

## FLUTUAÇÕES CLIMÁTICAS NO PLEISTOCENO TARDIO E HOLOCENO NA LAGOA DOURADA, ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

MORO, R.S.\* & BICUDO, C.E.M.\*\*

\* Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Departamento de Biologia Geral  
Caixa postal 992, 84010-970 Ponta Grossa, PR, Brasil.

\*\* Instituto de Botânica  
Seção de Ficologia  
Caixa postal 4005, 01061-970 São Paulo, SP, Brasil.

**RESUMO:** Flutuações climáticas no Pleistoceno tardio e Holoceno na lagoa Dourada, estado do Paraná, sul do Brasil. Uma coluna estratigráfica de 12m de profundidade, que abrangeu o Pleistoceno tardio e o Holoceno, foi coletada na lagoa Dourada (Parque Estadual de Vila Velha) em Ponta Grossa, estado do Paraná, região sul do Brasil. Amostras foram coletadas em intervalos de 10cm do testemunho, totalizando 69 níveis amostrados, visando à análise das concentrações de  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  e P disponível. Os íons foram extraídos pelo método da resina e identificados por espectrofotometria de absorção atômica de chama. Foram, paralelamente, identificados os teores percentuais de água e matéria orgânica (perda ao fogo) e estimada a densidade valvar de diatomáceas (Bacillariophyta) pela contagem em câmara de Utermöhl. Observou-se variações sugestivas de mudanças climáticas ou hidrológicas durante a história da lagoa, indicando um período semi-árido ao redor de  $11.000 \pm 110$  anos A.P., o qual foi seguido por outro mais seco (8.700  $\pm$  150 anos A.P.) e, finalmente, por uma melhoria climática. Nos sedimentos mais recentes, além da tendência para um clima mais quente e seco, foi detectada a ação antrópica graças ao aumento da concentração de potássio.

**Palavras-chave:** Flutuações climáticas, Pleistoceno tardio, Holoceno, Bacillariophyceae, diatomáceas.

**ABSTRACT:** Climatic fluctuations of the late Pleistocene and Holocene at lagoa Dourada, Paraná State, southern Brazil. A 12m deep core from the sediments of lagoa Dourada, southern Brazil, was examined at 10cm intervals for the presence of fossilized diatom valves, extractable inorganic cations ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  and P), organic matter, and water contents. Study indicated that the pond undergone a succession of a dry climate (11,000 years B.P.), to an even drier (8,700 years B.P.), and finally to a wet one that is extending until today. For the last century, climate tended towards a warmer and drier condition.

Cultural disturbances could be evidenced by the higher  $K^+$  levels detected, which is probably due to the agricultural boom at the catchment area.

Key words: Climatic fluctuations, late Pleistocene, Holocene, Bacillariophyceae, diatoms.

## INTRODUÇÃO

O Quaternário do Sul do Brasil foi caracterizado por flutuações entre o clima semi-árido e frio e o úmido e relativamente quente (Maack, 1947, 1948; Bigarella, 1964; Klein, 1975; Lorscheitter & Lemos, 1985; Daemon *et al.*, 1987; Roth & Lorscheitter, 1989; Behling, 1995; Lorscheitter & Takeda, 1995). Para Bigarella *et al.* (1975), durante os episódios de semi-aridez, as florestas ficaram restritas aos refúgios, onde as condições climáticas permitiram sobrevivência. Nas épocas interglaciais, a evaporação foi maior graças ao aumento da temperatura dos oceanos e à maior atividade do ciclo local de chuvas de convecção. Nestas fases úmidas, o intemperismo químico tornou-se generalizado e as florestas atingiram sua expansão máxima.

Próximo de 11.000 anos AP, ocorreu uma alteração drástica e abrupta da temperatura, que variou de anteriormente fria (Wisconsin tardio) para bem mais quente, marcando o início do Holoceno. Entretanto, a vegetação manteve-se ainda essencialmente campestre. O início da expansão florestal com *Araucaria* só se verificou a partir de 8.000 anos A.P. (Lorscheitter & Takeda, 1995; Stevaux, 1997), incluindo fases bastante úmidas entre 6.000 e 4.000 anos A.P., as quais foram evidenciadas pela presença de meandros na planície inundada no vale do Rio Paraná (Jabur, 1993; Stevaux, 1994).

