

ESPÍCULAS DE ESPONJAS CONTINENTAIS NOS SEDIMENTOS CENOZÓICOS DO NOROESTE DE MINAS GERAIS, COMO INDICADORES PALEOAMBIENTAIS

ARIANA CRISTINA SANTOS ALMEIDA

Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, UFOP, Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, s/n, 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. arianasalmeida@gmail.com

CECÍLIA VOLKMER-RIBEIRO

Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Cx. P. 1188, 90001-970, Porto Alegre, RS, Brasil. cvolkmer@fzb.rs.gov.br

ANGELICA FORTES DRUMMOND CHICARINO VARAJÃO, NEWTON SOUZA GOMES & CÉSAR AUGUSTO CHICARINO VARAJÃO

Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, UFOP, Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, s/n, 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil. angelica@degeo.ufop.br, cesar_varajao@yahoo.com.br, newton@degeo.ufop.br

ABSTRACT – FRESHWATER SPONGE SPICULES FOUND IN THE CENOZOIC SEDIMENTS OF NORTHWEST MINAS GERAIS, BRAZIL, AS PALEOENVIRONMENTAL INDICATORS. This study relates to the spongillite deposits associated with the Cenozoic detritic cover, occurring in shallow ponds (with a maximum depth of 3.5 m) on a karstic planation surface developed on the rocks of the São Francisco Neoproterozoic Supergroup, in the region of João Pinheiro, Northwest Minas Gerais State, Brazil. They have a lenticular shape and contain different sedimentary layers of spicules intercalated with layers of quartz sand and clay minerals. The examination of the spicules by light microscopy, aimed at the specific identification of the freshwater sponges, showed spongofacies of six sponges typical of Brazilian spongillite deposits: *Metania spinata* (Carter, 1881), *Dosilia pidanieli* Volkmer-Ribeiro, 1992, *Trochospongilla variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973, *Corvomeyenia thumi* (Traxler, 1895), *Heterorotula fistula* Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995 and *Radiospongilla amazonensis* Volkmer-Ribeiro & Maciel 1983. The variation in composition of the assemblages and the stage of formation and preservation of the spicules in the different facies, as well as the presence of diatoms and abiotic components, suggest environmental variations at the time of their formation and deposition. The results of ^{14}C -radiocarbon and stable isotope ratio $\delta^{13}\text{C}$ analysis showed an age for the formation of the deposits between the Late Pleistocene and Holocene.

Key words: spicules, freshwater sponges, paleoclimate, spongillite deposits, paleoenvironment.

RESUMO – Este estudo está relacionado com os depósitos de espongilito que ocorrem em lagoas rasas assentadas sobre uma superfície cárstica que capeia rochas neoproterozóicas do Supergrupo São Francisco, na região de João Pinheiro, noroeste do Estado de Minas Gerais, Brasil. Os depósitos são lenticulares e contêm diferentes camadas sedimentares de espículas intercaladas com camadas de sedimentos arenoquartzosos e argilominerais. A caracterização microscópica das espículas levou à identificação das seis espécies de esponjas de água doce que compõem a típica espongofácies dos depósitos de espongilitos brasileiros: *Metania spinata* (Carter), *Dosilia pidanieli* Volkmer-Ribeiro, *Trochospongilla variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, *Corvomeyenia thumi* (Traxler), *Heterorotula fistula* Volkmer-Ribeiro & Motta e *Radiospongilla amazonensis* Volkmer-Ribeiro & Maciel. A variação da composição dessas assembléias, o estágio de formação das espículas e sua conservação nos distintos horizontes amostrados em duas lagoas, além da presença de diatomáceas e outros compostos abióticos sugerem uma variação ambiental na época da formação destes depósitos, alternando períodos de clima mais úmido e frio e de clima mais seco com chuvas torrenciais. Datações de ^{14}C e $\delta^{13}\text{C}$ estabeleceram idades de formação destes depósitos entre o Pleistoceno Superior-Holoceno.

Palavras-chave: espículas, esponjas de água doce, paleoclimatologia, depósitos de espongilitos, paleoambientes.

INTRODUÇÃO

O espongilito é uma rocha sedimentar constituída por espículas silicosas de origem biogênica pertencentes a

espongiários (Classe Demospongiae) de ambiente lacustrino de águas doces e paradas, de terrenos peneplanizados, associadas à argila, areia, matéria orgânica e frústulas de diatomáceas (Dias *et al.*, 1988). Os depósitos ricos em

diatomáceas (diatomitos) são mais abundantes e melhores estudados no Brasil do que os de espongilitos devido à sua utilização como rocha industrial para inúmeros fins, tais como, auxiliar na filtração, carga, abrasivo, pozolanas, etc. Contrariamente ao diatomito, os espongilitos são pouco conhecidos e subutilizados em aplicações industriais, apesar de que a composição, forma e tamanho das espículas são potencialmente favoráveis para várias utilizações. Porém, deve-se salientar o crescente interesse econômico que esses depósitos têm despertado na indústria de materiais refratários e cerâmicos (Souza *et al.*, 1988; Delbem, *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2002).

O primeiro estudo de espículas de um espongilito no Brasil foi efetuado por Traxler (1895) em uma amostra proveniente do Estado de São Paulo, porém sem definição precisa da sua localidade. Segundo este autor, as espículas estudadas pertenciam a três espécies, sendo duas já conhecidas, *Tubella spinata* (Carter, 1881) e *Meyenia plumosa* var. *palmeri* Potts, 1885 e uma nova espécie, *Tubella thumi*. Volkmer-Ribeiro (1992) observou essas mesmas esponjas em pequenas lagoas no Estado de Roraima e, após um estudo sistemático comparativo com amostras de espongilito de Porto Ferreira (SP), estado de São Paulo, demonstrou que tanto a comunidade viva em Roraima quanto os espongilitos de Porto Ferreira e os descritos por Traxler (1895) continham, na verdade, cinco espécies: *Metania spinata* (Carter, 1881), *Dosilia pidanieli* Volkmer-Ribeiro, 1992, *Trochospongilla variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973, *Corvomeyenia thumi* (Traxler, 1895) e *Radiospongilla amazonensis* Volkmer-Ribeiro & Maciel, 1983. A seguir, Volkmer-Ribeiro & Motta (1995) descreveram a espécie *Heterorotula fistula* a partir de espículas encontradas em alguns depósitos de espongilitos no Triângulo Mineiro. O gênero *Heterorotula*, primeiramente descrito por Penney & Racek (1968), com ocorrência restrita à Austrália, teve assim seu primeiro registro efetuado para a Região Neotropical, em uma localidade do Triângulo Mineiro.

Tendo em vista que a ocorrência e proliferação de esponjas de água doce são regidas por fatores sazonais, relacionados às flutuações do nível da água, à temperatura, à turbidez, à iluminação e à disponibilidade de nutrientes (Frost, 1991), as espículas de esponjas continentais vêm sendo utilizadas com sucesso como instrumento em interpretações paleoambientais (Harrison *et al.*, 1979; Hall & Herrmann, 1980; Harrison, 1988; Sifeddine *et al.*, 1994; Volkmer-Ribeiro, 1996; Cordeiro *et al.*, 1997; Turcq *et al.*, 1998; Cândido *et al.*, 2000; Gaiser *et al.*, 2004; Parolin *et al.*, 2007). Parolin *et al.* (2008) introduziram o termo espongo fácies para descrever as seqüências sedimentares nas quais espículas de esponjas continentais de uma ou de várias espécies predominam e indicam condições paleoambientais específicas.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi identificar, com base na análise taxonômica e morfológica das espículas, as espongo fácies que caracterizam os depósitos de espongilito das inúmeras lagoas situadas na região de João Pinheiro (MG). Os resultados dessa análise, juntamente com os dados físico-químicos das águas e das datações de ^{14}C foram empregados para uma interpretação das condições ambientais, aí incluídas as de caráter geomorfológico, que

contribuíram para essa produção. Estes estudos são inéditos para esta região, especialmente no que tange à análise individual das diferentes fácies constituintes dos perfis representativos dos depósitos, fornecendo, assim, mais subsídios para o entendimento da evolução ambiental dessa região durante o Quaternário.

ÁREA DE ESTUDO E GEOLOGIA REGIONAL

A região de estudo compreende uma área de aproximadamente 45 km² situada no município de João Pinheiro, na porção noroeste do Estado de Minas Gerais, a cerca de 400 km de Belo Horizonte. Nessa região são encontradas mais de 80 lagoas de formas circulares a alongadas, onde ocorrem depósitos de espongilito, perfazendo uma reserva total de aproximadamente 5,8 milhões de toneladas.

Geotectonicamente, essa área está contida no Cráton São Francisco (Almeida, 1977), que corresponde a um segmento crustal consolidado ao fim do ciclo Transamazônico (2.400 a 2.100 Ma) e margeado por regiões que sofreram regeneração durante o ciclo Brasileiro (Almeida, 1981; Mascarenhas *et al.*, 1984). A região de João Pinheiro (Figura 1) está inserida em rochas do Supergrupo São Francisco (Neoproterozóico) e Grupo Areado (Mesozóico). A unidade correspondente ao Pré-Bambu, também cartografada na região de estudo (Oliveira *et al.*, 2002), não apresenta relações estratigráficas muito bem definidas, uma vez que os contatos com as unidades adjacentes são tectônicos. O domínio de coberturas elúvio-colúvias (terciárias-quaternárias), ocorrentes em grandes áreas de lagoas/dolinas, compostas por sedimentos areno-argilosos inconsolidados associados a espículas de esponjas, caracterizando depósitos de espongilitos, podem ser observados na área. Estes sedimentos cenozóicos têm como substrato as rochas do Grupo Bambuí e da unidade Pré Bambuí e, nas adjacências, as rochas do Grupo Areado indiviso (Oliveira *et al.*, 2002). Segundo Almeida *et al.* (no prelo), a grande similaridade mineralógica e textural entre os sedimentos que constituem os depósitos de espongilitos, na região de João Pinheiro, e os arenitos do Grupo Areado das áreas adjacentes, sugerem que esses arenitos constituem a principal fonte dos sedimentos hospedeiros desses depósitos.

Os depósitos de espongilito apresentam-se em formas lenticulares, tendo sido depositados em depressões rasas com diâmetro médio de aproximadamente 130 m que, muitas vezes, formam lagoas nos períodos de chuva. A forma dessas depressões pode ser relacionada a feições cársticas típicas de um relevo cárstico maduro (Almeida *et al.*, no prelo). A espessura dos depósitos varia de 2,5 a cerca de 5 m.

