

1518771

**PREENCHIMENTO SEDIMENTAR DA
LAGOA DOURADA - PONTA GROSSA - PARANÁ¹**
*SEDIMENTARY FILLING OF THE LAGOA DOURADA -
PONTA GROSSA - PARANÁ - SOUTHERN BRAZIL*

Mário Sérgio de Melo²
Paulo César Fonseca Giannini³
Luiz Carlos Ruiz Pessenda⁴
Max Brandt Neto⁵

RESUMO

A Lagoa Dourada é uma depressão aproximadamente circular formada sobre o Arenito Furnas, no Estado do Paraná, com cerca de 200 m de diâmetro e lâmina d'água de até 5,4 m, sendo preenchida por, pelo menos, 12,2 m de sedimentos do Holoceno e final do Pleistoceno (últimos 12000 anos). Nesse intervalo de tempo, a lagoa tem sido assoreada tanto por material arenoso, trazido por surgências de águas subterrâneas, quanto por material silto-argiloso, trazido pelas cheias do rio Guabiroba, em cuja planície aluvial ela se situa. A ocorrência acentuada de epídoto e anatásio entre os minerais pesados dos sedimentos das surgências de água subterrânea pode indicar derivação a partir de metassedimentos do Supergrupo Açungui, situados no embasamento das unidades da Bacia do Paraná. A ocorrência de gipso, às vezes associado à pirita, ambos como minerais autógenos nos sedimentos da lagoa, sugere fases de aumento da salinidade das águas durante a sedimentação, relacionadas à maior evaporação em climas mais secos. É possível distinguir três "ciclos" de aumento das taxas de carbono total nos sedimentos da lagoa, eles aparentemente coincidem com o aumento das relações isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (d^{13}C). A recorrência de fases climáticas mais úmidas e secas pode explicar tais ciclos. A convergência de indicadores paleoclimáticos sedimentológicos e paleontológicos (pólens e diatomáceas) sugere que pelo menos uma fase paleoclimática mais seca esteja testemunhada nos sedimentos da Lagoa Dourada, abrangendo datação de 8720 ± 150 anos AP.

1 Trabalho realizado com apoio do CNPq

2 Universidade Estadual de Ponta Grossa - DEGEO - Praça Santos Andrade s/n, 84010-970, Ponta Grossa - Paraná. msmelo@uepg.br

3 Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - DGSA - C. P. 11.348, 05422-970, São Paulo.

4 CENA - USP - Av. Centenário 303 - C. P. 96, 13400-970, Piracicaba - São Paulo.

5 UNESP - IBILCE - C. P. 136, 15054-000, São José do Rio Preto - São Paulo.

ABSTRACT

The Lagoa Dourada is a roughly circular depression in the Furnas Sandstone (Devonian of the Paraná Basin), placed 15 km to the southeast of Ponta Grossa, in the Second Paraná Plateau, Southern Brazil (figure 1). The pond, with a water column up to 5,4 m deep, has a diameter of about 200 m and is filled with at least 12,2 m of sediments of the Holocene and end of the Pleistocene. In the last 12000 years the Lagoa Dourada has been filled by sands brought by sources of underground waters as well as by mud brought by the floods of the Guabiroba River, a high tributary of the Tibagi river in the state of Paraná, south region of Brazil.

The sedimentological studies were based on the analysis of a core sample with 12,2 m of depth taken from the sediments that fill the pond, collected in 1991 by a team of researchers of the Smithsonian Institute, Ohio State University, University of Cincinnati, and State University of Ponta Grossa (Professors Rosemeri S. Moro and Ines J. M. Takeda). In the study of the source rocks and core sample, it was attempted to characterise the sediments, their significant variations in composition, texture and structure, and possible relationships with deposition, deformation processes, paleoenvironmental variations, the hydrological regimen of the pond and hydrographical basin.

The study techniques comprised scanning electron microscopy (SEM), grain size analyses, mineralogical analyses of the grains (optical microscopy), X-ray diffractometry (clays and sand grains) and carbon content (isotopic ratio $d^{13}C$, or $^{13}C/^{12}C$, in ‰ relative to PDB standard and % by weight of total C) of the sediments of the core sample.

The geological units present in the source area of the sediments of the Lagoa Dourada (figures 2 and 3) are the Furnas Sandstone (whitish arkosean sandstone with kaolinitic cement), the Ponta Grossa Formation (Devonian shale and fine sandstone) and rocks from the Itararé Group (Upper Carboniferous red to reddish sandstone, conglomeratic lenses, diamictites, rhythmites, mudstones and shales).

Lagoa Dourada is not a closed system, seeing as it receives the muddy waters of the Guabiroba river floods (Figure 4). The sediments which fill it originate from the rocks present in its immediate surround, from the rocks along the course of the underground waters which feed the sources at its northern border, and from the rocks in all the hydrographical basin of the Guabiroba river upstream of the pond.

Table 1 shows the results of grain size analyses of the sedimentary rocks of the source areas and of the bottom surface of Lagoa Dourada. The data for the sediments in the core sample distort the real grain size distribution of Lagoa Dourada's sediments, through the effect of the flocculation of the lutaceous sediments by the organic and mineral colloids. The examination of the core sample (figure 5) and of Lagoa Dourada's bottom's surface sediments show that the grain size is predominantly silt and clay in the southern and south-eastern two thirds, changing to sand in the northern and north-western third (figure 4).

Tables 2 and 3 show data relating to heavy minerals of the source areas and the core sample (figure 5) of the Lagoa Dourada. The high ZTR index and the low mineralogical diversity characterize the high chemical maturity of the rocks and sediments studied. Table 4 presents results from the mineralogical analysis, including clay minerals, of the sedimentary rocks present in the outcrops at the source area for the deposits that fill Lagoa Dourada. These results show that chlorite appears in little weathered shales from Ponta Grossa Formation. Kaolinite and illite are present as much in Furnas Formation as in Itararé Group.

Table 5 presents the results from mineralogical analysis of the sediments from the Lagoa Dourada. The more significant authigenic minerals detected in the SEM analyses were gypsum and pyrite (table 5 and figures 6 and 7). They appear in very small quantity, in microscopic crystals.

The analyses of the carbon content carried out to the samples of sediments from Lagoa Dourada (figure 8) aimed mainly, in a preliminary investigation of an exploratory character, to examine the possibility that the results obtained would support paleoenvironmental interpretations.

It is possible to distinguish three "cycles" of increase in total carbon rates in the pond's sediments, which apparently coincide with the increase in the isotopic ratios $^{13}C/^{12}C$ ($d^{13}C$). Diverse hypotheses could explain the existence of such "cycles": a succession of conditions of greater or smaller decomposition in the organic matter of the sediments; variations in the vegetation covering, with greater participation of gramineae and consequently an increase in $d^{13}C$, suggesting trends to drier climatic phases; variations in the salinity of the pond's water.

Two radiometric datings are reported in material coming from the Lagoa Dourada sediments, as follows: 11170 ± 110 years BP for 11,9 m and 8720 ± 150 years BP for 10,6 m deep. Based on these two datings, the sedimentation rates for Lagoa Dourada should reach 0,53 mm/year between 11,9 and 10,6 m deep, and 1,22 mm/year above 10,6 m deep. These rates are similar to those of other Holocene flood plain ponds in Southeast Brazil (table 6).

The convergence of sedimentologic and paleontologic (pollens and diatoms) paleoclimatic indicators suggests that at least one drier paleoclimatic phase is represented in the sediments of Lagoa Dourada, at the base of the core sample (to around 10,0 - 10,6 m deep), comprising the dating of 8720 ± 150 years BP. Signs of a second drier phase in more recent times, higher in the core sample, are less consistent. They are the presence of gypsum associated with pyrite, and a "cycle" of carbon isotope variation.

INTRODUÇÃO

A Lagoa Dourada é uma depressão com cerca de 200 m de diâmetro e lâmina d'água de até 5,4 m, formada sobre o Arenito Furnas (Devoniano da Bacia do Paraná), situada na bacia hidrográfica do

rio Guabiroba, um afluente do alto rio Tibagi, no Estado do Paraná. Ela faz parte do sistema de furnas do Parque Estadual de Vila Velha (figura 1), situando-se cerca de 20 km a sudeste do centro da cidade de Ponta Grossa e 70 km a noroeste de Curitiba.

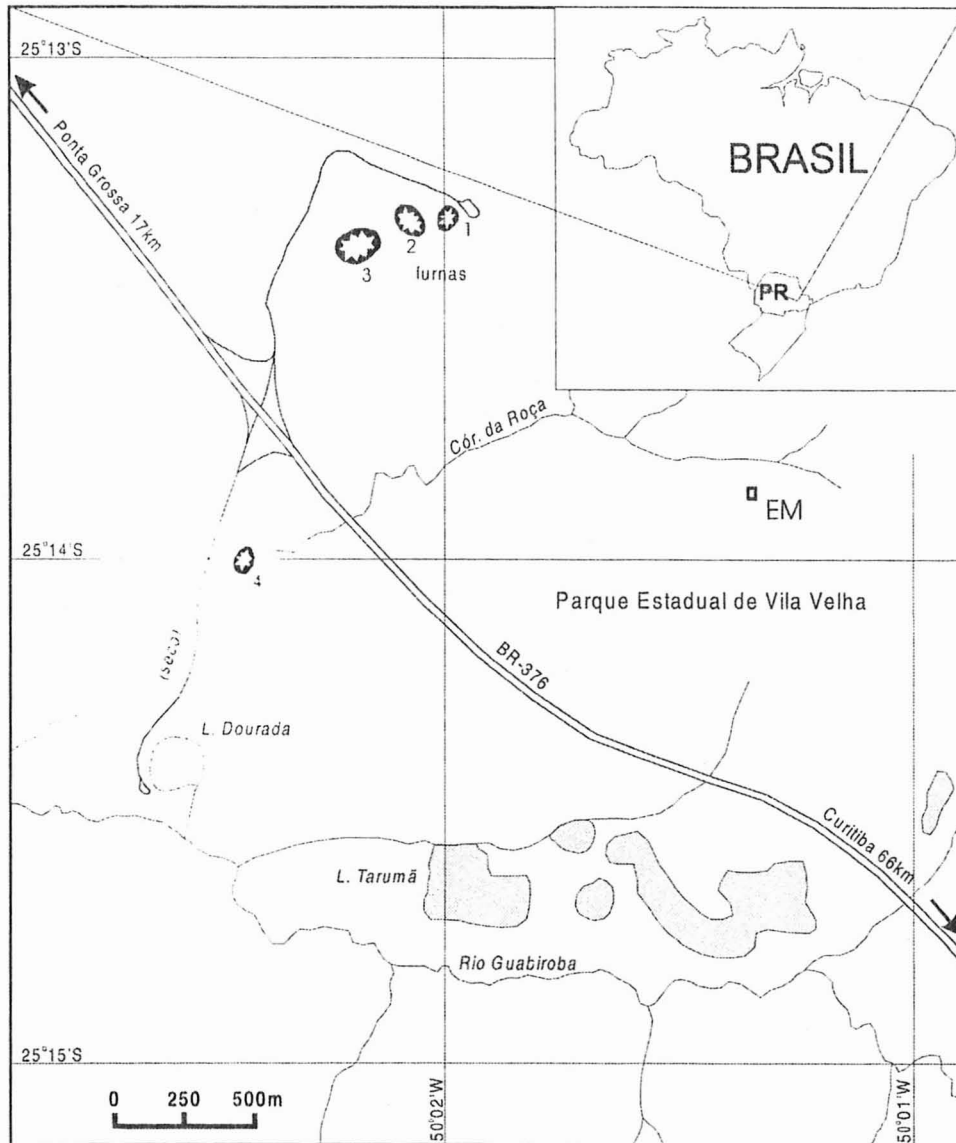


Figura 1: Mapa de localização da Lagoa Dourada (modificado de SOARES, 1989). 1-4: Furnas do Parque Estadual de Vila Velha; EM: Estação Meteorológica do IAPAR. Location map of the Lagoa Dourada (modified from SOARES, 1989). 1-4: "Furnas" of the Vila Velha State Park.