O presente estudo visou a verificar, através de análises físicas, químicas e biológicas, se os sedimentos da lagoa Dourada guardaram registro dessas flutuações climáticas.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A lagoa Dourada (50°03' W, 25°14' S - 817msm) situa-se no Parque Estadual de Vila Velha, ecossistema dos Campos Gerais, em Ponta Grossa, estado do Paraná, sul do Brasil. Constitui uma dolina de diâmetro aproximado de 200m e profundidade que varia entre 0,4 e 5,4m. A vegetação circundante é composta por elementos da savana gramíneo-lenhosa e pela floresta de *Araucaria*. O clima é do tipo Cfb de Köppen, ou seja, superúmido (precipitação de 1.417mm anuais) com temperaturas amenas (14°-18°-21°C) bem distribuídas ao longo do ano.

A ocupação humana da bacia lacustre é muito recente. A região compõe-se, desde o século XVIII, de latifúndios, inexistindo áreas urbanas próximas. Apenas a partir dos anos 70 deste século, com o desenvolvimento da mecanização agrícola, é que foram ocupadas áreas relativamente próximas à lagoa. Embora a área já estivesse sob regime de proteção ambiental, experimentos agrícolas do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) devem ter interferido no processo de eutrofização da lagoa por conta da transferência de parcelas de fertilizantes químicos através do lençol freático e do escoamento superficial.

Bodziak-Júnior & Maack (1946) analisaram o solo da antiga fazenda Lagoa Dourada (Tab. I) e encontraram concentrações de óxido de cálcio variando entre 90 e 260mg.dm<sup>-3</sup>, o que corresponde a 3,2mmol.dm<sup>-3</sup> e 9,3mmol.dm<sup>-3</sup>, respectivamente, de Ca<sup>++</sup>; óxido de potássio entre 100mg.dm<sup>-3</sup> e 400mg.dm<sup>-3</sup>, correspondendo a 2,1mmol.dm<sup>-3</sup> e 8,5mmol.dm<sup>-3</sup>, respectivamente, de K<sup>+</sup>; e óxido de magnésio entre 217mg.dm<sup>-3</sup> e 387mg.dm<sup>-3</sup>, que corresponde

10,8mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> e 19,2mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, respectivamente, de Mg<sup>++</sup>. O fosfato variou de 87mg.dm<sup>-3</sup> a 228mg.dm<sup>-3</sup>, equivalente a variação de 38mg.dm<sup>-3</sup> a 99,6mg.dm<sup>-3</sup> de P. Mediram ainda 4,58% de SiO<sub>2</sub>, 16% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 7,14% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Comparados os teores acima com os de normalidade para solos florestados (Tab. II), percebe-se que o solo da região da lagoa Dourada possui quantidades de Ca<sup>++</sup> e K<sup>+</sup> que variam entre média e alta, enquanto as de Mg<sup>++</sup> e P podem ser consideradas sempre muito altas.

Prestes (1991) detectou, ao analisar algumas variáveis físicas e químicas das águas superficiais da lagoa Dourada (Tab. III), baixos níveis de fosfatos, nitratos, nitritos e amônio, caracterizando o sistema como relativamente oligotrófico, circumneutro e bem oxigenado.

Tabela I. Análise química do solo da Fazenda lagoa Dourada (Bodziak-Júnior & Maack, 1946). Resultados em mg.dm<sup>-3</sup> de solo seco ao ar (teor extraído com HCl 10% a quente).

Amostra	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	K <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	CaO	Ca <sup>++</sup>	MgO	Mg <sup>++</sup>
30-A	131,0	57,2	140,0	116,2	250,0	178,8	217,0	130,6
31-A	87,0	38,0	100,0	83,0	260,0	185,9	287,0	172,8
32-A	144,0	62,9	210,0	174,3	90,0	64,4	303,0	182,4
40-A	228,0	99,6	400,0	332,0	200,0	143,0	387,0	233,0

Tabela II- Limites de teores de potássio (K<sup>+</sup>), fósforo (P), cálcio (Ca<sup>++</sup>) e magnésio (Mg<sup>++</sup>) no solo (Gonçalves-Júnior & Pauletti, 1997, mod.) extraídos pelo método da resina.