MATERIAL E MÉTODOS

Após o reconhecimento das inúmeras lagoas na região de João Pinheiro, 12 foram selecionadas para o presente estudo: Avião, Carvoeiro, Vânia, Preguiça, Divisa, Severino, Feijão, Buritis, Verde, Grama, Araras e Quilo (Figura 1). Dentre essas 12 lagoas, oito (Avião, Carvoeiro, Vânia, Preguiça, Divisa, Severino, Feijão e Grama) ainda estavam em

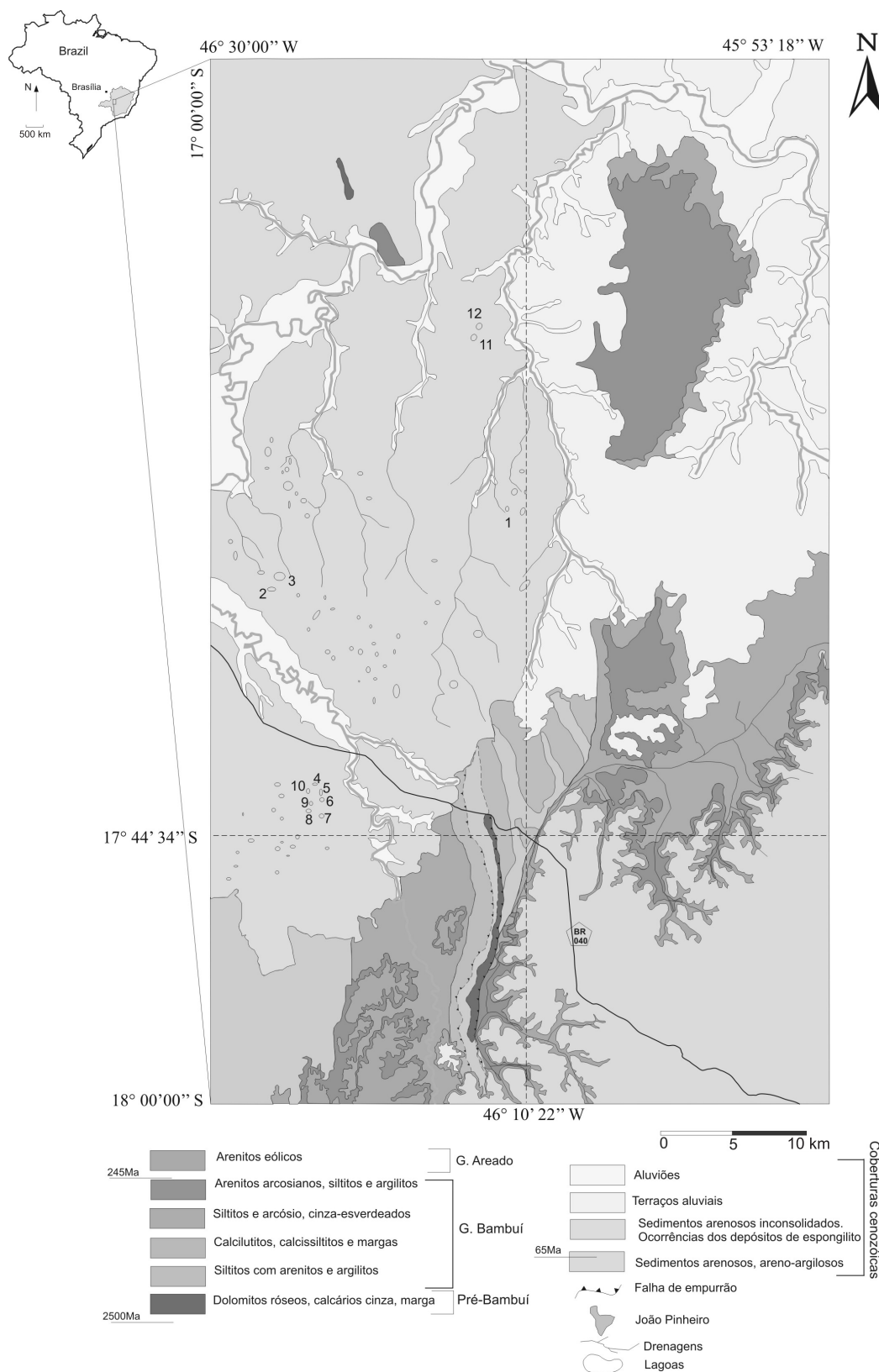


Figura 1. Mapa geológico da região de João Pinheiro (MG), mostrando a distribuição das rochas, unidades correlatas da área estudada e localização das lagoas analisadas (modificado de Oliveira *et al.*, 2002). Lagoas: 1, Feijão; 2, Vânia; 3, Carvoeiro; 4, Divisa; 5, Avião; 6, Preguiça; 7, Severino; 8, Buriti; 9, Grama; 10, Verde; 11, Quilo; 12, Araras.

Figure 1. Geologic map of the João Pinheiro region showing the distribution of rocks and related units and localization of studied ponds (modified from Oliveira *et al.*, 2002). Ponds: 1, Feijão; 2, Vânia; 3, Carvoeiro; 4, Divisa; 5, Avião; 6, Preguiça; 7, Severino; 8, Buriti; 9, Grama; 10, Verde; 11, Quilo; 12, Araras.

processo de exploração, com a frente de extração exposta, o que permitiu o levantamento, a descrição e a amostragem das diferentes fácies representativas de cada depósito, perfazendo um total de 42 amostras. A excessão foi a lagoa da Grama por não estar em exploração, exigindo a abertura de trincheira com ajuda de retro-escavadeira. Adicionalmente, para as lagoas Preguiça, Verde, Grama, Carvoeiro e Buritis, foram ainda efetuadas coletas de água no início e no final da estação de chuva. Para as lagoas Araras e Quilo, que se apresentavam ainda intactas durante esse estudo, contendo a típica vegetação aquática da região, foi feita, além da coleta de água, a prospecção e amostragem de esponjas vivas para identificação taxonômica.

Visando o estudo morfológico das espículas para caracterização taxonômica das esponjas ocorrentes nos diferentes depósitos, as amostras, depois de secadas à temperatura ambiente, foram preparadas segundo os procedimentos propostos por Volkmer-Ribeiro (1985) e, em seguida, lâminas delgadas foram confeccionadas para exames ao microscópio óptico SM-Lux Leitz com aumento de 100x e 400x. A identificação taxonômica das espécies de esponjas foi baseada em Volkmer-Ribeiro (1992) e Volkmer-Ribeiro & Motta (1995), a partir da presença das espículas características de cada uma delas, a saber: (i) gemoscleras, microscleras e megascleras beta de *M. spinata*; (ii) microscleras e gemoscleras de *D. pydanieli*; (iii) gemoscleras da *C. thumi*; (iv) megascleras e gemoscleras de *H. fistula*; e (v) gemoscleras de *R.*

amazonensis. As fotomicrografias das espículas e feições dos sedimentos foram feitas com câmera digital SONY, modelo DSC-W5 acoplada ao microscópio óptico. As amostras analisadas foram catalogadas como espongilito na Coleção de Porífera do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-POR), com os números MCN-POR 8042-8048 (lagoa do Avião), MCN-POR 8049-8055 (lagoa da Preguiça), MCN-POR 8113-8117 (lagoa do Carvoeiro), MCN-POR 8118 (lagoa da Grama), MCN-POR 8119-8123 (lagoa do Severino), MCN-POR 8124-8129 (lagoa do Feijão), MCN-POR 8130-8135 (lagoa do Vânio) e MCN-POR 8136-8140 (lagoa da Divisa).

Seis amostras representativas das fácies JAT1-2, JAT1-7 (lagoa do Avião) e JPT1-2, JPT1-4, JPT1-5, JPT1-6 (lagoa da Preguiça) foram datadas por ^{14}C utilizando o espectrômetro de massa com acelerador (AMS) CAIS 0.5 MeV no *Center for Applied Isotope Studies* da Universidade da Geórgia (EUA). Essa técnica detecta quantidades extremamente pequenas de isótopos de carbono (partes por bilhão) em componentes orgânicos e inorgânicos. Os resultados das análises foram calibrados usando o programa Calib 5.1 (*Calib Radiocarbon Calibration Program*, Copyright 1986-2006 M Stuiver and PJ Reimer; Reimer *et al.*, 2004) para idades até 20000 anos e, acima desta, pela equação de Bard *et al.* (2004):

$$[\text{Idade Calibrada em anos AP}] = -2.5196 \times 10^{-6} \times [\text{Idade } ^{14}\text{C obtida em anos AP}]^2 + 1.2372 \times [\text{Idade } ^{14}\text{C obtida em anos AP}] - 175.$$

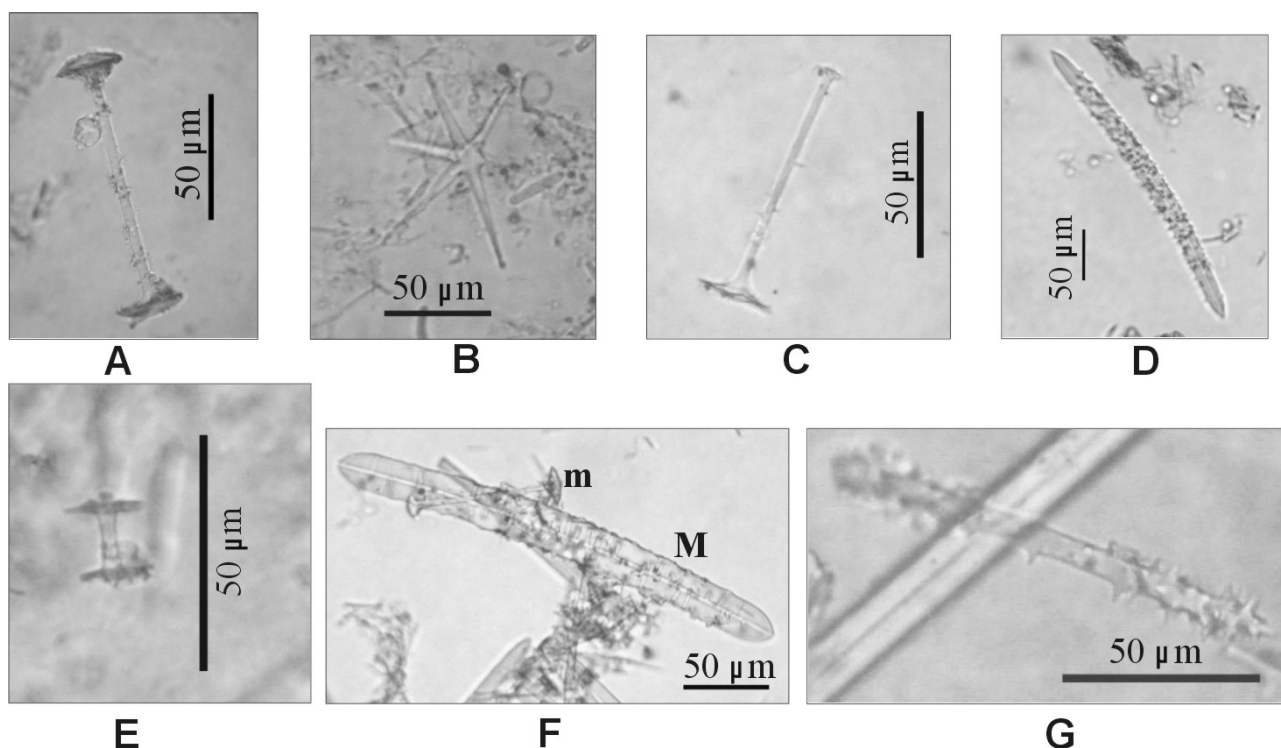


Figura 2. Espécies de esponjas de água doce formadoras dos depósitos de espongilito da região de João Pinheiro (MG). Gemosclera (A) e microsclera (B) de *Dosilia pydanieli*; gemosclera (C) e megasclera beta (D) de *Metania spinatada*; gemosclera (E) de *Trochospongilla variabilis*; (F) megasclera (M) e gemosclera (m) de *Heterotorula fistula*; gemosclera (G) de *Radiospongilla amazonensis*.

Figure 2. Species of freshwater sponges that form the spongillite deposits in the João Pinheiro region (MG). Gemosclere (A) and microsclere (B) of *Dosilia pydanieli*; gemosclere (C) and megasclere beta (D) of *Metania spinatada*; E: gemosclere of *Trochospongilla variabilis*; (F) megasclere (M) and gemosclere (m) of *Heterotorula fistula*; (G) gemosclere of *Radiospongilla amazonensis*.

Os parâmetros pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos e temperatura foram mensurados *in situ* com auxílio de um multiparâmetro Ultrameter. Para a determinação do conteúdo de silício nas amostras de água das lagoas utilizou-se o espectrômetro de emissão atômica Spectro, modelo Ciro CCD com Visão Radial com fonte de plasma, do laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto.