A investigação dos depósitos da Lagoa Dourada iniciou-se com estudos paleoambientais através da análise dos microfósseis presentes nos sedimentos (diatomáceas, MORO, 1998, e palinórfos, LORSCHETTER; TAKEDA, 1995). Os estudos sedimentológicos e geológicos (MELO, 1999) visaram complementar os resultados dos estudos de microfósseis, de forma a apoiar as interpretações sobre as causas das variações nas comunidades observadas, e identificar possíveis indicadores de fenô-

menos geológicos e/ou mudanças paleoambientais e paleoclimáticas.

Os estudos realizados visaram, ainda, contribuir para a reconstituição paleoambiental e paleoclimática quaternária do Sul e Sudeste do Brasil, em situação geográfica de clima subtropical, sob influência dos efeitos do fenômeno *El Niño* e onde coexistem ecossistemas diversos, como a floresta ombrófila mista, campos abertos e cerrado. As depressões do tipo furnas, das quais a La-

goa Dourada é um exemplo, constituem sítios de deposição singulares para o registro das variações paleoclimáticas do passado recente, as quais, decifradas, deverão apoiar avaliações da influência humana no clima e previsões de mudanças futuras, naturais e induzidas.

METODOLOGIA

Para o estudo do preenchimento sedimentar da Lagoa Dourada, foi utilizado testemunho de sondagem coletado em 1991, por uma equipe de pesquisadores do Smithsonian Institute, da Ohio State University e da University of Cincinnati, juntamente com as Professoras Rosemeri Segegin Moro e Inês Janete M. Takeda, do Departamento de Biologia Geral da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. O testemunho, coletado com amostrador tipo Livingstone, abrangeu 12,2 m de espessura, sem atingir a base dos sedimentos.

As análises sedimentológicas compreenderam: microscopia eletrônica de varredura (MEV), realizada no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – IGUSP, no Instituto de Biociências e Ciências Exatas da UNESP e na Divisão de Química do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT; análises granulométricas (pipetagem e peneiramento) e mineralógicas dos grãos (microscópio petrográfico), realizadas no IGUSP; análise mineralógica através de difratometria de raios X, realizada no IGUSP; relações isotópicas de carbono (% em peso do C total e relação isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = \delta^{13}\text{C}$, em ‰ relativa ao padrão PDB), realizadas no Laboratório de Isótopos Ambientais da Universidade de Waterloo, no Canadá. Os intervalos de coleta de amostras no testemunho para as diferentes análises sedimentológicas não foram sistemáticos, tendo em vista a restrição de material disponível. A coleta procurou principalmente ser representativa das diferentes associações de diatomáceas. Por esse motivo, os resultados devem ser considerados exploratórios, orientativos de estudos complementares.

Foram realizados, ainda, levantamento bibliográfico e compilação de cartas geológicas preexistentes, levantamento de dados meteorológicos e fluviométricos do alto rio Tibagi, fotointerpretação (escala 1:25.000), análise de radiografias do testemunho de sondagem e levantamentos de campo na Lagoa Dourada e arredores.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, situada na porção centro-sul do Estado do Paraná, no compartimento geomorfológico denominado Segundo Planalto Paranaense, é apresentada na figura 1.

GEOMORFOLOGIA

O rio Tibagi tem suas nascentes nas bordas do

Segundo Planalto Paranaense. Esse planalto, com topos nivelados entre 1100 e 800 m e com suave caimento para oeste, constitui um dos compartimentos do relevo escalonado do Estado do Paraná.

Rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná, com algumas intrusivas básicas associadas, sustentam o Segundo Planalto Paranaense. Este é delimitado por dois degraus topográficos ("Escarpa Devoniana", a leste, e Serra Geral, a oeste), cada um com cerca de 300 m de desnível.

Uma feição típica do reverso da Escarpa Devoniana na borda do Segundo Planalto Paranaense é representada pelas "furnas", depressões erosivas que dão nome à Formação Furnas. Trata-se de feições de desabamento, atribuídas principalmente a fenômenos de erosão subterrânea do arenito, favorecida ao longo de estruturas rúpteis e sedimentares (MAACK, 1946 e 1956; SOARES, 1989; MELO, 1999). Existe cerca de uma centena de furnas conhecidas na região de afloramento do Arenito Furnas no Segundo Planalto Paranaense, as maiores com até três centenas de metros de diâmetro e profundidade conhecida de até 110 metros (figuras 2 e 3).

Durante a coleta do testemunho de sondagem na Lagoa Dourada, realizada em novembro de 1991, foi constatada, através de equipamento de sonar, uma lâmina d'água variando entre 0,4 e 5,4 m (MORO, 1998), a mesma que havia sido descrita por MAACK (1946). Essas cifras sugerem que, no geral, o assoreamento no período (1946-1991) não foi significativo.

A borda SW da lagoa dista cerca de 110 m, em linha reta, do leito do rio Guabirola, ao qual está conectada por um canal tortuoso com cerca de 220 m de extensão, com largura média da ordem de 2 m, e profundidade média da ordem de 1,5 m. A cota do nível d'água na lagoa é de 788,4 m s.n.m. (metros sobre o nível do mar), enquanto a cota do nível d'água normal do rio Guabirola no local é de 787,0 m s.n.m. Esse desnível, relativamente pequeno (1,4 m), justifica as freqüentes incursões de águas barrentas do rio Guabirola para o interior da Lagoa Dourada durante as cheias que seguem chuvas mais intensas (figura 4). No período 1974-98 observou-se média de 24,8 dias de cheias por ano, relativamente bem distribuídos por todos os meses (MELO, 1999).

A Lagoa Dourada é considerada como uma das seis "furnas" que ocorrem no Parque Estadual de Vila Velha (MAACK, 1956; SOARES, 1989, figuras 1 e 3), distinguindo-se das demais por se apresentar assoreada, o que se deve à sua proximidade atual com o rio Guabirola. A profundidade total conhecida é de, pelo menos, 40 m, dos quais 24 m de desnível topográfico, 4 m de lâmina d'água e 12 m de espessura de sedimentos atravessados durante a coleta do testemunho de sondagem, em que o substrato não foi atingido. A fuma n.º 1, a mais profunda, tem 111 m de profundidade.

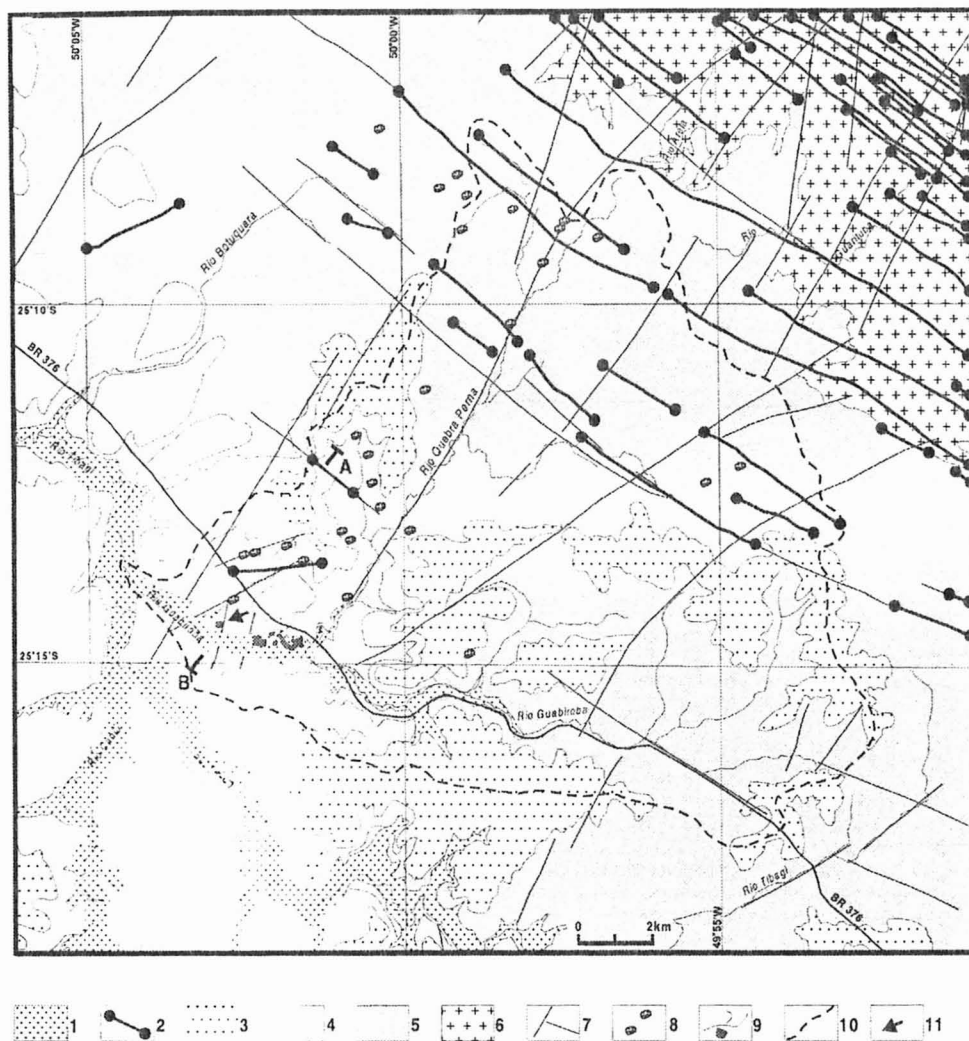


Figura 2: Mapa geológico da região da bacia hidrográfica do rio Guabirola e Lagoa Dourada. 1: aluviões quaternários; 2: diques de diabásio; 3: Grupo Itararé; 4: Formação Ponta Grossa; 5: Formação Furnas; 6: embasamento; 7: principais estruturas (falhas e fraturas); 8: furnas; 9: rios e lagos; 10: limites da bacia hidrográfica do rio Guabirola; 11: Lagoa Dourada; A-B: posição da seção esquemática da figura 3. Compilado de FICK et al., 1965; TREIN et al., 1967; MAIA & SOARES, 1971; AGUIAR NETO, 1977; e SOARES, 1989. *Geological map of Lagoa Dourada and Guabirola river hydrographical basin region; 1: quaternary alluviums; 2: diabase dikes; 3: Itararé Group; 4: Ponta Grossa Formation; 5: Furnas Formation; 6: proterozoic basement; 7: main geological structures (faults and fractures); 8: "furnas"; 9: rivers and ponds; 10: limits of Guabirola river hydrographical basin; 11: location of the Lagoa Dourada.; A-B: cross-section on figure 3.*

