ambiental, Rio de Janeiro, p. 25-46.
- Vasconcelos, C. O. 1988. Sedimentologia e geoquímica da lagoa vermelha – um exemplo de formação e diagênese de carbonatos. 63p. (Dissertação de Mestrado, programa de pós-graduação em geoquímica, Universidade Federal Fluminense).
- Vasconcelos, C., Warthmann, R., Mckenzie, J. A., Visscher, P. T., Bittermann, A. G. & Van Lith, Y. 2006. Lithifying microbial mats in lagoa vermelha, Brazil: modern precambrian relics? *Sedimentary Geology*, 185: 175-183.