RESULTADOS

Análise morfológica e taxonômica das espículas

As espongo fácies identificadas nas lagoas da região de João de Pinheiro são integradas pelas espécies *M. spinata*, *D. pydanieli*, *C. thumi*, *H. fistula*, *T. variabilis* e *R.*

amazonensis (Figura 3). Entretanto, somente nas lagoas da Preguiça e do Avião foi possível identificar toda a assembléia, a partir da análise detalhada das diferentes fácies (Tabelas 1-2), o que levou considerar esses dois depósitos como representativos da região. Desta forma, somente a descrição detalhada desses dois depósitos é discriminada abaixo. Nas demais lagoas (Divisa, Vânio, Feijão, Severino, Carvoeiro e Grama) essa comunidade se restringiu às espécies *M. spinata*, *D. pydanieli*, *C. thumi* e *H. fistula* (Tabelas 1-2), que por sua vez são as espécies predominantes e determinantes das condições ambientais desses depósitos. A espécie *M. spinata* é a única encontrada atualmente vivendo nas lagoas da região, especialmente nas lagoas Araras e Quilo (Melão & Rocha, 1999; Volkmer-Ribeiro 1992; Volkmer-Ribeiro *et al.*, 1998a).

Tabela 1. Distribuição taxonômica das esponjas continentais formadoras dos depósitos de espongilitos na região de João Pinheiro (MG).

Table 1. Taxonomic distribution of freshwater sponges of spongillite deposits of ponds from João Pinheiro (MG) region.

Lagoa	Fácies	Espécies					
		<i>M. spinata</i>	<i>D. pydanieli</i>	<i>T. variabilis</i>	<i>R. amazonensis</i>	<i>C. thumi</i>	<i>H. fistula</i>
Preguiça	JPT1-7	X	X			X	X
	JPT1-6	X	X			X	X
	JPT1-5	X	X			X	X
	JPT1-4	X	X			X	
	JPT1-3	X	X			X	
	JPT1-2	X	X	X			
	JPT1-1	X	X	X	X		
Avião	JAT1-7	X				X	X
	JAT1-6	X				X	X
	JAT1-5	X				X	X
	JAT1-4	X				X	X
	JAT1-3	X	X	X		X	X
	JAT1-2	X	X			X	X
	JAT1-1	X	X			X	X
Divisa	JD5	X	X				
	JD4	X	X				
	JD3	X	X			X	
	JD2	X	X			X	
	JD1	X	X				
Vânio	JV6	X	X			X	
	JV5	X	X			X	
	JV4	X	X			X	
	JV3	X	X				
	JV2	X	X				
	JV1	X	X				
Feijão	JF6	X	X			X	X
	JF5	X	X			X	
	JF4	X	X			X	
	JF3	X	X			X	
	JF2	X	X			X	
	JF1	X	X			X	
Severino	JS4	X	X			X	X
	JS3	X	X			X	X
	JS2	X	X			X	
	JS1	X	X			X	
	JS0	X					
Carvoeiro	LC2-3	X	X			X	
	LC2-2	X	X			X	X
	LC2-1	X	X				
	LC1-2	X	X			X	
	LC1-1	X	X				X
Grama	LG1	X	X			X	X
Araras		X					
Quilo		X					

Lagoa da Preguiça

A lagoa da Preguiça com frente de lavra com espessura de 3,40 m, apresenta sete fácies cujas texturas variam em função de variações proporcionais nos teores de areia, silte e

argila (Almeida *et al.*, 2008). Segundo esses autores, mineralogicamente, não há uma variação significativa ao longo das fácies, ocorrendo na base uma predominância de quartzo, seguido por argilominerais e minerais pesados. Na parte

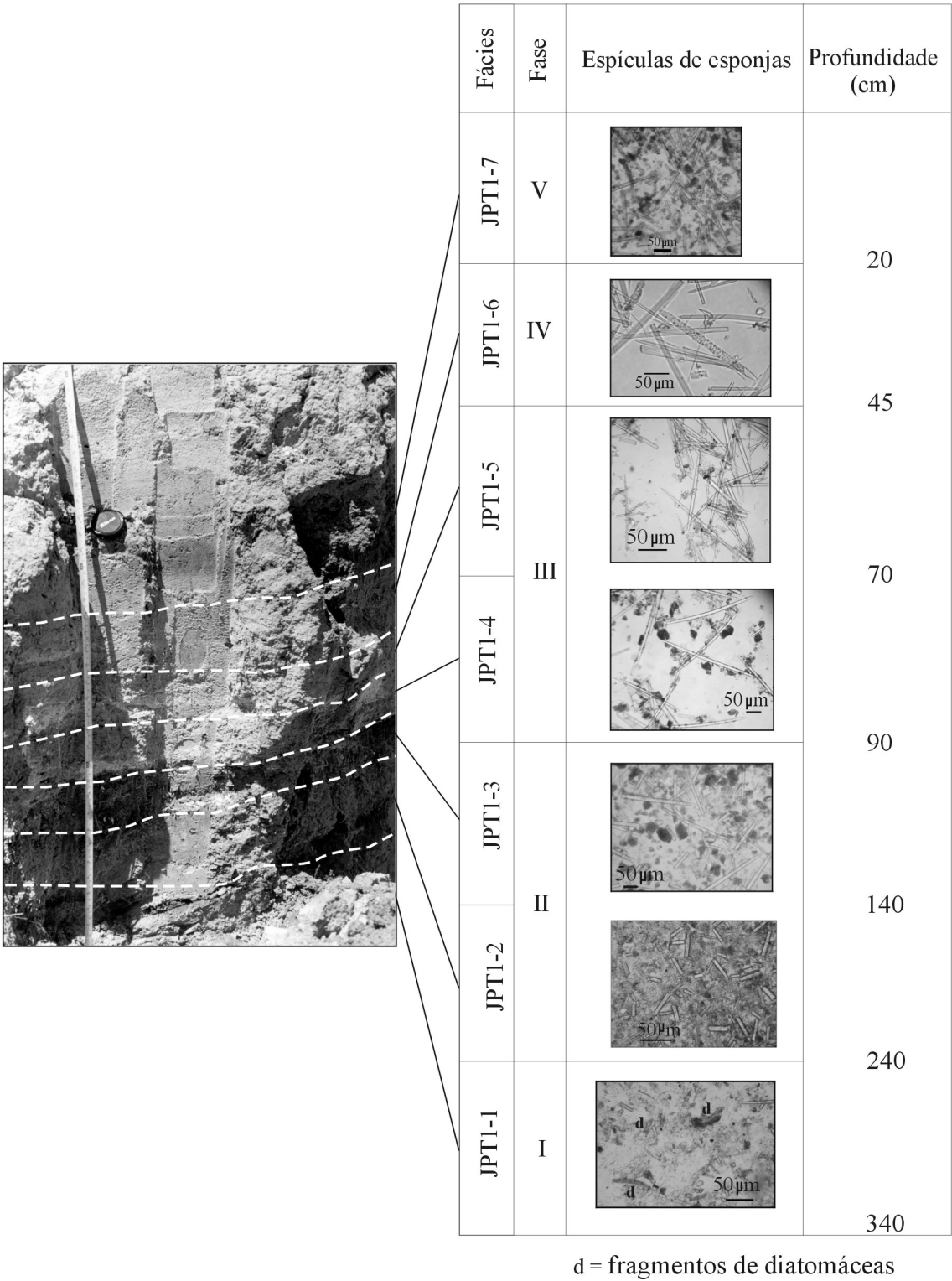


Figura 3. Seqüência sedimentar da lagoa da Preguiça, com as diferentes fácies discriminadas e as fotomicrografias das espículas de esponjas.

Figure 3. Sedimentary sequence of the Preguiça pond showing the different facies and the photomicrographs (under optical microscopy) of sponge spicules.

intermediária há um relativo aumento de espículas de esponjas, argilominerais em detrimento de quartzo e minerais pesados e, ainda, nota-se a presença de horizontes ricos em matéria orgânica. No topo, os sedimentos tornam-se mais quartzosos, porém com quantidades significativas de espículas e argilominerais.

As espículas de esponjas encontradas nas diferentes fácies, da base para o topo (Figura 3, Tabelas 1-2), são descritas a seguir.

Fácies JPT1-1. Profundidade de 240 a 340 cm (MCN-POR: 8042): fácies com pequena quantidade (aproximadamente 7%)

de espículas tanto inteiras quanto quebradas, não constituindo, portanto, um espongilito. A assembléia de esponjas é integrada por: *M. spinata*, *D. pydanieli*, *T. variabilis* e *R. amazonensis*. *M. spinata* apresenta-se com abundância de megascleras beta e microscleras, *D. pydanieli* ocorre como megascleras quebradas e microscleras, *T. variabilis* com megascleras e raríssimas microscleras e *R. amazonensis* com raras gemoscleras. Essa fácies é rica em frústulas de diatomáceas quase inteiras, além de muitos fragmentos de diatomáceas e um resíduo de diminutos fragmentos biossilicosos. Ocorre, ainda, grande quantidade de nódulos

Tabela 2. Espécies de espículas de esponjas identificadas nas lagoas estudadas na região de João Pinheiro (MG). **Abreviaturas:** G, gemosclera; M, megasclera; m, microsclera; -, ausente; *, rara; +, presente; ++, abundante; **diato.**, diatomácea.

Table 2. Freshwater sponges spicule identified in ponds from João Pinheiro (MG) region. **Abbreviations:** G, gemosclere; M, megasclere; m, microsclere; -, absence; *, rare; +, presence; ++, abundant; **diato** = diatom.

Lagoa	Fácies	Diato.	Espécies					
			<i>M. spinata</i>	<i>D. pydanieli</i>	<i>T. variabilis</i>	<i>R. amazonensis</i>	<i>C. thumi</i>	<i>H. fistula</i>
Preguiça	JPT1-7	-	*G/*M/*m	*G/*M/*m	-	-	++G/+M	+M
	JPT1-6	-	+G/+M/+m	++m/+G	-	-	++G	+M
	JPT1-5	*	++M/+m	++m/+G	-	-	+G	+M
	JPT1-4	*	++M++m/+G	++G/++m	-	-	++G/++m	-
	JPT1-3	+	+M/+m	++m/+G	-	-	*G	-
	JPT1-2	+	+M/+m	+M/+m	+M/+m	-	-	-
	JPT1-1	++	++M/+m	+G/+m	+M/*G	*G	-	-
Avião	JAT1-7	-	+M/+m	-	-	-	*G	++G/++M
	JAT1-6	-	++G/+M/+m	-	-	-	*G	++G/++M
	JAT1-5	-	++G/+M/+m	-	-	-	++G	++G/++M
	JAT1-4	-	+M/+m	-	-	-	++m++M/+	++G/++M
	JAT1-3	-	+M/+m	+M/+m	+G	-	+G	+G/+M
	JAT1-2	-	+M/+m	*m	-	-	*G	++G/++M
	JAT1-1	-	+M/+m	*m	-	-	*G/*M	*G/*M
Divisa	JD5	-	+M	+m/*G	-	-	-	-
	JD4	-	++M/++G	++G	-	-	-	-
	JD3	-	++m/+M	++m	-	-	*G	+G
	JD2	-	+M	*m	-	-	*G	-
	JD1	-	+M	*m	-	-	-	-
Vânio	JV6	-	++m/+M	++m	-	-	*G	-
	JV5	-	++m/+M	++m	-	-	*G	-
	JV4	-	++m/+M	++m	-	-	*G	-
	JV3	-	++G/+M	++M/++G	-	-	-	-
	JV2	-	++G/++M	++M/++G	-	-	-	-
	JV1	-	+M	*m	-	-	-	-
Feijão	JF6	-	++M/+G	++G/+m	-	-	*G	++M
	JF5	-	*G/+M	++M/*G	-	-	*G	-
	JF4	-	+G/++M	++M/+G	-	-	*G	-
	JF3	-	+G/++M	+M/+G	-	-	*G	-
	JF2	-	++G/+M	++m/++G	-	-	*G	-
Severino	JF1	-	+G/++M	++M/+G	-	-	*G	-
	JS4	-	++G/++M	++m/++G	-	-	*G	+M
	JS3	-	++G/++M	++m/++G	-	-	*G	++M
	JS2	-	++m/+M/*G	++m	-	-	*G	-
	JS1	-	++m/+M/*G	++m	-	-	*G	-
	JS0	-	*M	-	-	-	*G	-
Carvoeiro	LC1-2	-	++M	++m	-	-	*G	-
	LC1-1	-	++M	++m	-	-	-	++M/+G
	LC2-3	-	++m/+M/+G	++m/+G	-	-	*G	-
	LC2-2	-	++m/+M/+G	++m	-	-	*G	++M/+G
	LC2-1	-	++m/+M/*G	++m	-	-	-	-
Gramma	LG1	-	++M	++m	-	-	*G	++M
Araras		-	++M/++ m/++ G	-	-	-	-	-
Quilo		-	++M/++ m/++ G	-	-	-	-	-

de argila e grãos de quartzo na granulometria areia. Segundo Almeida *et al.* (no prelo), a partir de análises de difração de raios-X, constatou-se que esses nódulos são constituídos predominantemente por caulinita.