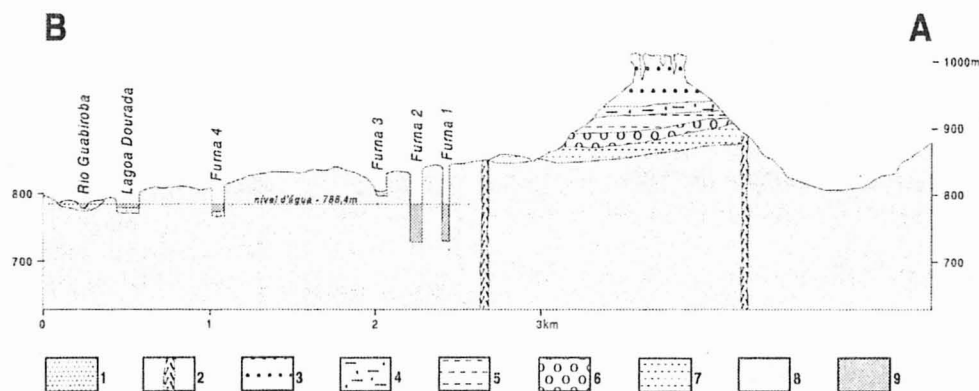


Figura 3: Seção geológica esquemática A-B (localização na figura 2) através das furnas e da Lagoa Dourada. 1: sedimentos quaternários; 2: diques de diabásio; 3: Arenito Vila Velha; 4: arenitos argilosos do Grupo Itararé; 5: argilito e folhelho do Grupo Itararé; 6: arenitos variegados do Grupo Itararé; 7: folhelhos da Formação Ponta Grossa; 8: Arenito Furnas; 9: lâmina d'água. Modificado de MAACK, 1946. *Schematic cross-section A-B (location on figure 2) crossing the furnas and the Lagoa Dourada. 1: quaternary sediments; 2: diabase dykes; 3: Vila Velha Sandstone; 4: clayey sandstones of the Itararé Group; 5: mudstone and shale of the Itararé Group; 6: variegated sandstones of the Itararé Group; 7: Ponta Grossa Formation; 8: Furnas Sandstone; 9: water blade. Modified from MAACK, 1946.*

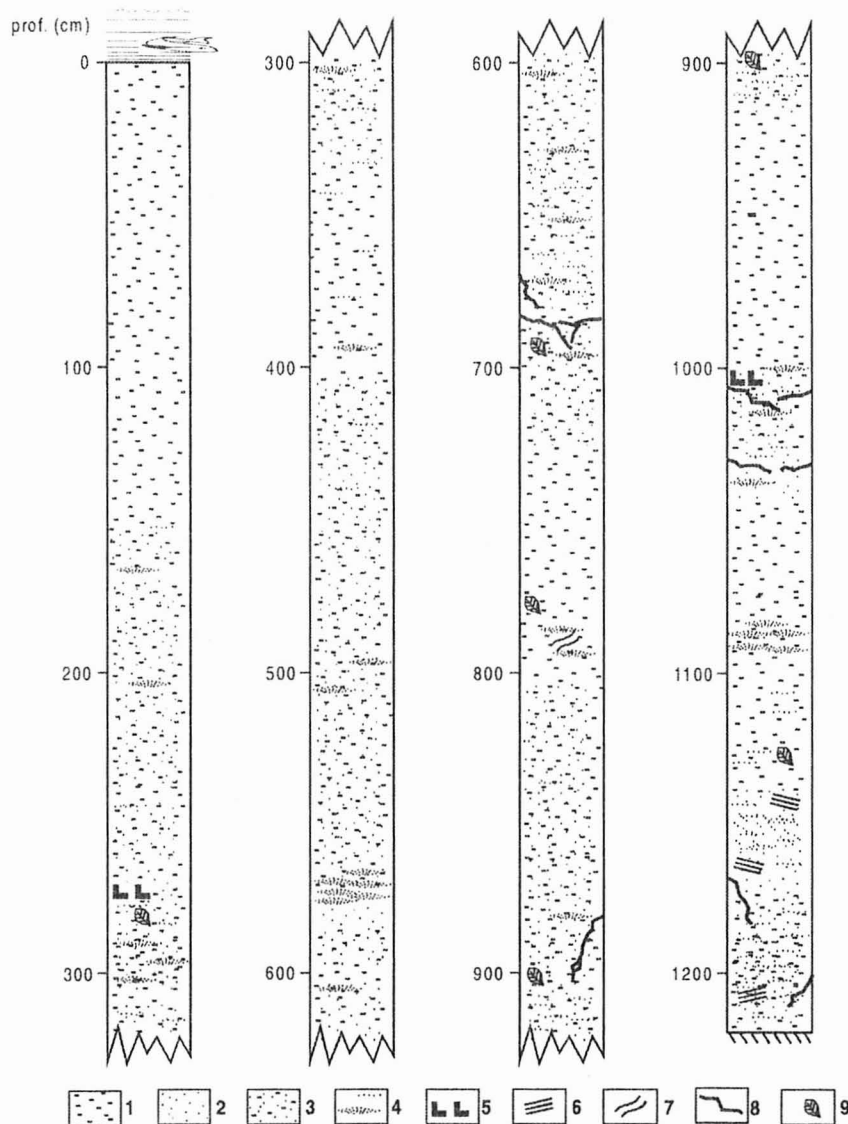


Figura 5: Testemunho de sondagem dos sedimentos da Lagoa Dourada. 1: argila; 2: areia muito fina; 3: argila com pouca areia muito fina; 4: lâminas milimétricas e lentes centimétricas de areia muito fina; 5: gipso; 6: inclinação da laminação; 7: deformação da laminação; 8: rupturas; 9: restos vegetais. Core sample of Lagoa Dourada sediments. 1: clay; 2: very fine sand; 3: clay with a little very fine sand; 4: millimetric layers and centimetric lenses of very fine sand; 5: gypsum; 6: layer tilting; 7: deformation of layers; 8: ruptures; 9: vegetal remains.

ÁREAS-FONTES

Considerando-se que a Lagoa Dourada recebe águas de inundação do rio Guabiroba, as unidades geológicas que ocorrem na bacia hidrográfica desse rio, a montante da lagoa (figura 2), constituem a principal área-fonte de seus sedimentos. Pode-se considerar ainda a existência de uma variação lateral significativa na proveniência e constituição dos sedimentos, verificada nos trabalhos de campo. Observam-se lobos essencialmente arenosos, derivados principalmente da desagregação do Arenito Furnas, com uma extensão superficial visível de menos de uma dezena de metros. Eles ocorrem junto a surgências de águas subterrâneas límpidas, na borda norte da lagoa (figura 4).

No restante da lagoa, predominam sedimentos finos (argila, silte e pouca areia muito fina), trazidos principalmente em suspensão durante as cheias do rio Guabiroba.

Observam-se também alguns bancos de assoreamento recentes, formados por material argiloso vermelho-amarelado, proveniente de sedimentos aluviais na borda sul da lagoa. Tais bancos são originários de processos erosivos marginais (erosão laminar, sulcos de erosão), em decorrência das trilhas e áreas de pisoteio, que são consequência da intensa visitação turística concentrada naquele local.

A presença de mata ciliar natural nos demais locais das bordas da lagoa, apresentando inclusive *Araucaria*, mirtáceas, lauráceas, palmeiras e taquaras,

protege o solo de processos erosivos, restringindo o aporte de sedimentos das encostas marginais diretamente para a lagoa.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO TESTEMUNHO ESTUDADO

Os sedimentos do testemunho da Lagoa Dourada analisado (figura 5) apresentam variação textural normalmente acompanhada de discreta variação de coloração. Predominam materiais argilosos a argilo-arenosos muito finos, com coloração cinza escura, com variações para cinza-amarelado, cinza-amarronzado, cinza-enegrecido e negro. Raras e delgadas intercalações de areia muito fina ocorrem, sobretudo na metade inferior do testemunho. Nos 40 centímetros do topo do testemunho, a coloração adquire tonalidade mais clara, cinza-amarelada. O material é muito plástico, pela presença de elevadas proporções de colóides orgânicos e minerais e altos teores de água.

As estruturas visíveis nos sedimentos da Lagoa Dourada são:

- lâminas milimétricas de areia muito fina em meio a material predominantemente argiloso – elas ocorrem na maior parte do testemunho, só desaparecendo em alguns níveis onde só ocorre argila;
- lentes centimétricas de areia muito fina em meio a material laminado argila/areia muito fina ou em meio a material argiloso – aparecem em alguns níveis do testemunho, onde o teor de areia fina é maior;
- inclinação da laminação (até 13°), observada somente na base (entre 11,00 e 11,20 m) do testemunho;
- deformação (dobramentos suaves) da laminação, observada em lâminas e lentes isoladas em meio a material argiloso, em um único

local, a cerca de oito metros de profundidade; e) rupturas do material sedimentar, usualmente acompanhando a borda do testemunho – começam a aparecer a cerca de sete metros de profundidade.

Foram observados também restos vegetais (folhas e fragmentos de caules) em diversas profundidades. As estruturas observadas parecem refletir processos contínuos, sem hiatos ou deformações significativos durante ou após a sedimentação. As lâminas e lentes arenosas e a alternância de leitos mais ou menos argilosos podem estar refletindo a incursão e refluxo das águas do rio Guabirola durante as cheias, quando haveria velocidade de fluxo e energia suficiente para o transporte da areia.

A inclinação da laminação, observada na base do testemunho, pode ser devida à compactação diferencial dos sedimentos, originalmente muito plásticos, pelo teor de água, argila e matéria orgânica coloidal. A deformação de lâminas e lentes arenosas contidas em material essencialmente argiloso também pode ser explicada pela diferença de plasticidade dos dois materiais e compactação diferencial. Tanto essa deformação quanto a inclinação da laminação ocorrem em profundidades maiores no testemunho, nas quais já se observa algum efeito da compactação.

As rupturas do material sedimentar observadas também ocorrem somente na metade inferior do testemunho, onde o material já mostra o efeito da compactação, apresentando comportamento mais rígido que a metade superior. Aparentemente as rupturas são devidas à cravação do amostrador nos materiais mais compactados e menos plásticos.