Teor	P <sup>1</sup> mg.dm <sup>-3</sup>	P <sup>2</sup> mg.dm <sup>-3</sup>	P <sup>3</sup> mg.dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>++</sup> mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>++</sup> mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>
Muito baixo	0,0- 2,0	0,0- 5,0	0,0- 6,0	0,0-0,7	-----	-----
Baixo	3,0-5,0	6,0-12,0	7,0-15,0	0,8-1,5	0-3,0	0-4,0
Médio	6,0-8,0	13,0-30,0	16,0-40,0	1,6-3,0	4,0-7,0	5,0-8,0
Alto	9,0-16,0	31,0-60,0	41,0-80,0	3,1-6,0	> 7,0	> 8,0
Muito alto	> 16,0	> 60,0	> 80,0	> 6,0	-----	-----

1 solos florestados; 2 culturas perenes; 3 culturas anuais

Tabela III- Algumas variáveis físicas e químicas atuais da água da lagoa Dourada (Prestes, 1991). Resultados em mg.dm<sup>-3</sup>.

Data	Hora	Estação	O.D.	pH	Alcal.	PO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	Temp.
18/08/90	14:00	01	---	8,0	---	ND	0,330	---	0,020	20,0
20/11/90	---	01	7,7	7,9	71,0	0,003	0,170	---	0,030	21,6
16/08/91	10:00	01	8,0	8,1	75,0	0,233	0,052	0,028	---	18,9
	10:00	02	8,4	7,5	62,0	0,232	0,263	0,025	---	20,5
	11:00	03	6,6	7,8	103,0	0,164	0,043	0,028	---	20,3
15/10/91	09:00	01	---	---	73,0	0,040	0,070	0,002	0,010	18,0
	09:00	02	---	---	74,0	0,040	0,110	0,002	0,010	18,0
8/08/93	13:00	04	10,3	7,4	80,0	---	---	---	---	20,5
9/08/93	14:00	04	12,3	6,5	---	---	---	---	---	20,0

O.D. = oxigênio dissolvido; Alcal. = alcalinidade CaCO<sub>3</sub>; --- = não disponível; ND = não detectado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O testemunho de 12m foi obtido no local mais profundo da lagoa com auxílio de um pistão tipo Livingstone (1955), modificado por Colinvaux. Foram realizadas duas datações com carbono radioativo ( $^{14}\text{C}$ ) pelos Laboratórios Beta Analytic Inc., estado da Flórida, E.U.A., de sedimentos procedentes de 11,8m e 10,6m de profundidade, as quais assinalaram idades de  $11.110 \pm 110$  anos A.P. e  $8.710 \pm 150$  anos A.P., respectivamente.

O testemunho foi, sempre que possível, sub-amostrado a intervalos de 10cm num total de 69 sub-amostras. Os teores dos cátions cálcio, magnésio e potássio e de fósforo disponível foram determinados no Setor de Solos, Plantas e Fertilizantes do Laboratório Central da Cooperativa Central de Laticínios do Paraná Ltda. (Fundação ABC), em Carambeí, estado do Paraná.

Os três cátions e o fósforo disponível foram simultaneamente extraídos usando o método da resina (Raij *et al.*, 1986; Raij, 1994). A leitura dos teores de cálcio, magnésio e potássio foi feita utilizando solução de lantânio e a do fósforo através da metodologia do molibidênio azul em espectrofotometria de absorção atômica (Raij, 1987).

No Laboratório de Ecologia Aquática da Seção de Ficologia do Instituto de Botânica, em São Paulo, foram determinados os percentuais de matéria orgânica (perda ao fogo) e água (Bengtsson & Enell, 1986), bem como a densidade valvar das diatomáceas em câmara de Utermöhl (1958) contando-se, neste caso, o mínimo de 25 campos em câmaras de sedimentação de 2ml.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do sedimento de um lago é resultado das substâncias acumuladas, de sua transformação por agentes biológicos e químicos e da troca de substâncias entre o sedimento e a água. Portanto, alterações químicas no sedimento são o reflexo de mudanças na bacia de drenagem relacionadas com as diferentes taxas de erosão do solo e com o intemperismo (Birks & Birks, 1980).

O cálcio está geralmente presente em grandes concentrações nos sedimentos depositados durante períodos de intensa erosão, particularmente no fim de períodos de glaciações. Sua origem por intemperismo parece, ao contrário, ser lenta, gradual e em quantidades relativamente pequenas (Birks & Birks, 1980). A maior concentração de  $\text{Ca}^{++}$  na lagoa Dourada (Tab. IV, Fig. 1) foi observada a 9,8m, com  $7.214,4\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  ( $360\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) e a menor a 11,3m, com  $400\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  ( $20\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ).

A maior concentração de  $\text{Mg}^{++}$  foi observada a 8m de profundidade, com  $1.251,5\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  ( $103\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) e a menor a 11,3m, com  $121,5\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  ( $10\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). As concentrações de cálcio e magnésio mantiveram, no testemunho, correlação linear positiva ( $r = 0,84$ ,  $p < 0,05$ ) constante em todo o testemunho sugerindo, com isso, a origem comum dos dois cátions.