Fácies JPT1-2. Profundidade de 140 a 240 cm (MCN-POR: 8043): esta fácies constitui um espongilito pela abundância de espículas silicosas (aproximadamente 30%). As espículas apresentam-se bem formadas, robustas, porém a maioria quebrada em porções grandes. A espongofauna é constituída por três espécies: *D. pydanieli*, *M. spinata* e *T. variabilis*, identificadas por suas megascleras e/ou microscleras. A espécie *R. amazonensis* encontrada em JPT1-1 não foi identificada nessa fácies. As gemoscleras são raras ou ausentes. Ocorrem também fragmentos de diatomáceas e outros resíduos biossilicosos, porém em uma quantidade menor que na fácies anterior. Ocorre ainda abundância de nódulos de argila e grãos de quartzo na granulometria areia, essa em menor quantidade quando comparada ao horizonte precedente.

Fácies JPT1-3. Profundidade de 90 a 140 cm (MCN-POR: 8044): a amostra constitui um espongilito com espículas bem formadas, porém ainda muito quebradas. A assembléia identificada é constituída por *M. spinata*, *D. pydanieli* e *C. thumi*, esta ocorrendo pela primeira vez no perfil. *M. spinata* ocorre como megascleras beta e microscleras. *D. pydanieli* ocorre como uma quantidade regular de gemoscleras e abundância de microscleras. *C. thumi* apresenta-se como raras gemoscleras quebradas. Ocorrem, ainda, poucos fragmentos de diatomáceas e resíduos biossilicosos. São encontrados abundantes nódulos de argila, além de uma quantidade maior de grãos de quartzo na granulometria areia média.

Fácies JPT1-4. Profundidade de 70 a 90 cm (MCN-POR: 8045): espongilito com espículas bem formadas e inteiras. Nessa fácies há uma redução drástica dos resíduos biossilicosos quebrados. As espécies identificadas são *M. spinata*, que ocorre com abundância de microscleras e megascleras beta, além de uma quantidade considerável de gemoscleras. *D. pydanieli* e *C. thumi* ocorrem como microscleras e gemoscleras abundantes. As espécies aqui encontradas são as mesmas da fácies JPT1-3. A proporção de grãos de quartzo na granulometria areia é muito pequena.

Fácies JPT1-5. Profundidade de 45 a 70 cm (MCN-POR: 8046): espongilito constituindo um sedimento claro e limpo com domínio de espículas bem formadas e inteiras. Presentes as espécies *M. spinata*, *D. pydanieli*, *C. thumi* e *H. fistula*. As duas primeiras ocorrem com abundância de microscleras e, no caso de *M. spinata*, também megascleras beta. *D. pydanieli* e *C. thumi* com gemoscleras em quantidade regular. *H. fistula* ocorre com megascleras pela primeira vez no perfil. Há uma redução ainda maior dos resíduos bio-silicosos quebrados, quando comparada ao horizonte anterior. Apresenta grãos de quartzo na granulometria areia.

Fácies JPT1-6. Profundidade de 20 a 45 cm (MCN-POR: 8047): espongilito em que predominam espículas bem formadas e inteiras. A assembléia de esponjas é constituída por *M. spinata*, *D. pydanieli*, *C. thumi* e *H. fistula*. Essas espécies são as mesmas identificadas na fácies precedente. *M. spinata* é a espécie dominante, ocorrendo com megascleras beta,

gemoscleras e microscleras. *C. thumi* tem uma relativa abundância de gemoscleras. Assim como no horizonte anterior são frequentes megascleras de *H. fistula*. Esse sedimento apresenta-se com pouca quantidade de grãos de quartzo na granulometria areia e de nódulos de argila.

Fácies JPT1-7. Profundidade de 0 a 20 cm (MCN-POR: 8048): espongilito em que ocorrem espículas quebradas, porém o domínio é de espículas inteiras. A assembléia é constituída por *M. spinata*, *D. pydanieli*, *C. thumi* e, ainda, *H. fistula*, mesmas espécies encontradas em JPT1-5 e JPT1-6. Nessa fácies ocorrem poucas espículas (gemoscleras, megascleras e microscleras) de *M. spinata* e *D. pydanieli*. Ocorrem muitas gemoscleras quebradas de *C. thumi*, além de megascleras dessa espécie. A proporção de argila é grande nessa fácies e os grãos de quartzo na granulometria areia são escassos.

Lagoa do Avião

A lagoa do Avião apresenta espessura de 2,10 m, com sete fácies cujas texturas variam em função de diferentes proporções entre os teores de areia, silte e argila (Almeida *et al.*, 2008). Segundo esses autores, microscopicamente, o arcabouço das fácies basais é constituído predominantemente, por quartzo, minerais pesados disseminados numa matriz argilosa em associação com espículas de sílica amorfa. Os constituintes mineralógicos das fácies intermediárias apresentam a mesma composição das fácies precedentes, variando apenas a proporção dos constituintes principais. As fácies superiores são formadas por quartzo, argilominerais, sílica amorfa e minerais pesados, porém em menores proporções quando comparados aos horizontes inferiores. Nesses horizontes também se observa uma grande quantidade de matéria orgânica.

A caracterização das espécies de esponjas encontradas nas diferentes fácies (Figura 3, Tabelas 1-2) é descrita a seguir.

Fácies JAT1-1. Profundidade de 180 a 210 cm (MCN-POR: 8049): o sedimento não constitui um espongilito, devido à pouca quantidade de espículas (cerca de 5%) e sua formação incipiente (com pontas ainda abertas e paredes finas) e, por isso, bastante quebradas. A assembléia é constituída por *M. spinata*, *D. pydanieli*, *C. thumi* e *H. fistula*. A primeira é a espécie dominante e está presente como microscleras e megascleras beta. A segunda ocorre com pouquíssima quantidade de microscleras. *C. thumi* apresenta-se com gemoscleras mal formadas. *H. fistula* está presente com raras gemoscleras mal formadas e megascleras. Não ocorrem diatomáceas. Nessa fácies ocorre uma grande quantidade de nódulos de argila e alguns grãos de quartzo na granulometria areia. Comparando essa fácies com a fácies basal da lagoa da Preguiça (JPT1-1), observa-se a ocorrência das espécies *C. thumi* e *H. fistula* somente na lagoa do Avião, e as espécies *T. variabilis* e *R. amazonensis* somente na Preguiça. Outra diferença significativa está na ausência de frústulas de diatomáceas nessa fácies basal da lagoa do Avião e a presença dessas na fácies basal JPT1-1 da lagoa da Preguiça.

Fácies JAT1-2. Profundidade de 150 a 180 cm (MCN-POR: 8050): espongilito em que as espículas mal formadas ainda predominam, ou seja, aquelas com paredes delgadas, e por

consequência, bastante quebradas. Foram identificadas *M. spinata*, (dominante), *D. pydanieli*, *C. thumi* e *H. fistula*, esta última abundante e com gemoscleras mal formadas e quebradas. Essas espécies são as mesmas encontradas na fácies precedente. Nessas amostras não ocorrem diatomáceas. Há ainda grande quantidade de nódulos de argila, mas poucos grãos de quartzo na granulometria areia.

Fácies JAT1-3. Profundidade de 130 a 150 cm (MCN-POR: 8051): espongilito com predomínio de espículas inteiras, porém ainda presente uma boa quantidade de espículas quebradas. As espécies identificadas são *M. spinata* (dominante), *D. pydanieli*, *C. thumi*, *H. fistula* e *T. variabilis*. *D. pydanieli* ocorre em pequena quantidade, porém com maior frequência que na fácies anterior, com megascleras e pedaços de microscleras. *C. thumi* ocorre como gemoscleras inteiras e quebradas. *H. fistula* está presente com gemoscleras e megascleras quebradas e *T. variabilis* ocorre como gemoscleras inteiras. Assim como nas fácies anteriores, essa fácies apresenta-se sem diatomáceas. Observa-se a presença da espécie *T. variabilis* diferenciando-a da anterior. Nódulos de argila ainda são frequentes, porém em quantidade inferior, assim como grãos de quartzo na granulometria areia.

Fácies JAT1-4. Profundidade de 110 a 130 cm (MCN-POR: 8052): espongilito com espículas bem formadas e inteiras. Foram identificadas as espécies *M. spinata*, *C. thumi* e *H. fistula*, a última abundante e com gemoscleras. *M. spinata* ocorre com megascleras beta e microscleras, porém em menor quantidade que nas fácies anteriores. A espécie dominante é *C. thumi* que se apresenta com gemoscleras. *H. fistula* ocorre com abundantes gemoscleras e megascleras. Ocorrem mais nódulos de argila que na fácies anterior, além de grãos de quartzo na granulometria areia. Nessa fácies e nas que a sucedem observam-se as mesmas espécies das anteriores, com exceção de *D. pydanieli* e *T. variabilis* (JAT1-3). **Fácies JAT1-5.** Profundidade de 85 a 110 cm (MCN-POR: 8053): espongilito com espículas inteiras e bem formadas. Espécies identificadas: *M. spinata*, *C. thumi* e *H. fistula*, esta abundante e com gemoscleras. A primeira é a espécie domi-

nante que ocorre com gemoscleras, megascleras beta e microscleras. *C. thumi* ocorre com gemoscleras mais finas, mas em abundância. Ocorrem raríssimos nódulos de argila e raros grãos de quartzo na granulometria areia.

Fácies JAT1-6. Profundidade de 50 a 85 cm (MCN-POR: 8054): espongilito com predomínio de espículas inteiras, de um modo geral bem formadas, porém um pouco mais finas que as anteriores. A assembléia de esponjas é constituída por *M. spinata*, *C. thumi* e *H. fistula*, a última abundante e com gemoscleras. *M. spinata* é a predominante que ocorre com gemoscleras, microscleras e megascleras beta. *C. thumi* ocorre raramente, com gemoscleras. *H. fistula* ocorre com abundantes gemoscleras. Nessa fácies ocorrem ainda, argilas e poucos grãos de quartzo na granulometria areia.

Fácies JAT1-7. Profundidade de 0 a 50 cm (MCN-POR: 8055): espongilito em que predominam espículas mal formadas, de uma maneira geral mais abertas e quebradas. A assembléia de esponjas é constituída por *M. spinata*, *C. thumi* e *H. fistula*, a última abundante e com gemoscleras. Nesta fácies há predominâncias de nódulos de argila e escassos grãos de quartzo na granulometria areia.