GRANULOMETRIA

A tabela 1 apresenta os resultados de análises granulométricas das rochas sedimentares das áreas-fon-

Tabela 1: Granulometria de rochas sedimentares das áreas-fontes da Lagoa Dourada e de sedimentos arenosos da superfície de fundo junto às surgências de águas subterrâneas na borda norte da lagoa. Observações: G: grânulo; Amg: areia muito grossa; Ag: areia grossa; Am: areia média; Af: areia fina; Amf: areia muito fina; s: silte ou siltoso; a: argila ou argiloso; A: areia ou arenoso. *Grain size distribution of the source rocks of the sediments of the Lagoa Dourada and of sandy sediments in the bottom surface near to the springs of underground waters at the northern border of the pond. N.B.: G= granule; Amg= very coarse sand; Ag= coarse sand; Am= medium sand; Af= fine sand; Amf= very fine sand; s= silt or silty; a= clay or clayey; A= sand or sandy.*

amostra	unidade	litotipo	faixa granulométrica (%)								classif. *1
			G	Amg	Ag	Am	Af	Amf	s	a	
LD-06A	Furnas	aren. arg.	0,02	0,27	1,53	7,64	11,94	5,12	45,64	27,84	saA
LD-06B	Furnas	arenito	0	1,17	30,79	38,86	13,42	6,01	7,57	2,18	A
LD-09B	Itararé	arenito	0,04	3,36	27,59	39,02	19,48	1,68	3,22	5,61	A
LD-10B	Itararé	diamictito	0	1,17	4,59	11,13	16,61	12,54	45,88	8,08	As
LD-12A	P. Grossa	folhelho	0	0	1,46	5,87	6,34	5,82	56,44	24,07	sa
LD-01C	fundo lagoa	areia	0	0,99	20,17	67,16	10,70	0,98	0	0	A

*1 Classificação segundo SHEPARD (1954).

tes e da superfície de fundo da Lagoa Dourada. Na tabela 5, são apresentadas avaliações táteis da textura dos sedimentos do testemunho da Lagoa Dourada, visto que para eles os resultados das análises granulométrica foram distorcidos por efeito de floculação dos finos pelos abundantes colóides orgânicos e minerais.

Os dados da tabela 1 mostram que as rochas das áreas-fontes podem apresentar granulação variada, ainda mais se se considerar que nos afloramentos podem também aparecer conglomerados e arenitos conglomeráticos no Grupo Itararé.

As observações do testemunho de sondagem (figura 5) e dos sedimentos da superfície de fundo da La-

goa Dourada mostram que o material é predominantemente silto-argiloso nos dois terços de sul e sudeste, passando a arenoso no terço norte e noroeste (figura 4).

MINERALOGIA DOS GRÃOS

A tabela 2 apresenta dados de minerais pesados das rochas sedimentares das áreas-fontes da Lagoa Dourada. Na tabela 3, são apresentados dados de mineralogia dos grãos presentes nos sedimentos da Lagoa Dourada, sendo seis amostras provenientes do testemunho de sondagem e uma amostra de areia coletada junto a uma das fontes de águas subterrâneas na borda norte da lagoa.

Tabela 2: Minerais pesados ($d > 2,85 \text{ g/cm}^3$) de amostras de rochas sedimentares das áreas-fontes da Lagoa Dourada. Nota para as tabelas 1 e 2: Frações estudadas: areia fina = f (2-3 phi) e areia muito fina = mf (3-4 phi); Total de contagem de grãos transparentes não micáceos maior ou igual a 100, exceto na amostra LD-06B f (64 grãos); OPC = opacos; TRA = transparentes; ZIR = zircão; TUR = turmalina; RUT = rutilo; ANA = anatásio; EST = estauroilite; EPI = epidoto; MON = monazita; TIT = titanita; SIL = sillimanita; CIA = cianita; COR = coríndon; HOR = hornblenda; HIP = hiperstênio; ALT = alteritos (minerais pesados alterados); X = mineral isotrópico indeterminado; iZTR = somatória dos minerais ultraestáveis; iMET = somatória dos minerais metaestáveis; iINS = somatória dos minerais instáveis. *Heavy minerals ($d > 2,85 \text{ g/cm}^3$) from sedimentary rock samples in the source areas of Lagoa Dourada. N.B. (for tables 1 and 2): Fractions studied: fine sand = f (2-3 phi) and very fine sand = vf (3-4 phi); total counting of non-micaceous transparent grains greater or equal to 100, except in sample LD-06B f (64 grains); OPC = opaques; TRA = transparent; ZIR = zircon; TUR = tourmaline; RUT = rutile; ANA = anatase; EST = staurolite; EPI = epidote; MON = monazite; TIT = titanite; SIL = sillimanite; CIA = kyanite; COR = corundum; HOR = hornblende; HIP = hypersthene; ALT = alterites (weathered heavy minerals); X = indeterminate isotopic mineral; iZTR = total sum of ultrastable minerals; iMET = total sum of metastable minerals; iINS = total sum of unstable minerals.*

amostra	unidade	litotipo	%	%	% dos minerais transparentes não micáceos														índ. maturidade			
					OPC	TRA	ZIR	TUR	RUT	ANA	EST	EPI	MON	TIT	SIL	CIA	COR	HOR	HIP	ALT	X	iZTR
LD-06A f	Furnas	arenito	18	82	2,7	74,1	21,4	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	98,2	0,9	0,9
LD-06A mf	Furnas	arenito	12	88	18,1	38,1	40,0	0	0	1,0	0	0	0	1,0	1,0	1,0	0	0	0	96,2	2,9	1,0
LD-06B f	Furnas	arenito	41	59	2,0	81,4	12,7	0	2,0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	1,0	0	96,1	2,0	2,0
LD-06B mf	Furnas	arenito	30	70	24,5	48,0	19,6	2,9	2,0	1,0	0	0	1,0	0	0	1,0	0	0	0	94,9	4,0	1,0
LD-09B f	Itararé	arenito	12	88	27,6	60,0	11,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	99,0	0	1,0
LD-09B mf	Itararé	arenito	30	70	66,7	17,9	12,0	0,9	0	0	0,9	0	0	0	0	0,9	0	0,9	0	97,4	0,9	1,7
LD-10B f	Itararé	diamictito	87	13	14,3	68,3	1,6	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	9,5	84,1	11,1	4,8
LD-10B mf	Itararé	diamictito	86	14	43,0	40,2	5,6	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	10,3	88,8	11,2	0
LD-12A f	P. Grossa	folhelho	apenas agregados ferruginosos																			
LD-12A mf	P. Grossa	folhelho	apenas agregados ferruginosos																			

Características comuns a todas as amostras estudadas foram a presença das três espécies de minerais detríticos ultraestáveis, o índice ZTR elevado (sempre superior a 80%) e a baixa diversidade mineralógica (no máximo, oito espécies por amostra). Agregados criptocristalinos de minerais de titânio (leucóxênio) ocorrem na maioria das amostras, em frequências de contagem total que variam de 6 até 55%. A identificação da natureza química desse material é indicada por sua associação, no mesmo grão, com microcristais de anatásio, mineral que ocorre também sob a forma de cristais individuais euédricos angulosos. A frequência de contagem de anatásio atinge até 7%, sendo, em média, mais alta nas amostras dos sedimentos da Lagoa Dourada que nas amostras de rochas paleozóicas das áreas-fontes. Dentre as variedades de grãos de turmalina encontradas, as ricas em inclusões destacam-se pela abundância. Foram encontrados também dois grãos de areia fina de turmalina

com crescimento secundário arredondado, um em arenito da Formação Furnas (LD-06A) e outro em sedimento da Lagoa Dourada (LD-40T).

Na comparação entre as amostras das possíveis rochas-fontes (Formação Furnas *versus* Grupo Itararé), nota-se um enriquecimento relativo do Grupo Itararé em zircão, em detrimento das concentrações de turmalina e/ou rutilo. Os sedimentos da Lagoa Dourada, confrontados com as rochas paleozóicas, tendem a apresentar maiores concentrações de minerais metaestáveis, com destaque para coríndon e epidoto. Nas amostras de rochas paleozóicas estudadas, o coríndon só foi detectado na Formação Furnas e o epidoto, sempre em pequena proporção, é mais comum na Formação Furnas que no Grupo Itararé.

Na comparação da amostra da surgência de água subterrânea (LD-01C) existente na Lagoa Dourada com as amostras do testemunho de sondagem, nota-se o en-

Tabela 3: Minerais pesados ($d > 2,85 \text{ g/cm}^3$) de amostras de sedimentos da Lagoa Dourada (ver notas na tabela 1). *Heavy minerals ($d > 2,85 \text{ g/cm}^3$) from sediments of the Lagoa Dourada (see notes on table 1).*

amostra	local	prof. (cm)	%	%	% dos minerais transparentes não micáceos															índ. maturidade		
					ZIR	TUR	RUT	ANA	EST	EPI	MON	TIT	SIL	CIA	COR	HOR	HIP	ALT	X	iZTR	iMET	iINS
LD-01C f	surgência	superfície	10	90	17,7	51,0	17,7	4,2	0	8,3	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	90,2	9,8	0
LD-01C mf	surgência	superfície	5	95	62,4	13,8	10,1	3,7	0	8,3	0	0	0	0	1,8	0	0	0	0	89,5	10,5	0
LD-37T f	testemunho	560	14	86	10,7	70,7	8,0	0	2,7	1,3	0	0	0	0	5,3	0	0	1,3	0	89,3	9,3	1,3
LD-37T mf	testemunho	560	7	93	40,9	39,1	14,8	1,7	0	0,9	0	0	0	0	1,7	0	0	0,9	0	96,5	2,7	0,9
LD-39T f	testemunho	675	16	84	9,6	68,4	8,8	0,9	0,9	6,1	0	0	0	0	3,5	0	0	0,9	0	87,6	10,6	1,8
LD-39T mf	testemunho	675	8	92	36,4	36,4	12,7	7,3	0	4,5	0	0	0	0	1,8	0	0	0,9	0	92,2	6,9	1,0
LD-40T f	testemunho	1015	9	91	7,7	78,0	7,7	1,1	0	1,1	0	0	0	0	4,4	0	0	0	0	94,4	5,6	0
LD-40T mf	testemunho	1015	8	92	36,6	44,6	6,9	5,0	0	3,0	0	0	0	0	4,0	0	0	0	0	92,7	7,3	0
LD-45T f	testemunho	1090	13	87	4,0	91,0	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	99,0	0	1,0
LD-45T mf	testemunho	1090	2	98	40,0	36,0	17,0	3,0	0	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95,9	4,1	1,0
LD-41T f	testemunho	1165	22	78	10,9	88,1	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
LD-41T mf	testemunho	1165	8	92	49,1	29,1	11,8	1,8	0	5,5	0	0,9	0	0	0	0,9	0	0,9	0	91,7	6,5	1,9
LD-42T f	testemunho	1210	4	96	5,8	82,7	5,8	0	0	0	0	0	0	0	3,8	0	1,0	1,0	0	94,2	3,8	1,9
LD-42T mf	testemunho	1210	8	92	37,0	45,0	7,0	5,0	0	3,0	0	0	0	0	3,0	0	0	0	0	93,7	6,3	0

riquecimento relativo da primeira em zircão, em detrimento de turmalina e/ou rutilo, e em epídoto. Nota-se também a presença de silimanita e coríndon, dois minerais detectados apenas na Formação Furnas.

O alto índice ZTR e a baixa diversidade mineralógica caracterizam a maturidade química elevada das rochas e sedimentos estudados. A maturidade mineralógica encontrada deve ser atribuída antes a fatores ligados à herança da área fonte e/ou à história pós-deposicional que a condições de deposição.