O potássio é muito solúvel e sua origem no sedimento deve-se, igualmente, à erosão do solo (Birks & Birks, 1980). Esteve ausente na altura dos 12,1m, isto é, na porção mais profunda investigada do sedimento; e sua maior concentração ocorreu a 0,2m, com  $234,4\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  ( $6,0\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). Consequentemente, o potássio sedimentar também se apresentou em níveis baixos na lagoa Dourada. Sua elevação relativa nas porções mais recentes do testemunho, independente dos demais cátions, pode indicar que uma outra fonte alóctone

Tabela IV. Demonstrativo dos valores mínimo, máximo e médio das variáveis analisadas no testemunho da lagoa Dourada comparados aos valores preconizados por Bengtsson & Enell (1986) para sedimentos lacustres.

	% H <sub>2</sub> O	% mat. org.	Dens. valvar x 10 <sup>6</sup> .cm <sup>-3</sup>	P mg. dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> mmol. dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>++</sup> mmol. dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>++</sup> mmol. dm <sup>-3</sup>
Mínima	5,5	0,9	0,0	1,0	0,0	20,0	10,0
Média	68,4	7,7	2,9	11,6	1,7	127,0	47,7
Máxima	89,7	95,2	19,3	30,0	6,0	360,0	103,0
Mínima p/ sedimento	---	---	---	5,0	25,0	250,0	25,0
Máxima p/ sedimento	---	---	---	30,0	250,0	1000,0	1000,0

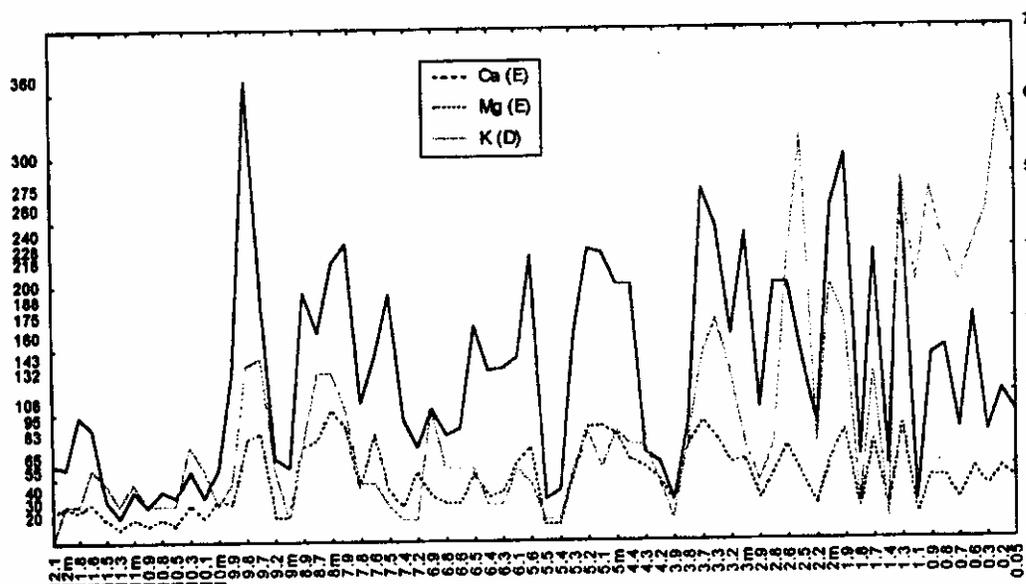


Figura 1. Variação dos teores de cálcio, magnésio e potássio (mmol.dm<sup>-3</sup>) no testemunho da lagoa Dourada.

tenha contribuído para tal aumento. Neste caso, a possível fonte pode ter sido os fertilizantes de formulação NPK (nitrogênio-fósforo-potássio) utilizados nas áreas de lavoura adjacentes. Os valores de fósforo do sedimento nem sempre acompanharam este aumento mas, ao contrário, oscilaram bastante, provavelmente pelo fósforo encontrar-se, geralmente, incorporado à biomassa vegetal colhida.

O fósforo ocorre no sedimento nas formas tanto orgânica quanto inorgânica (neste caso, mineral). As principais fontes naturais de fósforo na bacia de drenagem são o

intemperismo e a desagregação de rochas primárias contendo, por exemplo, apatita. O fósforo ocorre na forma solúvel (menos provável) ou adsorvido aos argilominerais, principalmente àqueles que têm ferro e alumínio em sua constituição como, por exemplo, a hematita e a gipsita. Na opinião de Esteves (1988), esta é a via mais importante de acesso do fósforo aos sistemas tropicais, devido à frequência de solos argilosos antigos e muito intemperizados nestas regiões.