Análise físico-química da água

Estas análises foram efetuadas nas lagoas da Preguiça, Verde, Grama, Buritis, Carvoeiro, Araras e Quilo, pois, ao contrário das demais lagoas da região, essas são perenes. A região de João Pinheiro é marcada por verões quentes e úmidos e invernos moderadamente frios e secos, sendo que os meses mais secos são os de agosto e setembro e os mais úmidos, dezembro e janeiro, apresentando pequenas diferenciações térmicas, variando a temperatura média de 16°C no inverno e de 31°C no verão. É importante salientar que nas lagoas Araras e Quilo a coleta foi realizada somente no período de seca (junho/2007). Dos parâmetros físico-químicos analisados, os dados de pH e condutividade apresentaram os maiores contrastes durante a estação seca e a úmida. Essas análises identificaram valores baixos de pH e de sólidos totais dissolvidos, e muito baixos valores de condutividade e de temperaturas moderadas (Tabela 3) quan-

Tabela 3. Dados físico-químicos da água das lagoas formadoras de espongilito, região de João Pinheiro (MG). **Abreviaturas:** T, temperatura (°C); **Cond.**, condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$); **STD**, sólidos totais dissolvidos (ppm); **V**, verão (abril/2005); **I**, inverno (setembro/2004).

Table 3. Physical and chemical data of water of ponds that originated the spongillite deposits from João Pinheiro (MG) region. **Abbreviations:** T, Temperature (°C); **Cond.**, Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$); **STD**, total dissolved solids (ppm); **V**, summer (april/2005); **I**, winter (september/2004).

Lagoa	Amostra	T(°C)		Cond.		pH		STD	
		V	I	V	I	V	I	V	I
Preguiça	JP1	26,1	22,7	10,54	9,52	5,78	8,66	6,85	6,11
Verde	JVe	27,2	27,2	10,90	9,72	5,77	5,88	8,85	6,19
Grama	LG1	30,0	27,6	6,03	17,35	6,66	7,00	3,93	11,19
Buritis	JB1	27,8	24,2	22,32	74,0	6,70	7,00	14,57	48,32
Carvoeiro	LC1	30,5	30,5	11,03	11,87	6,30	6,94	7,20	10,85
Araras	Araras	---	21,0	--	126	--	4,25	---	80,6
Quilo	Quilo	---	22,9	--	28	--	5,13	---	17,45

do comparados a lagoas e reservatórios naturais com desenvolvimento ou não de esponjas (Junk & Furch, 1985; Volkmer-Ribeiro *et al.*, 2004; Marques *et al.*, 1999). A condutividade foi ligeiramente menor durante o inverno, onde variou de 9,52 a 126 $\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto que o pH foi maior nessa estação, variando de 4,25 a 8,66.

O silício é o elemento químico que se destaca pela sua importância na formação das espículas das esponjas de água doce. Nas lagoas estudadas o Si variou de 8,56 a 0,27 $\mu\text{g/mL}$ (Tabela 4). Os dados de Si apresentados nesse trabalho referem-se apenas aos coletados durante a estação seca (setembro/2004 e junho/2007), pois as análises das amostras coletadas na estação úmida (abril/2005) apresentaram problemas de leitura.

Cronologia

Os intervalos de idades obtidos, após a calibração dos dados, para as fácies da lagoa da Preguiça foram: 28.033-28.166 (JPT1-2), 26.521-26.656 (JPT1-4), 26.206-26.296 (JPT1-5) e 14.203-14.495 (JPT1-6) anos AP, enquanto que as fácies da lagoa do Avião apresentaram intervalos de idades de 13.887-14.113 (JAT1-2) a 3.323-3.388 (JAT1-7) anos AP, conforme Tabela 5.

DISCUSSÃO

A análise das espículas revelou que as espongo fácies presentes nas lagoas do município de João Pinheiro (MG), e cuja produção levou à formação dos depósitos de espongilito, são as mesmas que haviam sido detectadas inicialmente em lagoas do município de Porto Ferreira, SP (Volkmer-Ribeiro,

Tabela 4. Valores de sílica encontrados nas águas das lagoas estudadas na região de João Pinheiro (MG). **Abreviatura:** I, inverno (setembro/2004 e junho/2007).

Table 4. Values of Si in water of ponds from João Pinheiro (MG) region. **Abbreviation:** I, winter (september/2004 and june/2007).

Amostra	Si ($\mu\text{g/mL}$)	
	I/2004	I/2007
Lagoa da Preguiça	8,51	8,56
Lagoa Buritis	5,01	5,60
Lagoa do Verde	0,64	2,54
Lagoa da Gramma	3,90	3,33
Lagoa do Carvoeiro	0,27	3,91
Lagoa Araras	---	1,08
Lagoa do Quilô	---	6,62

Tabela 5. Idade ^{14}C e idade ^{14}C calibrada de amostras representativas das fácies das lagoas do Avião e Preguiça.

Table 5. ^{14}C Radiocarbon ages and calibrated ages of representative samples from the facies of the Avião and Preguiça ponds.

Amostra	Idade C14 (anos AP $\pm$ 1s)	Idade C14 (anos AP $\pm$ 1s) calibrada	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Profundidade (m)
JAT 1-7	3120 $\pm$ 20	3323-3388	-14.8	0,50
JAT 1-2	12150 $\pm$ 30	13887-14113	-20.7	1,30
JPT 1-6	12400 $\pm$ 40	14203-14495	-17.6	0,45
JPT 1-5	22380 $\pm$ 40	26206-26296	-17.3	0,70
JPT 1-4	22680 $\pm$ 60	26521-26656	-22.5	0,90
JPT 1-2	24030 $\pm$ 60	28033-28166	-18.3	2,40

1992) e, posteriormente, no Triângulo Mineiro e adjacências (Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995), confirmando-se a proposta desses dois autores da configuração de uma Província Espongilitica, abrangendo o sudeste de Goiás, o nordeste do Mato Grosso do Sul, o norte de São Paulo e o Triângulo Mineiro. Essa província é aqui expandida à região de João Pinheiro, com localização dentro do Cerrado Mineiro. Com isso, confirma-se a situação dessas jazidas em territórios do Bioma Cerrado, como já apontado por Volkmer-Ribeiro *et al.* (1998a), indicando a existência de uma comunidade de esponjas encontradas em lagoas pretéritas e que, atualmente, caracterizam esse bioma.

O depósito de espículas inicia-se nessas lagoas com a colonização de substratos por *M. spinata*, que segue impondo-se ao longo da coluna e à qual vão se agregando, por ordem de importância de contribuição, *D. pydanieli*, *H. fistula* e *C. thumi*. Já *R. amazonensis* e *T. variabilis* ocorrem mais para o topo da coluna, a primeira ligada particularmente à ocorrência de níveis turfosos. Desta forma, confirma-se aqui a sequência deposicional proposta por Volkmer-Ribeiro & Motta (1995).

A seleção das lagoas Preguiça e Avião, bastante próximas e representativas para o estudo, mostrou-se altamente positiva, uma vez que, dada à proximidade dos locais, o fator climático incidindo sobre a coluna de água pode ser considerado padrão, permitindo a distinção de eventos que se podem atribuir ao terreno cárstico em que essas duas lagoas se formaram, além, obviamente, da sobreposição de eventos climáticos.

O estudo dos depósitos de espículas formados nas lagoas Preguiça e Avião evidencia, porém, um início diferenciado, relacionado provavelmente a uma evolução também diferenciada do processo cárstico. Na lagoa da Preguiça, a formação da bacia parece ter sido lenta e gradual, dando lugar a um acúmulo inicial raso de água, com ampla exposição solar, propiciando o ambiente ideal para a colonização por algas diatomáceas tanto plantônicas quanto bentônicas. Tal fato foi descrito por Volkmer-Ribeiro *et al.* (1998a) para depósitos de diatomito ocorrentes na região Nordeste do Brasil, em que sempre aparecem muitas espículas de esponjas, particularmente *D. pydanieli*. Entretanto, essa fase inicial definida por esses autores, não se encontra muito bem registrada na primeira fácies amostrada na lagoa da Preguiça, a qual contém, majoritariamente, as frústulas quebradas dessa produção algal, que deve ter ocorrido em época anterior, com registro situado num horizonte não amostrado, abaixo do primeiro aqui examinado. Observa-se, no entanto, já nessa fácies JPT1-1, uma pequena quantidade de espículas não completamente

formadas e de gemoscleras sinalizando para uma colonização inicial por macrófitas, em ambiente ainda raso. As esponjas aí presentes são também características das lagoas de espongilitos do Triângulo Mineiro (Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995).

A formação de gêmulas sugere um ambiente de águas rasas e sujeitas à dessecação. Essa bacia inicial propiciadora de uma ampla atividade biológica e sua correspondente degradação, obviamente contribuíram para acidificação das águas, devido ao processo de acúmulo de substâncias húmicas, favorecendo, por excelência, condições propícias para instalação de processo cárstico de solapamento do fundo de lagoas. Esse processo não pode ser minimizado em área de sedimentos carbonáticos e terrígeno carbonáticos, como são os da bacia do São Francisco (Almeida, 1977; Inda *et al.*, 1984).

Os ambientes de águas ácidas continentais, resultantes do acúmulo de substâncias húmicas, nunca são, por outro lado, adversos ao desenvolvimento e produção de esponjas (Harrison, 1974; Frost, 1991). A espécie *M. spinata* desenvolveu população abundante em lagoa, no município de Brotas (SP), com pH de água que variou de 4,5 a 6,6 (Melão & Rocha, 1999). Conforme observado pelas análises físico-químicas, os valores mais baixos de condutividade e mais elevados de pH durante a estação seca encontrados nas lagoas da região, estão condizentes com aqueles encontrados por Melão & Rocha (1999) no reservatório de lagoa Dourada (SP). Segundo essas autoras, a *M. spinata* está relacionada com variações sazonais, com picos de biomassa encontrados na estação chuvosa, onde a condutividade é mais elevada ($4,6 - 5,8 \mu\text{Scm}^{-1}$) e gemulação ocorrendo na estação seca. Volkmer-Ribeiro *et al.* (1998b) em trabalhos realizados na Ilha de Maracá (Roraima), identificaram comunidades de esponjas em lagos temporários similares as que formaram depósitos de espongilito em lagoas no cerrado da região sudoeste do Brasil. Nessas lagoas, os valores de pH (5,46 e 5,36) e condutividade (11 e $12 \mu\text{Scm}^{-1}$) também estão de acordo com aqueles encontrados nas lagoas de João Pinheiro. Uma busca bibliográfica por dados físicos e químicos de lagoas contendo depósitos não alterados de espongilitos em Minas Gerais revelou inexistência de dados a esse respeito, deixando evidente a escassez de pesquisa em lagos naturais no Estado de Minas Gerais, à exceção das pesquisas coordenadas por Tundisi & Saijo (1997) nos lagos do Parque Estadual Florestal do Rio Doce. Nesse contexto, e devido ao tamanho dos corpos de água mais compatíveis com as dimensões das lagoas de espongilitos aqui abordadas, destacam-se, por conterem dados comparáveis, os apresentados por Marques *et al.* (1999) para as lagoas Carioca e da Barra (Parque Estadual do Rio Doce - MG), onde os valores de pH variaram de 6,9 a 7,6 e a condutividade de 28 a 52 mScm^{-1} , mais elevados que aqueles encontrados nas lagoas de espongilitos aqui estudadas e para a lagoa Belgo-Mineira (Tundisi *et al.*, 1978), um dos poucos lagos eutróficos do Parque, com pH de 6,9. Um estudo preliminar dos sedimentos dos lagos desse Parque mostrou que a lagoa Belgo Mineira (número de catálogo MCN-POR 2694, Volkmer-Ribeiro, comunicação pessoal) foi a única a conter espículas de esponja, no caso *M. spinata*, com fragmentos de gemoscleras, microsccleras e megasccleras inteiras, porém em pequena quantidade.