A associação mineralógica entre turmalina rica em inclusões, turmalina com crescimento secundário, estauroilita, cianita, silimanita, coríndon e epídoto permite interpretar o predomínio de rochas metamórficas de grau médio a alto na derivação primária da Formação Furnas na região. Para o Grupo Itararé, devido à menor diversidade mineralógica, as evidências no mesmo sentido são menos conclusivas. Nos sedimentos do testemunho de sondagem, o grau de diversificação da assembléia e a presença de epídoto e turmalina com recrescimento tornam a assembléia de pesados aparentemente mais próxima da Formação Furnas que do Grupo Itararé.

Nos sedimentos da surgência de água subterrânea, a ocorrência de silimanita e coríndon aponta também derivação a partir da Formação Furnas. Epídoto e anatásio, ambos com presença acentuada nos sedimentos da surgência, podem ter sido fornecidos preferencialmente devido à sua origem e forma de ocorrência, pois constituem preenchimento, diagenético ou hidrotermal, dos interstícios atravessados pelo fluxo subterrâneo.

Uma outra possibilidade é que a associação epídoto-coríndon, observada nos sedimentos da surgência de água subterrânea, esteja refletindo contribuição de rochas metamórficas de baixo grau ricas em alumínio, represen-

tadas na região por metassedimentos do Supergrupo Açungui, situados no embasamento das unidades da Bacia do Paraná. Nesse caso, seria necessário admitir que parte da água subterrânea que ressurge na Lagoa Dourada pudesse provir de grandes profundidades (mais de 300 metros, espessura da Formação Furnas na área), transportando grãos dos metassedimentos subjacentes. Outros argumentos favoráveis a essa hipótese são:

- a) a localização das depressões tipo furnas (entre elas a Lagoa Dourada) preferencialmente sobre uma faixa de terreno de direção NE, que sobrepõe-se ao prolongamento, dos metassedimentos da Faixa Itaiacoca, que também apresenta orientação NE, para sob as rochas sedimentares da Bacia do Paraná (MELO, 1999);
- b) as temperaturas das águas das surgências na Lagoa Dourada (PRESTES, 1991; MORO, 1998) são superiores às temperaturas observadas no fundo das águas da fuma n.º 1 do Parque Estadual de Vila Velha (SOARES; REBELLO, 1991), o que sugere proveniência de grandes profundidades.

ARGILOMINERAIS

Rochas sãs da área da bacia hidrográfica do Rio Guabirola podem apresentar illita, clorita, interestratificados illita-esmectita e caulinita, argilominerais para os quais admitem-se as seguintes origens (RAMOS; FORMOSO, 1975):

- a) illita: normalmente detrítica; lixiviada pode conduzir à formação de esmectita e, progredindo a alteração, caulinita;
- b) clorita: detrítica por excelência; em sedimentos

- marinhos, durante a diagênese, cloritas degradadas podem readquirir o Mg^{++} , recristalizando-se;
- c) esmectita: pode ser detrítica, a partir de solos de material vulcânico de natureza básica em ambiente não lixiviante; a associação com minerais autígenos sugere que possa também ser formada por precipitação química;
- d) interestratificados illita-esmectita: podem resultar da lixiviação da illita ou da diagênese da esmectita;
- e) caulinita: detrítica ou neoformada, em ambos os casos como produto de alteração em ambientes lixiviantes, tais como solos bem drenados em climas úmidos.

RIGHI e MEUNIER (1995) relataram que, em solos temperados ácidos, a clorita, presente no horizonte C, encontra-se muito rarefeita no horizonte A superficial, onde aparecem interestratificados mica-esmectita. O intemperismo em áreas tropicais levaria à formação seja de caulinita (a partir de illita) ou gibbsita (a partir de clorita), sendo que a sucessão normal mostra a evolução da caulinita para gibbsita. Ainda para os mesmos autores, em solos sob condições climáticas tropicais com chuvas intensas regularmente distribuídas ao longo do ano (caso da Lagoa Dourada e região), a formação da caulinita é favorecida, enquanto chuvas mais escassas concentradas em uma estação úmida curta, seguida de perío-

odos secos com intensa evaporação, favorecem a formação de esmectitas.

Uma seqüência provável de evolução desses argilominerais é:

clorita $\Rightarrow$ interestratificados (illita-esmectita) $\Rightarrow$ caulinita

Na tabela 4, são apresentados resultados da análise mineralógica, incluindo argilominerais, de rochas sedimentares presentes em afloramentos na bacia hidrográfica do rio Guabirola, área-fonte dos sedimentos que preenchem a Lagoa Dourada. Esses resultados mostram que a clorita aparece em folhelhos pouco alterados da Formação Ponta Grossa (amostra LD-12A). Caulinita e illita aparecem tanto na Formação Furnas quanto no Grupo Itararé.

Na figura 6, são apresentadas algumas características dos minerais presentes nas rochas sedimentares das áreas-fontes, conforme observáveis nas imagens MEV.

Nos sedimentos da Lagoa Dourada, só foram encontradas caulinita e illita (esta em uma amostra) entre os argilominerais (tabela 5 e figura 7). Se fases paleoclimáticas mais secas existiram durante a sedimentação, o que é sugerido por outros indícios, ou elas não propiciaram a erosão e deposição dos argilominerais mais instáveis sem alteração, ou as análises realizadas não foram suficientes para detectá-los.

Tabela 4: Composição mineralógica de rochas sedimentares das áreas-fontes da Lagoa Dourada. Convenções: qz: quartzo; I: illita; K: caulinita; C: clorita; fd: feldspato; mi: mica; eu: euédrico; aut: autígeno; detr: detrítico. *Mineralogical composition of sedimentary rocks of the Lagoa Dourada source areas. Conventions: qz: quartz; I: illite; K: kaolinite; C: chlorite; fd: feldspar; mi: mica; eu: euedral; aut: authigenic; detr: detrital.*

amostra	unidade	litotipo	método	minerais
LD-01B	Furnas	arenito	MEV (IGUSP)	qz eu, I aut, K aut, fd, mi
LD-06A	Furnas	arenito caulínico	rX (IGUSP)	qz, K, I
LD-06A	Furnas	arenito caulínico	MEV e EDS (IGUSP)	I aut, I detr, K aut
LD-06B	Furnas	arenito	rX (IGUSP)	qz, K
LD-06B	Furnas	arenito	MEV (IGUSP)	qz eu, K aut
LD-09A	Itararé	intraclasto fino	rX (IGUSP)	qz, K, I
LD-09A	Itararé	intraclasto fino	MEV e EDS (IGUSP)	I detr, I aut, K aut
LD-09B	Itararé	arenito	rX (IGUSP)	qz
LD-09D	Itararé	intraclasto fino	rX (IGUSP)	qz, K, I
LD-09E	Itararé	arenito	rX (IGUSP)	qz
LD-10A	Itararé	arenito	rX (IGUSP)	qz
LD-10A	Itararé	arenito	EDS (IGUSP)	I detr, I aut
LD-12A	Ponta Grossa	folhelho	rX (IGUSP)	C, I
LD-12A	Ponta Grossa	folhelho	MEV e EDS (IGUSP)	I detr, K aut
LD-12B	solo P. Grossa	solo	MEV e EDS(IGUSP)	K aut, I detr

MINERAIS AUTÍGENOS

Os minerais autígenos mais significativos detectados nas análises realizadas foram o gipso (amostras LD-04BT e LD-40AT, figuras 7-C e 7-D) e a pirita (amostra LD-04AT, tabela 5 e figura 7-E). Aparecem em muito pou-

ca quantidade, em cristais microscópicos. Outro mineral possivelmente autígeno é o anatásio, com origem por diagênese precoce enfatizada por MORAD e ALDAHAN (1986), e, na Lagoa Dourada, provavelmente em condições redutoras.

As amostras LD-04BT e LD-04AT provêm do mes-

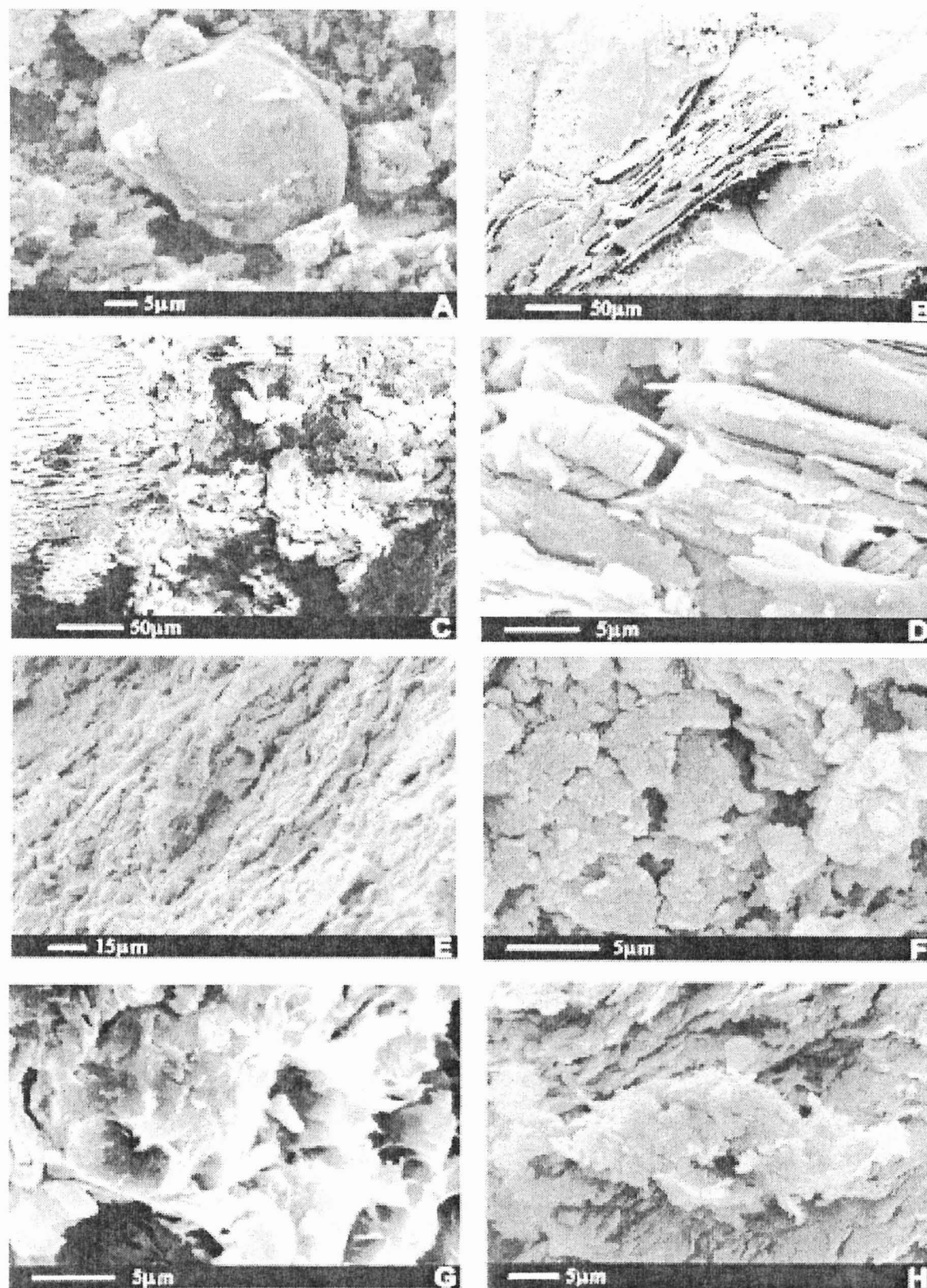


Figura 6: Fotos MEV das rochas sedimentares das áreas fontes da Lagoa Dourada. A: quartzo euédrico (amostra LD-06A, Arenito Furnas); B: mica em desagregação e quartzo euédrico (LD-01B, Arenito Furnas); C: feldspato em decomposição e caulinitas neoformadas sanfonadas (LD-01B, Arenito Furnas); D: caulinita sanfonada e illita neoformadas (LD-06A, Arenito Furnas); E: illita de aspecto detritico (LD-12A, Folhelho Ponta Grossa); F: caulinita neoformada globular (LD-12A, Folhelho Ponta Grossa); G: illita neoformada (LD-10B, diamictito do Grupo Itararé); H: illita neoformada (LD-09A, Arenito Vila Velha, Grupo Itararé). SEM images of sedimentary rocks of source areas of the Lagoa Dourada. A: euhedral quartz (sample LD-06A, Furnas Sandstone); B: weathered mica and euhedral quartz (LD-01B, Furnas Sandstone); C: weathered feldspar and books of authigenic kaolinite (LD-01B, Furnas Sandstone); D: authigenic illite scales and books of kaolinite (LD-06A, Furnas Sandstone); E: detrital illite (LD-12A, shale of the Ponta Grossa Formation); F: globular authigenic kaolinite (LD-12A, shale of the Ponta Grossa Formation); G: authigenic illite (LD-10B, diamictite of the Itararé Group); H: authigenic illite (LD-09A, Vila Velha Sandstone, Itararé Group).

Tabela 5: Composição mineralógica de sedimentos do testemunho da Lagoa Dourada. Convenções: K detr: caulinita detrítica; qz: quartzo; l: illita; mu: muscovita; py: pirita; gy: gipso. *Mineralogical composition of sediments from the core sampling of Lagoa Dourada. Conventions: K detr: detrital kaolinite; qz: quartz; l: illite; mu: muscovite; py: pyrite; gy: gypsum.*

amostra	prof. (cm)	material	método	minerais
LD-01AT	82	argila arenosa	rX (IGUSP)	qz, K
LD-01AT	82	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-02AT	176	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-03AT	203	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-04AT	278	argila arenosa	rX (IGUSP)	qz, K
LD-04AT	278	argila arenosa	MEV (UNESP)	py, K detr
LD-04BT	278	argila arenosa	EDS (IPT)	gy
LD-05AT	371	argila	MEV (UNESP)	K detr
LD-06AT	530	argila arenosa	MEV (UNESP)	qz, K detr
LD-10AT	741	argila arenosa	rX (IGUSP)	qz, K
LD-07AT	614	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-08AT	640	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-09AT	665	argila	MEV (UNESP)	K detr
LD-10BT	741	argila arenosa	rX (IGUSP)	qz, mu, K
LD-10AT	741	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-11AT	788	argila	MEV (UNESP)	K detr
LD-12AT	914	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-13AT	969	argila	MEV (UNESP)	K detr
LD-31AT	1001	argila	MEV (UNESP)	K detr
LD-40AT	1010	argila	rX (IGUSP)	qz, gy, K, l
LD-15AT	1015	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-45AT	1089	areia argilosa	rX (IGUSP)	qz, K
LD-16AT	1101	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-17AT	1144	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-41AT	1163	areia	rX (IGUSP)	qz, K
LD-19AT	1195	argila arenosa	MEV (UNESP)	K detr
LD-20AT	1207	argila arenosa	rX (IGUSP)	qz, K
LD-42T	1212	areia argilosa	rX (IGUSP)	qz

mo nível no testemunho (278 cm), sugerindo associação genética. O gipso aparece na forma fibrosa (figura 7-C) e prismática (figura 7-D). A pirita, identificada pelo hábito (segundo WELTON, 1984), aparece na forma de microscópicos cristais euédricos octaédricos (figura 7-E), na profundidade de 1010 cm.

O gipso é um dos primeiros evaporitos a se formar a partir de salmouras, quando a salinidade aumenta por efeito da evaporação (FRIEDMAN et al., 1992). A presença de gipso nos sedimentos da Lagoa Dourada pode, assim, estar marcando eventos de aumento da evaporação, em fases climáticas mais secas. Nesse caso, a presença de gipso deveria marcar fases de maior alcalinidade das águas.

Na profundidade de 1010 cm, não ocorrem diatomáceas no testemunho, mas parâmetros físico-químicos (teores de água, Ca, K, Mg e P) levaram MORO (1998 e [19-]) a interpretar aridez máxima para o intervalo registrado no testemunho estudado. A associação de pirita e gipso na profundidade de 278 cm converge para a interpretação de fases de aumento da salinidade.

ISÓTOPOS DE CARBONO

Nas análises do conteúdo em carbono, realizadas nas amostras dos sedimentos da Lagoa Dourada (figura 8), viu-se principalmente, numa investigação inicial em caráter exploratório, examinar a possibilidade de os resultados obtidos apoiarem interpretações paleoambientais (MELO, 1999).

Os valores de carbono total (% em peso) mostram tendência geral de diminuição da proporção nos sedimentos mais profundos e mais antigos, nos quais os processos de decomposição tiveram mais tempo de atuar. É possível distinguir três “ciclos” de aumento das taxas de carbono total da base para o topo dos sedimentos, que aparentemente coincidem com o aumento de $\delta^{13}\text{C}$. Esses “ciclos” são:

- 1) entre 1194,5 (LA-19) e 1143,5 cm (LA-17);
- 2) entre 1100,5 (LA-16) e 923,5 cm (LA-12);
- 3) entre 664,5 (LA-09) e 82,0 cm (LA-01).

Diversas hipóteses podem explicar a existência de tais “ciclos”:

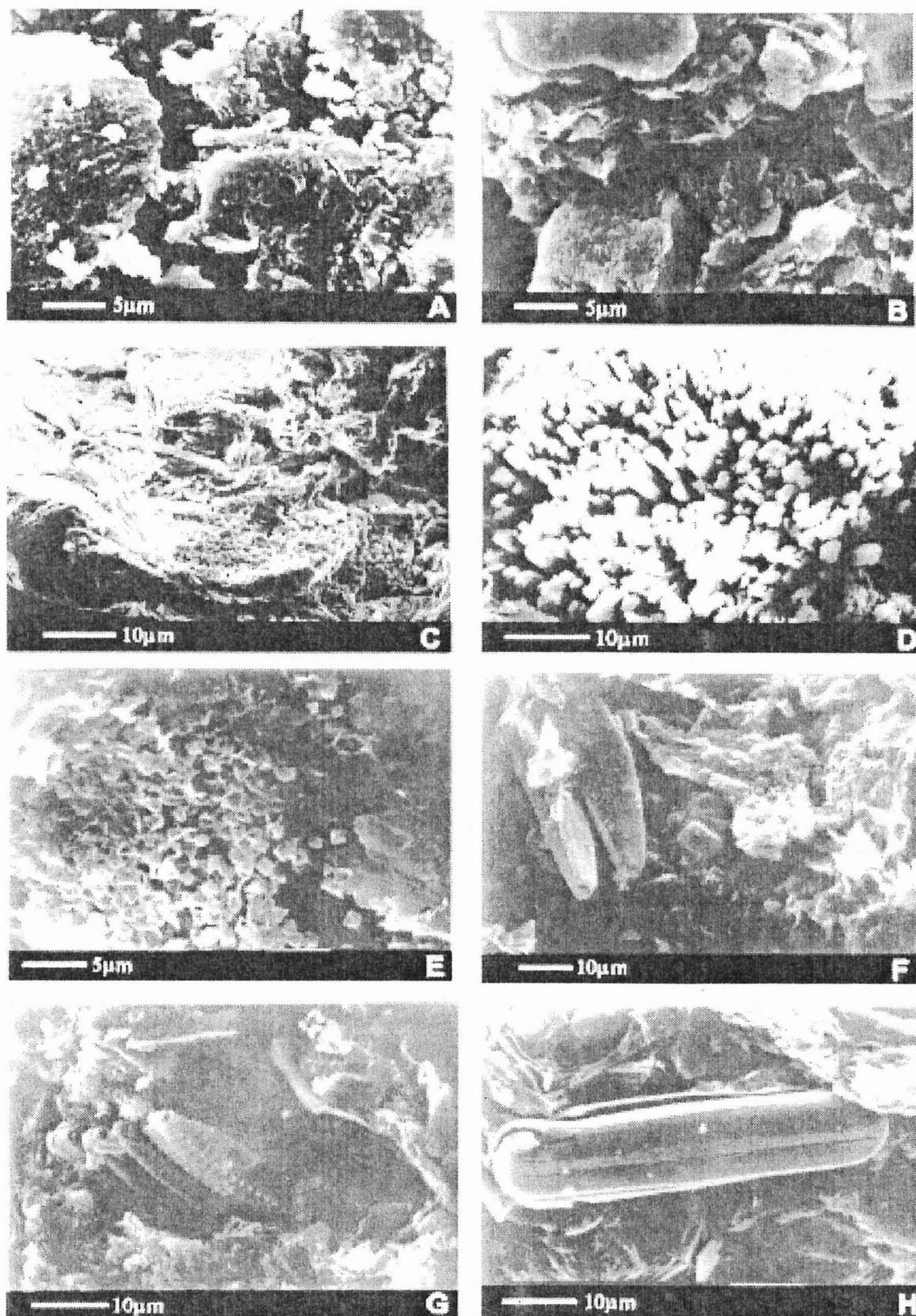


Figura 7: Fotos MEV dos sedimentos do testemunho da Lagoa Dourada. A: caulinita de aspecto detrítico (amostra LD-01AT, 82 cm); B: caulinita de aspecto detrítico e fragmentos de diatomáceas (LD-06AT, 530 cm); C: gipso fibroso (LD-04AT, 278 cm); D: gipso prismático (LD-04AT, 278 cm); E: pirita octaédrica (LD-04AT, 278 cm); F: caulinita detrítica e diatomáceas (LD-05AT, 371 cm); G: caulinita detrítica e diatomáceas (LD-20AT, 1207 cm); H: caulinitas detríticas e diatomáceas (LD-08AT, 640 cm). SEM images of sediments in the core sample of the Lagoa Dourada. A: detrital kaolinite (sample LD-01AT, 82 cm); B: detrital kaolinite and diatom fragments (LD-06AT, 530 cm); C: fibrous gypsum (LD-04AT, 278 cm); D: prismatic gypsum (LD-04AT, 278 cm); E: octahedral pyrite (LD-04AT, 278 cm); F: detrital kaolinite and diatoms (LD-05AT, 371 cm); G: detrital kaolinite and diatoms (LD-20AT, 1207 cm); H: detrital kaolinite and diatoms (LD-08AT, 640 cm).