A espécie *M. spinata* é a única encontrada recentemente

nas lagoas da região de João Pinheiro, e vem se caracterizando por necessitar águas mais frias e ricas em oxigênio. Essa espécie tem uma grande distribuição pelo Brasil (Volkmer-Ribeiro & Costa, 1992) e é a principal formadora de espongilitos no país (Volkmer-Ribeiro, 1992 e Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995).

De acordo com Jewell (1935), a sílica é extremamente importante para esponjas de água doce que se limitam a águas com uma considerável quantidade de sílica (maior que $0,5 \text{ mg/L}$), variando de espécie para espécie. Entretanto, Pennak (1953) identificou esponjas que requerem quantidades pequenas desse elemento, muitas vezes encontrado como traço. Os valores elevados de silício encontrados nas lagoas analisadas ($8,56$ a $0,27 \mu\text{g/mL}$) são maiores do que aqueles identificados na lagoa Dourada por Melão & Rocha (1999) e na Ilha de Maracá por Volkmer-Ribeiro *et al.* (1998b), cujos valores estão em torno de $1,30$ e $2,2 \mu\text{g/mL}$, respectivamente. Tal fato se deve à grande disponibilidade desse elemento nas rochas adjacentes (Grupo Areado), cujos sedimentos foram hospedeiros das espículas (Almeida *et al.*, no prelo), o que vem a contribuir para o desenvolvimento dos depósitos da região.

Com relação à constituição das espongo fácies entre as lagoas da região, existem diferenças importantes, particularmente entre as lagoas Avião e Preguiça. Na lagoa do Avião observa-se a presença de *H. fistula* em toda a coluna de sedimentos, enquanto que na lagoa de Preguiça a mesma ocorre apenas nos horizontes superiores. Outra diferença está na ocorrência de *D. pydanieli*, que na lagoa da Preguiça tem abundância de espículas, do início ao topo do depósito, sendo as mesmas bem formadas, enquanto na lagoa do Avião a espécie é rara ou ausente nos três últimos níveis examinados. A espécie *M. spinata* é a mais abundante e comum às lagoas como descrito por Volkmer-Ribeiro *et al.* (1998a). Essas diferenças apontam para um solapamento cárstico diferenciado nas duas lagoas, onde sua formação se daria por processo lento de formação de bacias em depressões inicialmente muito rasas, onde não ocorreria, de imediato, a implantação de macrófitas, mas sim de um lençol raso, exposto ao sol, propiciador de colonização por diatomeas. No caso de haver um pequeno solapamento, em vez de uma dissolução lenta da rocha carbonática, criar-se-ia um corpo d'água tipo banhado, inicialmente mais fundo do que os demais. Esse fundo seria suficiente apenas para implantação de macrófitas, como na lagoa do Avião, enquanto que a lagoa da Preguiça, por ser mais antiga, teria sofrido um processo cárstico mais prolongado, resultando ao final numa lagoa mais profunda, favorecedora do domínio de *M. spinata* e *D. pydanieli*. Já a lagoa do Avião, uma bacia mais rasa, seria favorecedora da colonização por *H. fistula*, espécie que só aparece no topo da primeira lagoa, portanto em condições de coluna de água mais reduzida. Segundo Volkmer-Ribeiro *et al.* (1998a), *H. fistula* foi a espécie mais comum nas lagoas rasas e abertas do nordeste, onde ocorrem produção de diatomitos.

Com base na morfologia das espículas, na presença de gemoscleras e na composição mineralógica encontrada nas diferentes fácies ocorrentes nos depósitos, cinco fases deposicionais, que podem ser correlacionadas a fatores climáticos, foram individualizadas na região (Tabela 6).

Tabela 6. Correlação entre as fases deposicionais comuns às lagoas estudadas da região de João Pinheiro (MG). **Abreviaturas:** JP, lagoa da Preguiça; JA, lagoa do Avião; JS, lagoa Severino; JD, lagoa da Divisa; JV, lagoa Vânio; JF, lagoa Feijão; LC, lagoa Carvoeiro; LG, lagoa Grama.

Table 6. Correlation among depositional stages in the ponds from João Pinheiro (MG) region. **Abbreviations:** JP, Preguiça pond; JA, Avião pond; JS, Severino pond; JD, Divisa pond; JV, Vânio pond; JF, Feijão pond; LC, Carvoeiro pond; LG, Grama pond.

Idade (C14) anos AP Calibrada	Fase	Fácies	Características e Interpretação	Correlação bibliográfica
	0			
	I	JS0 JD1 JD2 JPT1-1	Inicia-se acúmulo de água sobre um leve aprofundamento do terreno. Terreno circundante com escassa vegetação.	Entre 40.000 e 27.000 anos AP – Fase de alta umidade (Ledru <i>et al.</i> , 1996). Segundo Salgado-Labouriau (2001), há mais de 32.400 anos AP o clima era semelhante ao atual, provavelmente um pouco mais úmido. Há cerca de 32.000 anos AP, na região central do Brasil, predominou uma fase climática úmida (De Oliveira <i>et al.</i> , 2005).
28.033-28.166	II	JPT1-2	M. spinata – Águas frias e ricas em O ₂ . Aporte maior de chuvas em clima um pouco mais frio e menos sazonal.	Segundo Salgado-Labouriau (2001) entre 28.000 e 32.400 anos AP, o clima era mais frio e úmido que o atual. Turq <i>et al.</i> (1997) estabeleceram um clima úmido entre 33.000 e 20.000 anos AP em depósitos do rio Tamandua, Brasil Central.
		JPT1-3		
		JD3		
		JV4		
		JV5		
		JV6		
		JF1		
		JF3		
		JF4		
		JF5		
		JS1		
		JS2		
		LC1-1		
		LC1-2		
		LC2-2		
		LC2-3		
		LG1		
26.521-26.656 26.206-26.296	III	JPT1-4	Redução do nível de água em ambientes extremamente entofizado, ácido e indo para anóxico. Presença de gemoscleras. Período de estações curtas de seca e chuva, sem caráter de enxurrada.	Na região do Amazonas (Serra dos Carajás), Sifeddine <i>et al.</i> (1994) estabeleceram que uma fase seca prevaleceu até 28.000 anos AP. Entre 19.000 e 28.000 anos AP, prevaleceu um clima mais frio que o atual, com umidade aumentando (Salgado-Labouriau, 2001).
		JPT1-5		
		JD4		
		JD5		
		JV1		
		JV2		
		JV3		
		JF6		
		JS3		
		JS4		
		JAT1-1		
14.203-14.495 13.887-14.113	IV	JPT1-6	Espongiito limpo. Reintrodução suave do aporte de água. Falta de água – muitas gemoscleras.	A partir de 19.000 anos AP inicia-se uma nova fase seca que se estendeu até o Holoceno (Barberi <i>et al.</i> , 2000). Umidade aumenta gradualmente entre 16.000 e 11.000 anos AP (Ledru <i>et al.</i> , 1996). De acordo com Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (2001) entre 18.500 e 11.300 anos AP prevaleceu uma fase seca e talvez, mais fria. Segundo Salgado-Labouriau (2001) entre 11.000 e 19.000 AP o clima foi se tornando mais seco e frio. De acordo com Turq <i>et al.</i> (1997), o clima encontrava-se seco entre 17.000 e 10.000 anos AP. Grandes inundações ocorreram depois de 13.000 anos AP, mas condições de seca retornaram depois de 11.000 anos AP (Thomas & Thorp, 1995). Clima mais frio e úmido durante o Glacial Tardio, de 17.000 a 11.000 anos AP (De Oliveira <i>et al.</i> , 2005).
		JAT1-2		
		JAT1-3		
		JAT1-4		
		JAT1-5		
		JAT1-6		
		JF2		
		LC2-1		
3.323-3388	V	JAT1-7	Provável aumento das chuvas com enxurradas.	No Holoceno, possivelmente ao final, entre 7 e 5 mil anos AP, houve um período de chuvas torrenciais (Barberi <i>et al.</i> , 2000). A precipitação aumenta entre 4.000 e 3.000 anos AP (Salgado-Labouriau <i>et al.</i> 1998). Entre 4.000 e 3.000 anos AP aumenta a umidade (Ledru <i>et al.</i> , 1996). Entre 3.500 e 7.500 anos AP primeiro evento úmido que ocorreu no Holoceno (Jabur, 1992 e Stevaux (1993, 1994, 1994b). Período mais úmido entre 4.610 e 4.010 anos AP (Parolin <i>et al.</i> , 2007). Entre 6.680 e 3.500 anos AP há um aumento da umidade (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 2001). De acordo com Salgado-Labouriau (2001), a partir de 4.600 anos AP se estabelece um clima semi-úmido, semelhante ao atual.
		JPT1-7		

Na fase I iniciou-se o acúmulo de água sobre um leve aprofundamento do terreno, causado provavelmente por processo cárstico. O armazenamento inicial das águas propiciou a colonização biótica, inicialmente por algas diatomáceas, em razão da pouca profundidade. Em seguida, o aumento da profundidade levou ao estabelecimento, no mínimo marginal, de macrófitas que serviram de suporte às primeiras esponjas. Essas esponjas estabeleceram-se, provavelmente, a partir de gêmulas oriundas de lagoas vizinhas, transportadas talvez por aves aquáticas e outros vertebrados do Cerrado, que passam a utilizar a lagoa como bebedouro e fonte de alimento. Esse contexto fica evidenciado pelos nomes localmente atribuídos a diversas dessas lagoas, além das aqui já referidas (lagoa da Preguiça, lagoa das Araras, etc.) Essa fase deve ter sido antecedida por uma fase 0, não amostrada nas duas lagoas, com predomínio de diatomáceas, cujas frústulas aparecem trituradas, dominando o sedimento na primeira fácies, somente na lagoa da Preguiça. Segundo Ledru (1993) e Ledru *et al.* (1996), na região do Brasil Central (Brasília, Goiânia, Salitre e Rio Claro), o período entre 40.000 e 27.000 anos AP está relacionado a uma fase de alta umidade, com temperaturas mais elevadas que as atuais. A partir da análise de sedimentos de veredas dentro de áreas de cerrado na região do Brasil Central, Salgado-Laboriau (2001) estabeleceu que há mais de 32.400 anos AP o clima era semelhante ao atual, provavelmente, um pouco mais úmido. Há cerca de 32.000 anos AP, nessa mesma região, predominou uma fase climática úmida (De Oliveira *et al.*, 2005). Evidências palinológicas de Rondônia e Carajás (Absy, 1996) mostraram que houve mudanças da vegetação nessas áreas e que a vegetação de savana foi substituída pela floresta tropical durante certos períodos do Pleistoceno. Nesse estudo, foi estabelecido que, há 60.000 anos, há 40.000 anos e de 23.000 a 11.000 anos AP, houve o desaparecimento da Floresta Amazônica e que, entre 9.500 e 8.000 anos AP essa floresta se desenvolveu novamente.