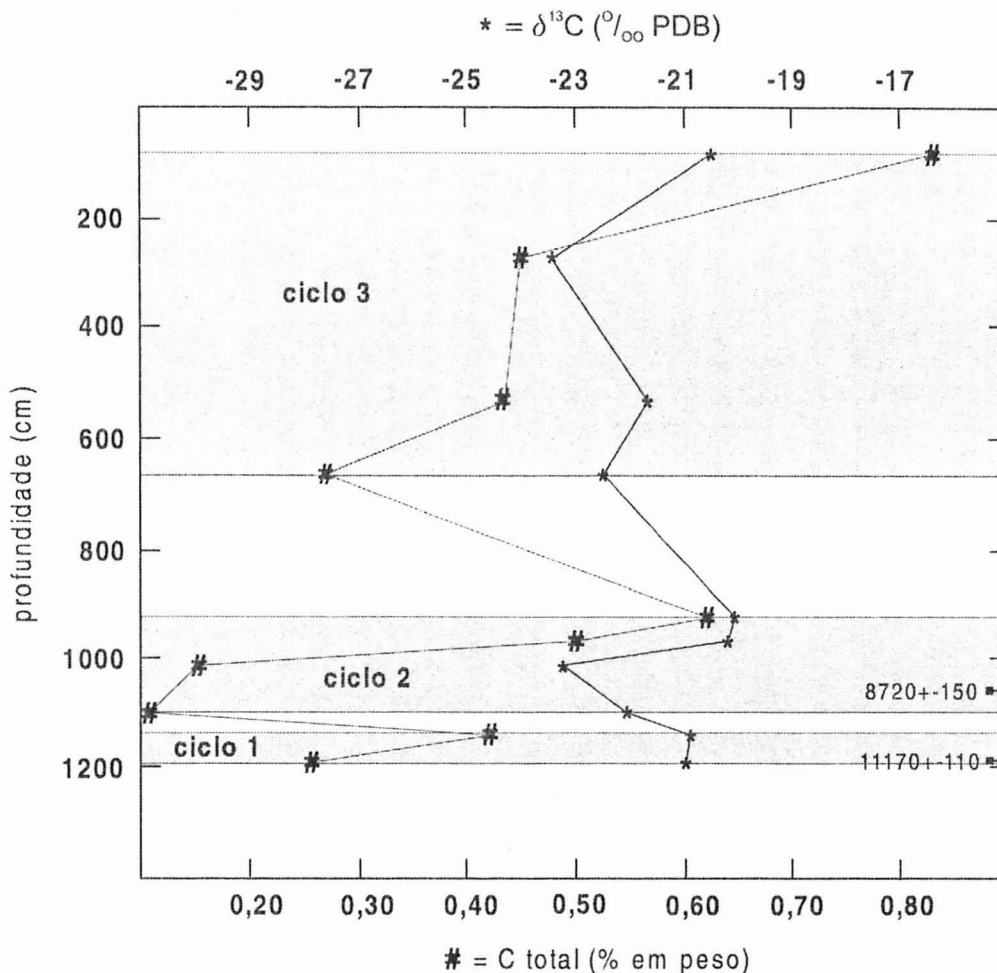


Figura 8: Conteúdo de carbono em amostras de sedimentos da Lagoa Dourada. Carbon content of sediments of the Lagoa Dourada.

- 1) sucessão de condições de maior ou menor decomposição da matéria orgânica dos sedimentos devido a causas locais, associada a fracionamento isotópico durante a decomposição (MARTINELLI et al., 1996);
- 2) é possível que tais "ciclos" estejam refletindo variações na cobertura vegetal, com maior participação de plantas tipo C_4 e conseqüente incremento em $\delta^{13}\text{C}$, sugerindo tendências para fases climáticas mais secas; o aumento nas taxas de carbono total poderia resultar de maior aporte de matéria orgânica em fases com maior desequilíbrio ambiental;
- 3) as variações no valor de $\delta^{13}\text{C}$ podem estar refletindo variações na salinidade da água da lagoa; durante períodos secos, com conseqüente aumento na alcalinidade pela maior evaporação da água, plantas aquáticas submersas e o plâncton tendem a utilizar o bicarbonato e não o CO_2 dissolvido na água, resultando valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos (STUIVER, 1975, apud LOBO, 1997);

- 4) maior produtividade da lagoa, com maiores teores de CO_2 dissolvido, influencia a absorção seletiva da biota, com tendência de valores $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos (MEYERS; ISHIWATARI, 1993).

No geral, a porcentagem de carbono total nos sedimentos da Lagoa Dourada é relativamente baixa (0,11 a 0,83%), corroborando resultados do conteúdo de matéria orgânica obtidos por MORO (1998), que os interpretou como sugestivos de sedimentação sempre sob lâmina d'água rasa, com abundante suprimento de oxigênio dissolvido, e conseqüente decomposição da matéria orgânica depositada.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das 10 amostras analisadas não mostram tendências de variações nítidas, que possam ser interpretadas como resultantes de importantes mudanças na cobertura vegetal e, conseqüentemente, no clima. Os valores situam-se entre $-20,1\text{‰}$ e $-23,4\text{‰}$, o que indica predominância de plantas C_3 (sobretudo arbóreas e gramíneas de clima mais úmido), embora as cifras, situadas abaixo da média para essas plantas (-27‰), indiquem vegetação mista, com presença subordinada de gramíneas C_4 (média de -13‰).

Esses dados sugerem que o aporte de matéria orgânica, pelo menos nos últimos 11110 anos na Lagoa Dourada, tenha se dado a partir de uma cobertura vegetal muito próxima da atual, com matas ciliares e capões esparsos em campos limpos do tipo savana gramíneo-lenhosa, compondo cobertura vegetal do tipo Floresta Ombrófila Mista (VELOSO; GÓES FILHO, 1982).

É significativo o contraste entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos sedimentos da Lagoa Dourada e de solos da região de Londrina ($51^{\circ}10' \text{ W}$, $23^{\circ}18' \text{ S}$), em região de terra roxa estruturada sob floresta mesofítica semidecídua (PESENDA et al., 1996), onde os valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximo à superfície situam-se em torno de $-25,8\text{‰}$, mais típicos de plantas C_3 . Essas cifras mais altas em Londrina, próximo à superfície, reforçam a interpretação de que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ na Lagoa Dourada estejam realmente refletindo cobertura vegetal mista de florestas e campos.

DATAÇÕES ^{14}C E TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO

São reportadas duas datações radiométricas em material proveniente dos sedimentos da Lagoa Dourada (LORSCHETTER; TAKEDA, 1995; MORO, 1998), realizadas no Laboratório *Beta Analytic Inc.* (Flórida, EUA), conforme segue:

profundidade (m)	idade (anos AP)
10,6	8720 ± 150
11,9	11170 ± 110

Baseando-se somente nessas duas datações, re-alizando-se divisão simples da espessura atual de sedimentos pelas idades, obtém-se as seguintes taxas de sedimentação para a Lagoa Dourada:

intervalo (m)	taxa de sedim. (mm/ano)
10,6 - 0	1,22
11,9 - 10,6	0,53

A diferença entre tais taxas de sedimentação deve, em grande parte, ser atribuída à compactação dos sedimentos inferiores mais antigos, visto que no testemunho não são observadas descontinuidades sugestivas de hiatos erosivos ou fenômenos de deformação. Entretanto, pode-se considerar essas taxas de sedimentação elevadas quando comparadas com outros depósitos de lagos continentais e turfeiras do final do Pleistoceno e Holoceno no Brasil (tabela 6).

Tabela 6: Taxas de sedimentação em depósitos de lagos continentais e turfeiras do final do Pleistoceno e Holoceno no Brasil. *Sedimentation rates in continental lake deposits and peat bogs of the late Pleistocene and Holocene in Brazil.*

autor(es)	local	taxa de sed. (mm/ano)
ABSY et al. (1991)	Serra dos Carajás (AM)	0,17
LEDRU (1993)	Salitre (MG)	0,06
FILIZOLA e BOULET (1993)	Vale do Paraíba (SP)	0,12 - 0,23
SIFFEDINE et al. (1994)	Serra dos Carajás (AM)	0,11
LOBO (1997)	Luiz Antônio (SP)	1,16

As taxas de sedimentação relativamente altas na Lagoa Dourada, mesmo para os sedimentos inferiores já mais compactados, sugerem que a invasão pelas águas turvas do rio Guabirola durante as inundações tem se constituído num processo determinante no assoreamento da lagoa no intervalo testemunhado. Tal suposição é reforçada pela comparação das taxas de sedimentação da Lagoa Dourada com aquelas da Lagoa do Infernã (LOBO, 1997), justamente um caso de lagoa holocênica (3500 anos) em planície de inundação (Rio Moji-Guaçu, em São Paulo).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada destinou-se a analisar as características sedimentológicas dos depósitos quaternários do fundo da Lagoa Dourada, uma feição de fuma assoreada situada no Primeiro Planalto Paranaense. Os estudos tiveram por finalidade identificar possíveis indi-

cadores de fenômenos geológicos e/ou mudanças paleoambientais e paleoclimáticas ocorridas durante o preenchimento sedimentar da lagoa.

As unidades geológicas na bacia hidrográfica do rio Guabirola são o Arenito Furnas (arenitos claros, arcoseanos a caulínicos), a Formação Ponta Grossa (folhelhos e arenitos finos) e rochas do Grupo Itararé (arenitos vermelhos a claros, lentes conglomeráticas, diamictitos, ritmitos, argilitos e folhelhos).

A Lagoa Dourada não é um sistema fechado, visto que recebe águas turvas das inundações do rio Guabirola. Os sedimentos que a preenchem são provenientes das rochas presentes no seu entorno imediato, das rochas no percurso das águas subterrâneas que alimentam as fontes de sua borda norte e das rochas em toda a bacia hidrográfica do rio Guabirola a montante da lagoa. Os sedimentos que preenchem a lagoa são predominantemente silto-argilosos nos dois terços de sul e sudeste (finos em suspensão nas águas de inundação do rio

Guabiroba), passando a arenosos no terço norte e noroeste (aporte sedimentar pelas fontes de águas subterrâneas que provém de fraturas no arenito).

Nos sedimentos arenosos das surgências de água subterrânea, a ocorrência acentuada de epídoto e anatósio entre os minerais pesados pode ter duas explicações:

- a) trata-se de minerais de preenchimento, diagenético ou hidrotermal, dos interstícios do Arenito Furnas profundo, atravessado pelo fluxo subterrâneo;
- b) trata-se de minerais derivados de rochas metamórficas de baixo grau ricas em alumínio, representadas na região por metassedimentos do Supergrupo Açungui, situados no embasamento das unidades da Bacia do Paraná.

Nessa segunda hipótese, seria necessário admitir que parte da água subterrânea que ressurge na Lagoa Dourada pudesse provir de grandes profundidades (mais de 300 m, espessura da Formação Furnas na área), transportando grãos dos metassedimentos subjacentes. Isso implicaria retomar antigas hipóteses, recentemente em desuso, para explicar a gênese das furnas, envolvendo dissolução de rochas do embasamento da Bacia do Paraná, em grandes profundidades, e subsequente desabamento do teto das feições erosivas subterrâneas formadas.