A fase II é indicada pela dominância de espículas bem formadas, mas quebradas em pedaços grandes. Esse período foi favorável à colonização pelas esponjas, principalmente *M. spinata*. Essa é uma espécie que vem se caracterizando por necessitar águas um pouco mais frias e ricas em oxigênio. Tal fato sugere uma fase em que, paralelamente ao aprofundamento das lagoas, houve um aporte maior de chuvas em um clima um pouco mais frio e menos sazonal, no caso indicado pelo número reduzido de gemoscleras nos sedimentos analisados. Os nódulos de argila representam talvez um aporte maior, devido às chuvas, de sedimentos provenientes das áreas adjacentes, principalmente do arenito do Grupo Areado (Almeida *et al.*, no prelo), possibilitando o crescimento e abundância das esponjas e, certamente também, das macrófitas suporte. A análise de ^{14}C no nível JPT 1-2 da lagoa da Preguiça foi datada em 28.033-28.166 anos AP, período de grande aporte de chuvas. Segundo Salgado-Laboriau (2001), entre 33.390 e 28.000 anos AP, o clima era mais frio e úmido que o atual, situação confirmada pela diminuição na frequência de pólen de árvores no Brasil Central. Turq *et al.* (1997) estabeleceram um clima úmido entre 33.000 e 20.000 anos AP em depósitos do rio Tamandará, Brasil Central.

A fase III, indicada pela abundância de gemoscleras, corresponderia a um período de estações curtas de seca e chuvas, sem caráter de enxurradas, aportando sílica, mas sem o transporte de sedimentos, comprovada pela pequena quantidade desses materiais nas fácies referentes a essa fase. Houve, provavelmente, uma redução do nível da água em ambiente extremamente eutrofizado, ácido e tendendo para anóxico, com aumento considerável da população de bactérias redutoras. Os níveis JPT1-4 e JPT1-5 da lagoa da Preguiça foram datados, respectivamente, em 26.521-26.656, e 26.206-26.296 anos AP, sendo essas idades coincidentes com períodos de estações curtas de secas e chuvas, sem caráter de enxurrada. Na região do Amazonas (Serra dos Carajás), Sifeddine *et al.* (1994) estabeleceram uma fase de seca que prevaleceu até 28.000 anos AP. A lagoa do Avião, mais recente que a Preguiça, iniciou seu processo de formação ao final desse período. Entre 19.000 e 28.000 anos AP, prevaleceu um clima mais frio que o atual, com umidade aumentando, evidenciado pelo desaparecimento drástico de árvores de cerrado e o crescimento de vegetação de regiões mais frias (Salgado-Laboriau, 2001).

Na fase IV houve a reintrodução suave do aporte de água na lagoa. As esponjas lideram o processo de utilização da sílica disponível, talvez com reaproveitamento da sílica de outros organismos. A falta de água é indicada pela presença de muitas gemoscleras de todas as espécies até aqui citadas e pela produção de megascleras mais delgadas. O nível JPT1-6 da lagoa da Preguiça foi datado em 14.203-14.495 anos AP, correspondendo a um período de aumento gradual da umidade entre 16.000 e 11.000 anos AP (Ledru *et al.*, 1996). Segundo Barberi *et al.* (2000), a partir de 19.000 anos AP tem início uma nova fase seca que se estende até o Holoceno. As fácies intermediárias da lagoa do Avião (JAT1-2, JAT1-3, JAT1-4, JAT1-5 e JAT1-6) encontram-se todas nesse período, demonstrando que o fator climático foi sempre essencial e passível de acelerar o processo, uma vez que a bacia já tinha a profundidade requerida para implantação da vegetação macrofítica. De acordo com Ferraz-Vicentini & Salgado-Laboriau (2001), entre 18.500 e 11.300 anos AP prevaleceu uma fase seca e, talvez, mais fria. Salgado-Laboriau (2001), analisando palinórmorfos de uma vereda no Brasil Central, estabeleceu que entre 19.000 e 11.000 AP o clima foi se tornando mais seco e frio. Segundo Turq *et al.* (1997), o clima encontrava-se seco entre 17.000 e 10.000 anos AP. Grandes inundações ocorreram depois de 13.000 anos AP, mas condições de seca retornaram depois de 11.000 anos AP (Thomas & Thorp, 1995). Condições climáticas mais frias e úmidas ocorreram durante o Glacial Tardio, de 17.000 a 11.000 anos AP (De Oliveira *et al.*, 2005), em análises palinórmorfos na lagoa dos Olhos d'Água (MG).

A fase V corresponde ao topo atual, com predomínio de espículas quebradas e nódulos de argilas ferruginosas indicando provável aumento estacional de chuvas com enxurradas. A datação do nível JAT1-7 em 3.323-3.388 anos AP, confirma essa proposta, a partir dos trabalhos de Jabur (1992) e Stevaux (1993, 1994a,b), Ledru *et al.* (1996), Salgado-Laboriau *et al.* (1998) e Parolin *et al.* (2007), indicando para o período

de 7.000 e 3.000 anos AP, um aumento na precipitação o qual teria sido o primeiro evento úmido que ocorreu no Holoceno. Ainda, segundo Barberi *et al.* (2000), no Holoceno, possivelmente ao final, entre 7.000 e 5.000 anos AP, houve um período de chuvas torrenciais. Análises palinológicas de sedimentos de uma vereda no Brasil Central, estabeleceram que entre 6.680 e 3.500 anos AP houve um aumento da umidade (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 2001). De acordo com Salgado-Labouriau (2001), a partir de 4.600 anos AP se estabelece um clima semi-úmido, semelhante ao atual.

Deve-se salientar que a lagoa do Avião, como confirmada pelas datações de ^{14}C , é mais recente que a lagoa da Preguiça, além de possuir menor profundidade quando comparada a esta última. Isto se dá, pois as seis espécies de esponjas que constituem as assembléias atuais (já registradas e típicas de lagoas desse bioma, porém sem formação de espongilitos), *M. spinata*, *D. pydanieli*, *C. thumi*, *H. fistula*, *T. variabilis* e *R. amazonensis*, têm características próprias de adaptação a todo um leque de conjugação dos fatores água, temperatura, oxigenação, pH, eutrofização e, consequentemente, disponibilização da sílica, proporcionado por essas bacias.

Assim, conforme as profundidades aumentam, vai se estabelecendo um mosaico espacial e temporal, que proporciona condições diferenciadas de colonização, utilizadas por cada uma das seis espécies, conforme seus ótimos adaptativos. Nas lagoas em foco, no entanto, *T. variabilis* e *R. amazonensis* foram raras ou ausentes. São espécies características da colmatação por turfeiras, caso que parece não haver ocorrido nos locais amostrados, devido talvez à pouca profundidade das lagoas. Em razão disto, numa mesma fase, uma lagoa pode estar ainda sofrendo os impactos da fase anterior e a outra, mais nova, não.

Essas distintas fases assinalando aportes maiores ou menores de águas de precipitação ocorreram, porém todas em um clima com características sazonais, indicadas pela presença constante de gemoscleras, resistentes a períodos de seca ou redução da coluna de água nas lagoas. Então, novamente um indício de um clima já vigente e produtor do Cerrado. É significativo nesses espongilitos a ausência de carvões, apontando para um clima mais frio, inibidor de incêndios, ou um terreno sem cobertura florestal ou arbustiva nas proximidades dessas lagoas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos vêm confirmar a existência de uma assembléia constituída por seis espécies de esponjas: *Metania spinata* (Carter, 1881), *Dosilia pydanieli* Volkmer-Ribeiro, 1992, *Trochospongilla variabilis* Bonetto & Ezcurra de Drago, 1973, *Corvomeyenia thumi* (Traxler, 1895), *Heterorotula fistula* Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995 e *Radiospongilla amazonensis* Volkmer-Ribeiro & Maciel 1983, com ocorrência atual no Bioma Cerrado (Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995, Volkmer-Ribeiro *et al.*, 1998a). Essas espécies, ao que parece, ocorreram de forma alternada durante o Pleistoceno Superior-Holoceno, gerando contínuo de

espículas e formando espongo fácies, algumas caracterizadas como espongilitos, em lagoas de dolina na Região de João Pinheiro.

A formação do espongilito nas lagoas estudadas ocorreu em tempo pretérito, com um clima diferenciado daquele do cerrado atual, atuando no grande quadrilátero da formação dos depósitos de espongilito, devido a aportes de chuvas mais frequentes, carreando para dentro das bacias uma alimentação constante de sílica. Esse quadrilátero de ocorrência abrange o noroeste do Estado de São Paulo, sul de Goiás, nordeste de Mato Grosso do Sul e sudoeste de Minas Gerais (Volkmer-Ribeiro *et al.*, 1998a). Esse fato é demonstrado pela pouca quantidade de gemoscleras presentes nesses depósitos, que se alternam com maiores ou menores quantidades de aporte de argila (nódulos argilosos), características das novas entradas de sedimentos nas bacias. Mesmo as fases de maior eutrofização, que assinalam na coluna períodos de menor aporte de água, acabam disponibilizando a sílica fragmentada para nova produção das esponjas, tão logo ocorreram novas entradas de água, com aportes mais reduzidos e sem enxurradas, devido talvez à pouca profundidade da lagoa (as fases do espongilito limpo), ou abundantes, devido ao maior gradiente de impacto ditado por profundidades maiores das lagoas (nova fase com o aporte de argila).

A seleção de duas lagoas bastante próximas como base para o estudo, mostrou-se altamente positiva, uma vez que o fator climático foi padronizado, permitindo a distinção de eventos que se podem atribuir ao terreno cárstico em que essas duas lagoas se formaram, além, obviamente, da sobreposição de eventos climáticos.

Esse contexto geomorfológico envolvendo a formação das bacias por deflação, já abordado em termos de hipótese em publicações anteriores (Bigarella & Becker, 1975, 1994; Volkmer-Ribeiro & Motta, 1995; Volkmer-Ribeiro *et al.*, 1998) e agora testado, vem a ser confirmado, apresentando-se como um dos fatores mais importantes dessa produção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro e incentivo à pesquisa do CNPq, CAPES e FAPEMIG. Agradecimentos à empresa Magnesita S.A., pela assistência aos trabalhos de campo, particularmente ao técnico P. P. Soares Júnior. A. C. S. Almeida agradece particularmente às bolsistas V. de S. Machado e K. F. de Oliveira, membros da equipe de Esponjas Continentais, do Museu de Ciências Naturais, da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, pelo suporte na preparação e catalogação das amostras analisadas.

REFERÊNCIAS

- Absy, M.L. 1996. A vegetação e o clima da Amazônia durante o Quaternário. In: C. Pavan (ed.) *Uma estratégia latino-americana para a Amazônia*. São Paulo, Editora da Unesp. p. 287-290.
- Almeida, A.C.S.; Varajão A.F.D.C.; Gomes N.S.; Varajão C.C. & Volkmer-Ribeiro C. Characterization and origin of spongillite-hosting sediment from the region of João Pinheiro, Minas Gerais State, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, (no prelo).

- Almeida, A.C.S.; Varajão, A.F.D.C.; Gomes, N.S.; Varajão, C.A.C.; Volkmer-Ribeiro, C. & Weber, R. C., 2008. Morphological characterization of spongillites from South-Eastern Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR APPLIED MINERALOGY, 19, 2008. *Proceedings*, Brisbane, p. 489-496.
- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4):349-364.
- Almeida, F.F.M. 1981. O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTRON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1, 1981. *Anais*, Salvador, SBG, p. 1-10.
- Barberi, M.; Salgado-Labouriau M.L. & Suguio K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Águas Emendadas”, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13:241-254.
- Bard, E.; Rostek, F. & Ménot-Combes, G. 2004. Radiocarbon calibration beyond 20,000 ^{14}C yr B.P. by means of planktonic foraminifera of the Iberian Margin. *Quaternary Research*, 61:204-214.
- Bigarella, J.J. & Becker R.D. 1975. International Symposium on the Quaternary. *Boletim Paranaense de Geociências*, 33:1-370.
- Bigarella, J.J.; Becker, R.D. & Santos G.F. 1994. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis, Editora da UFSC, 425 p.
- Cândido, J.L.; Volkmer-Ribeiro, C.; Filho, F.L.S.; Turcq, B.J.; Desjardins, T. & Chauvel A. 2000. Microsclere variations of *Dosilia pydanieli* (Porifera, Spongillidae) in Caracará Lake (Roraima, Brazil): palaeoenvironmental implications. *Biociências*, 2:77-92.
- Cordeiro, R.C.; Turcq, B.; Suguio, K.; Volkmer-Ribeiro, C.; Silva, A. O.; Sifeddine, A. & Martin, L. 1997. Holocene environmental changes in Carajás Region (Pará, Brazil) recorded by lacustrine deposits. *Verh. International Verein. Limnology*, p. 814-817.
- Delbem, A.A.S.T.; Melnikov, P.; Siqueira, O.; Delben, J.R.; Jurkivics J.R. & Santos, F. J. 2001. Properties of spongillite and perspectives of its usage. In: BRAZILIAN MEETING ON MINERAL DRESSING AND EXTRACTIVE METALLURGY, 18, 2001. *Proceedings*, Rio de Janeiro, 2:277-281.
- De Oliveira, P.E.; Behling, H.; Ledru, M.P.; Barbieri, M.; Bush, M.; Salgado Labouriau, M.L. Garcia, M.J.; Medeanic, S.; Barth M.O.; Barros, M.A. & Schell-Ybert, R. 2005. Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil. In: C.R.G. Souza; K. Suguio; A.M. dos S. de Oliveira & P.E. Oliveira (eds.) *Quaternário do Brasil*, Editora Holos, p. 276-297.
- Dias, E.G.C.S.; Souza, D.D.D.; Neves, M.R.; Cabral Júnior, M.; Okagawa, H. & Motta, J.F.M. 1988. Caracterização geológica do espongilito da lagoa Araré (Paranaíba-MS) visando sua utilização industrial. In: ENCONTRO NACIONAL DO TALCO, 4, 1988. *Anais*, Ponta Grossa, p. 281-310.
- Ferraz-Vicentine, K.R. & Salgado Labouriau, M.L. 2001. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 9(3/4):207-219.
- Frost, T.M. 1991. Porifera. In: J.H. Thorp & A.P. Covich (eds.) *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. Nova York, Academic Press, p. 95-124.
- Gaiser, E.E.; Brooks, M.J.; Kenney, W.F.; Schelske, C.L. & Taylor, B.E. 2004. Interpreting the hydrological history of a temporary pond from chemical and microscopic characterization of silicicous microfossils. *Journal of Paleolimnology*, 1:63-76.
- Hall, B.V. & Herrmann, S.J. 1980. Paleolimnology of three species of fresh-water sponges (Porifera:Spongillidae) from a sediment core of a Colorado semidrainage mountain lake. *Transactions of the American Microscopical Society*, 99(1):93-100.
- Harrison, W.F. 1974. Sponges (Porifera: Spongillidae). In: C.W. Hart Jr. & S.L.H. Fuller (eds.) *Pollution Ecology of freshwater Invertebrates*, Nova York, Academic Press, p. 29-66.
- Harrison, F.W., 1988. Utilization of freshwater sponges in paleolimnological studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62:387-397.
- Harrison, F.W.; Gleason, P.J. & Stone, P.A. 1979. Paleolimnology of lake Okeechobee, Florida: an analysis utilizing spicular components of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae). *Notulae Naturae*, 454:1-6.
- Inda, H.A.V.; Schorcher, H.D.; Dardene, M.A.; Schobbenhaus, C.; Harally, N.L.E.; Azevedo Branco, P.C. & Ramalho, R., 1984. O cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. In: C. Schobbenhaus, D. A. Campos, G.R. Derze & H. E. Asmus (eds.), *Geologia do Brasil, texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, Escala 1:2500000*, Brasília, DNPM/MME, p. 153-248.
- Jabur, I.C. 1992. *Análise paleoambiental do Quaternário superior na bacia do alto rio Paraná*. Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 184 p.
- Jewell, M.E., 1935. An ecological study of fresh-water sponges of Northeastern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 5:461-505.
- Junk, W.J. & Furch, K. 1985. The physical and chemical properties of Amazonian waters and their relationships with the biota. In: G.T. Prance & T.E. Lovejoy (eds.) *Key Environments: Amazonia*, Pergamon Press, p. 3-17.
- Ledru, M.P. 1993. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research*, 39:90-98.
- Ledru, M.P.; Braga P.I.S.; Soubiès, F.; Fournier, M.; Martin, L.; Suguio, K. & Turcq, B. 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123:239-257.
- Marques, M.G.S.M.; Ferreira, R.L. & Barbosa, F.A.R. 1999. A comunidade de macroinvertebrados aquáticos e características limnológicas das lagoas Carioca e da Barra, Parque Estadual do Rio Doce, MG. *Revista Brasileira de Biologia*, 59(2):203-210.
- Mascarenhas, J.F.; Pedreira, A.J.; Motta, A.C. & Sá, J.H.S. 1984. Província São Francisco. In: F.F.M. Almeida & Hasui Y. (eds.) *Pré-Cambriano do Brasil*, Edgard Blücher, p. 46-122.
- Melão, M.G.G. & Rocha, O. 1999. Biomass and productivity of the freshwater sponge *Metania spinata* (Carter, 1881) (Demospongiae: Metaniidae) in a Brazilian reservoir. *Hydrobiologia*, 390:1-10.
- Oliveira, A.A.C.; Valle C.R.O. & Féboli W.L., 2002. *Geologia. Nota explicativa do mapa geológico integrado. Folhas SE 23-V-D (partes)*. Belo Horizonte, Projeto São Francisco, CPRM-COMIG, 84 p.
- Parolin, M.; Volkmer-Ribeiro, C. & Stevaux, J.C. 2007. Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironmental indicators of the Holocene in the upper Paraná river, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 10:17-26.
- Parolin, M.; Volkmer-Ribeiro, C. & Stevaux, J.C. 2008. Use of spongofacies as a proxy for river-lake paleohydrology in Quaternary deposits of central-western Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11(3):187-198.
- Pennak, R.W. 1953. *Fresh-water Invertebrates of the United States*. Nova York, Ronald Press, 769 p.

- Penney, J.T. & Racek, A.A. 1968. Comprehensive revision of a worldwide collection of freshwater sponges (Porifera: Spongillidae). *Bulletin of the United States Natural Museum*, 272:1-184.
- Reimer, P.J.; Baillie, M.G.L.; Bard, E.; Bayliss, A.; Beck, J.W.; Bertrand, C.J.H.; Blackwell, P.G.; Buck, C. E.; Burr, G.S.; Cutler, K.B.; Damon, P.E.; Edwards, R.L.; Fairbanks, R.G.; Friedrich, M.; Guilderson, T.P.; Hogg, A.G.; Hughen, K.A.; Kromer, B.; McCormac, G.; Manning, S.; Ramsey, C.B.; Reimer, R.W.; Remmele, S.; Southon, J.R.; Stuiver, M.; Talamo, S.; Taylor, F.W.; Plicht, van der J. & Weyhenmeyer, C.E. 2004. INTCAL04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 CAL KYR BP. *Radiocarbon*, 46(3):1029–1058.
- Salgado-Labouriau, M.L. 2001. Reconstruindo as comunidades vegetais e o clima no passado. *Humanidades*, 48:24-40.
- Salgado-Labouriau, M.L.; Barberi, M.; Ferraz-Vicentini, K.R. & Parizzi, M.G. 1998. A dry climatic event during the Late Quaternary of tropical Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99:115-129.
- Santos, F.J.; Siqueira, O.S.; Delben, A.A.S.T.; Delben, J.R.J. & Melnikov, P. 2002. Spongolite: a hollow fibrous mineral from Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Clay Minerals*, 37:249-253.
- Sifeddine, A.; Frohlich, F.; Fournier, M.; Martin, L.; Servant, M.; Soubiès, F.; Turcq, B.; Suguio K. & Volkmer-Ribeiro, C. 1994. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 300.000 dernières années (Carajás Amazonie, Brésil). *Comptes Rendus de L'académie des Sciences de Paris*, 318:1645-1652.
- Souza, D.D.D.; Jordão, M.A.P.; Dias, E.G.C.S. & Neves, M.R. 1988. Estudos preliminares de beneficiamento de espongilite da lagoa de Araré-MS. In: ENCONTRO NACIONAL DO TALCO, 4, 1988. *Anais*, Ponta Grossa, p. 257-281.
- Stevaux, J.C. 1993. *O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentologia e evolução quaternária de seu curso superior*. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 142 p.
- Stevaux, J.C. 1994a. Upper Paraná River (Brazil) geomorphology and paleoclimatology. *Quaternary International*, 21:143-161.
- Stevaux, J.C. 1994b. Geomorfologia, sedimentologia e paleoclimatologia do Alto Curso do rio Paraná (Porto Rico-PR). *Boletim Paranaense de Geociências*, 42:97-112.
- Thomas, M.F. & Thorp, M.B. 1995. Geomorphic response to rapid climatic and hydrologic change during the Late Pleistocene and Early Holocene in the humid and sub-humid tropics. *Quaternary Science Reviews*, 14(2):193-207.
- Traxler, L. 1895. Spikule von Sübwasserschwämmen aus Brasilien. *Földt. Közlöny*, 25:62-64.
- Tundisi, J.G. & Saijo, Y. 1997. *Limnological studies on the Rio Doce valley lakes, Brazil*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 513 p.
- Tundisi, J.G.; Tundisi, T.M. & Barbosa, F.A. 1978. *Limnological studies at the River Doce valley lakes, "Parque Florestal do Rio Doce"*. Convênio CETEC/UFSCar, São Carlos, SP. 147 p.
- Turq, B.; Pressinotti, M.M.N. & Martin, L. 1997. Paleohydrology and paleoclimate of the past 33,000 years at the Tamandua River, Central Brasil. *Quaternary Research*, 47:284-294.
- Turcq, B.; Sifeddine, A.; Martín, L.; Absy, M.L.; Soubiès, F.; Suguio, K. & Volkmer-Ribeiro, C. 1998. Amazon forest fires: a lacustrine report of 7,000 years. *Ambio*, 27(2):139-142.
- Volkmer-Ribeiro, C. 1985. *Manual de técnicas para a preparação de coleções zoológicas 3*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Zoologia/CNPq, 6 p.
- Volkmer-Ribeiro, C. 1992. The freshwater sponges in some peat-bog ponds in Brazil. *Amazoniana*, 12(2):317-335.
- Volkmer-Ribeiro, C. 1996. Ecoindicator species of freshwater sponges: study of three cases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPONGE SCIENCE, 1, 1996. *Abstracts*, Otsu, p. 34.
- Volkmer-Ribeiro, C. & Costa, P.R.C. 1992. On *Metania spinata* (Carter, 1881) and *Metania kiliani* sp. nov.: Porifera, Metaniidae Volkmer-Ribeiro, 1986. *Amazoniana*, 12(1):7-16.
- Volkmer-Ribeiro, C. & Motta, J.F.M. 1995. Esponjas formadoras de espongilites em lagoas no Triângulo Mineiro e adjacências, com indicação de preservação de habitat. *Biociências*, 3(2):145-169.
- Volkmer-Ribeiro, C.; Motta, J.F.M. & Callegaro, V.L.M. 1998a. Taxonomy and distribution of Brazilian spongillites. In: Y. Watanabe & N. Fusetani (eds.) *Sponge Sciences-Multidisciplinary Perspectives*, Springer-Verlag, p. 271-278.
- Volkmer-Ribeiro, C.; Mansur, M.C.D.; Mera, P.A.S. & Ross, S.M. 1998b. Biological indicators of the quality of water on the Island of Maracá, Roraima, Brazil. In: W. Milliken & J. Ratter (eds.) *Maracá: the biodiversity and environment of an Amazonian rainforest*, John Wiley & Sons, p. 403-414.

Received in February, 2009; accepted in May, 2009.