As rochas presentes nas áreas-fontes da Lagoa Dourada, de acordo com as análises realizadas e dados da bibliografia, são portadoras de clorita e interestratificados ilita-esmectita, argilominerais que tendem a transformar-se em caulinita e gibbsita. Entretanto, nos sedimentos que preenchem a lagoa, só foram encontrados caulinita e ilita, indicando que ou as fases paleoclimáticas mais secas (sugeridas por outros indícios) não propiciaram a erosão e deposição dos argilominerais mais instáveis sem alteração, ou as análises realizadas não foram suficientes para detectá-los.

A ocorrência de gipso, às vezes associado a pirita, ambos como minerais autígenos nos sedimentos da lagoa, sugere fases de aumento da salinidade das águas durante a sedimentação, relacionadas à maior evaporação em climas mais secos.

É possível distinguir três "ciclos" de aumento das taxas de carbono total nos sedimentos da lagoa, que aparentemente coincidem com o aumento das relações isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$). Diversas hipóteses podem explicar a existência de tais "ciclos": sucessão de condições de maior ou menor decomposição da matéria orgânica dos sedimentos; variações na cobertura vegetal, com maior participação de plantas tipo C_4 e conseqüente incremento em $\delta^{13}\text{C}$, sugerindo tendências para fases climáticas mais secas; variações na salinidade da água da lagoa.

A convergência de alguns indicadores paleoclimáticos observados (ocorrência de gipso, pólenes,

diatomáceas, isótopos de carbono) sugere que pelo menos uma fase paleoclimática mais seca esteja bem representada nos sedimentos da Lagoa Dourada, na base do testemunho (até cerca de 1000 cm de profundidade), abrangendo a datação de 8720 ± 150 anos AP (1060 cm). Alguns estudos sobre paleoclimas do sudeste e sul do Brasil fazem referência a fases secas que poderiam corresponder a esse intervalo da Lagoa Dourada (SERVANT et al., 1989; LEDRU, 1993; STEVAUX, 1994; MELO, 1995). Ademais, outros estudos interpretam fases secas em torno de 8500 anos AP, com base no reconhecimento de fase de evento erosivo-deposicional (MELLO, 1992; MELLO et al., 1995).

As taxas de sedimentação relativamente altas na Lagoa Dourada, comparáveis às de outras lagoas em planícies de inundação, reforçam a suposição de que a invasão pelas águas turvas do rio Guabiroba durante as inundações tem se constituído num processo determinante no assoreamento da lagoa em todo o intervalo testemunhado.

A espessura total dos sedimentos da Lagoa Dourada não é conhecida. Durante a obtenção do testemunho de sondagem, a espessura amostrada (12,2 m) foi determinada pela operacionalidade do equipamento utilizado (amostrador tipo Livingstone).

Levando-se em conta a profundidade das furnas n.º 1, 2 e 4 do Parque Estadual de Vila Velha, não se pode descartar a hipótese de que a Lagoa Dourada apresente espessura de sedimentos até da ordem de meia centena de metros. Estudos futuros de geofísica de alta resolução e mesmo nova testemunhagem deverão revelar a espessura total dos sedimentos da Lagoa Dourada, bem como propiciar o melhor reconhecimento de sua estratigrafia.

Cabe concluir destacando que várias lagoas da região (Lagoa Tarumã, Lagoa do Coração, furnas de Vila Velha, Lagoa do Bairro dos Pintos e Lagoa Bonita), de diversos tipos, contêm preenchimento sedimentar que constitui rico registro de variações paleoambientais e paleoclimáticas quaternárias no Sul do Brasil e que merece ser devidamente investigado.

AGRADECIMENTOS

A Armando Márcio Coimbra (*in memoriam*), pela supervisão de análises sedimentológicas e proveitosas discussões. A Flávio M. S. Carvalho (IGUSP-DMP), pela realização da difratometria de raios X. A Issac Jamil Sayeg (Lab. MEV - IGUSP-DGSA), Luiz Alberto Fernandes (IPT-SP) e Laboratórios de Microscopia Eletrônica de Varredura da UNESP (IQ.Ar e IBILCE, Proc. Fapesp - 6165/95) pela utilização de equipamentos e obtenção de imagens sob microscopia eletrônica de varredura.

REFERÊNCIAS

- ABSY, M. L. et al. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 6000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, série 2, p. 673-678, 1991.
- AGUIAR NETO, A. *Folha Ponta Grossa (SG-22-X-C-II-2), escala 1:50.000*. Comissão da Carta Geológica do Paraná - Projeto Leste do Paraná, Convênio CPRM - DNPM - BADEP - UFPR. Curitiba, 1977. 1 mapa. Escala 1:50.000.
- ASSINE, M. L. *Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, 1996. 207 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- CAMPANHA, G. A.; SADOWSKI, G. R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Aparai Domain). *Journal of African Earth Sciences*, v. 27, n. 1A, p. 220-221, 1998.
- FILIZOLA, H. F.; BOULET, R. Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques au Brésil. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 316, série 2, p. 693-700, 1993.
- FRIEDMAN, G. M.; SANDERS, J. E.; KOPASKA-MERKEL, D. C. *Principles of sedimentary deposits - stratigraphy and sedimentation*. New York: Macmillan Pub. Co., 1992. 717 p.
- FUCK, R. A.; TREIN, E.; LOPES, J. A. *Folha geológica de Quero-Quero escala 1:50.000*. Curitiba: Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1965.
- LEDRU, M. P. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. *Quaternary Research*, v. 39, n. 1, p. 90-98, 1993.
- LOBO, I. *Uso de traçadores químicos e isotópicos no estudo paleoambiental da Lagoa do Infernô: uma lagoa marginal do Rio Moji-Guaçu, estação ecológica de Jataí, Luiz Antonio, SP*. São Carlos, 1997. 114 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Química.
- LORSCHUITTER, M. L.; TAKEDA, I. J. M. Reconstituição paleoambiental da região dos Campos Gerais, Paraná, através da palinologia de sedimentos da Lagoa Dourada. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5., 1995, Niterói. *Anais...* Niterói: ABEQUA, 1995. p. 18-21.
- MAACK, R. Geologia e geografia da região de Vila Velha e considerações sobre a glaciação carbonífera do Brasil. *Arquivos do Museu Paranaense*, Curitiba, v. 5, 305 p., 1946.
- MAACK, R. Fenômenos carstiformes de natureza climática e estrutural de arenitos do Estado do Paraná. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba, v. 11, p. 151-162, 1956.
- MAIA, S.; SOARES, P. C. *Folha SG - 22 - J - II, escala 1:100.000*. Mapa Geológico de Semi-detelhe do Centro Leste do Paraná. Curitiba, 1971. 1 mapa. Escala 1:100.000. PETROBRÁS - DESUL. Relatório DESUL, n. 400.
- MARTINELLI, L. A. et al. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climatic change during Quaternary. *Oecologia*, v. 106, p. 376-381, 1996.
- MELLO, C. L. *Fácies sedimentares, arquitetura deposicional e relações morfoestratigráficas em um sistema de leques aluviais holocênicos: Aloformação Manso - Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ)*. Rio de Janeiro, 1992. 188 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MELLO, C. L. et al. Eventos de sedimentação durante o Holoceno no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ) - aloestratigrafia e datações por radiocarbono. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5., 1995, Niterói. *Anais...* Niterói: ABEQUA, 1995. p. 193-200.
- MELO, M. S. *A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenoica na Depressão Periférica Paulista*. São Paulo, 1995. 144 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- MELO, M. S. *Análise sedimentológica dos depósitos da Lagoa Dourada, Vila Velha, Ponta Grossa, PR*. Ponta Grossa: UEPG, 1999. 74 p. Relatório final de pesquisa (inédito).
- MEYERS, P. A.; ISHIWATARI, R. Lacustrine organic geochemistry - an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Org. Geochem.*, v. 20, n. 7, p. 867-900, 1993.
- MILANI, É. J. et al. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim do IG-USP*, São Paulo. No prelo.
- MORAD, S.; ALDAHAN, A. A. Alteration of detrital Fe-Ti oxides in sedimentary rocks. *GSA Bulletin*, v. 97, n. 5, p. 567-578, 1986.
- MORO, R. S. *Interpretações paleocológicas do Quaternário através da análise de diatomáceas (Bacillariophyta) nos sedimentos da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR*. Rio Claro, 1998. 141 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biotecnologia.
- MORO, R. S. Inferências paleolimnológicas do Pleistoceno tardio e Holoceno na Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR, através da análise de comunidades de diatomáceas (Bacillariophyta). *Acta Limnologica Brasiliensis* (submetido).
- PESSENDA, L. C. et al. Natural radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. *Radiocarbon*, v. 38, n. 2, p. 203-208, 1996.

- PRESTES, P. V. *Condições físico-químicas das águas de Furna 1 e Lagoa Dourada, Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, PR*. Curitiba, 1991. 84 p. Monografia (Especialização) - PUC/ESAM.
- RAMOS, A. N.; FORMOSO, M. L. L. Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná. *Ciência - Técnica - Petróleo, Seção Exploração de Petróleo*, Rio de Janeiro, n. 9, 1975. 72 p. e anexos.
- RIGHI, D.; MEUNIER, A. Origin of clays by rock weathering and soil formation. In: VELDE, B. (Ed.), *Origin and mineralogy of clays*. Berlin: Springer, 1995. p. 43-161.
- SERVANT, M. et al. Sécheresse holocène au Brésil (18-20° latitud Sud). Implications paléométéorologiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 309, série 2, p. 153-156, 1989.
- SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sed. Petrol.*, v. 24, p. 151-158, 1954.
- SIFFEDINE, A. et al. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cour des 30 000 dernières annés (Carajas, Amazonie, Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 318, série 2, p. 1645-1652, 1994.
- SOARES, O. Furnas dos Campos Gerais, Paraná. *Scientia et Labor*, Curitiba, 1989. 82 p.
- SOARES, C. R.; REBELLO, J. Nota sobre a origem geomorfológica e os parâmetros físico-químicos e biológicos da coluna d'água da furna n.º 1 - Parque Estadual de Vila Velha (Estado do Paraná). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 21., 1991, Curitiba. *Anais...* Curitiba: [s. n.], 1991.
- STEVAUX, J. C. Geomorfologia, sedimentologia e paleoclimatologia do alto curso do rio Paraná (Porto Rico, PR). *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 42, p. 97-112, 1994.
- TREIN, E.; MARINI, O. J.; FUCK, R. A. *Folha geológica de Itaiacoca escala 1:50.000*. Curitiba: Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1967. 1 mapa. Escala 1:50.000.
- VELOSO, H. P.; GÓES FILHO, L. Fitogeografia brasileira - classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. *Bol. Téc. Proj. RADAMBRASIL*, Salvador, n. 1, p. 1-80, 1982.
- WELTON, J. E. *SEM petrology atlas*. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists, 1984. 237 p.
- ZALÁN, P. V. et al. Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. (Coord.). *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1991. p. 135-168.

Recebido em 14 jun. 2000.

Aceito em 25 out. 2000.