O fósforo forma, na presença de ferro, alumínio e cálcio, diversos compostos inorgânicos de baixa solubilidade, os quais são muito abundantes nos solos (Raij, 1987). Os fosfatos de ferro e alumínio tornam-se mais solúveis à medida que aumenta o pH. Os fosfatos de cálcio são, ao contrário, mais solúveis em pH mais baixo. Na extração do fósforo do solo, deve-se separar as formas do nutriente que sejam mais disponíveis para os seres autótrofos. Esta disponibilidade é máxima em pH 6-7. Entretanto, é restrita abaixo desses valores, pelo fato da adsorção do fósforo a argilominerais ser, na forma de fosfato, maior em meio ácido (Raij *et al.*, 1986; Raij, 1987).

No testemunho da lagoa Dourada (Fig. 2), a maior concentração de fósforo disponível ( $30\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ou  $30\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) foi observada a 0,9m e a menor ( $1\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ou  $1\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) a 2,6m e correspondem aos níveis comuns para esse tipo de ambiente. Igualmente, os resultados estão dentro da amplitude dos valores observados em solos florestados (Tab. II), mas há indícios significativos de eutrofização artificial nas oscilações verificadas nos sedimentos mais recentes (0,05m, 0,6m, 0,9m e 1,1m). Tal eutrofização deve, ao que tudo indica, ser causada pelos mesmos motivos que levaram ao aumento dos teores de potássio no ambiente.

O fósforo disponível apresentou valores bem abaixo daqueles mencionados em Bodziak-Júnior & Maack (1946) para o solo, quando as concentrações do íon variaram entre  $38,0$  e  $99,6\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (Tab. I). No entanto, ao analisar estes valores deve-se levar em conta a

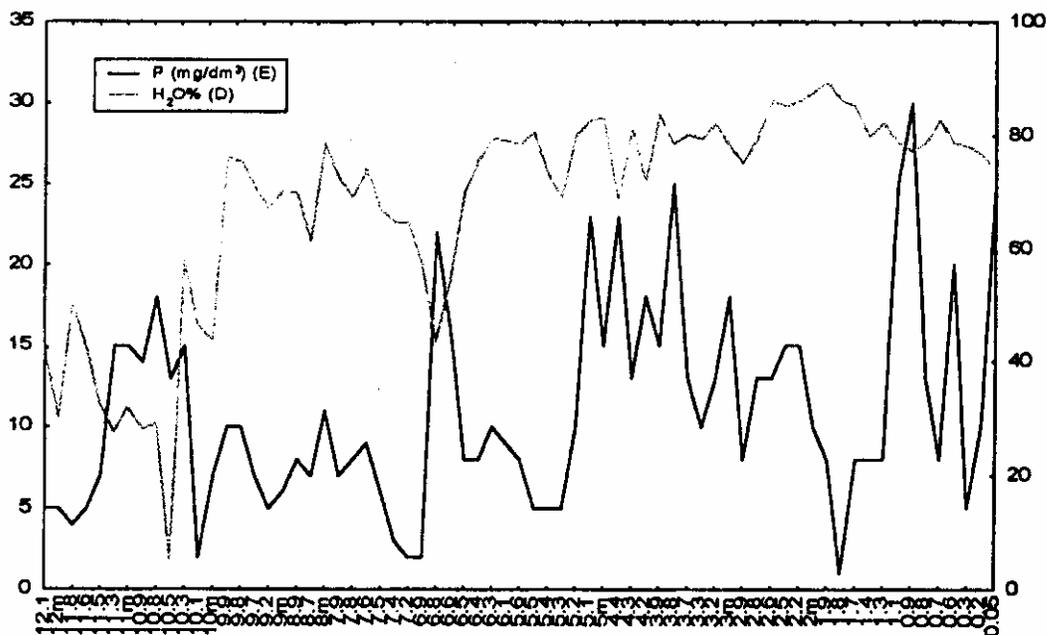


Figura 2. Comparação entre os teores de água e os de fósforo disponível no testemunho da lagoa Dourada.

ressalva feita em Raij *et al.* (1986) para os métodos de extração do elemento através de ácidos fortes diluídos. Para estes últimos autores, tais métodos alterariam os resultados das análises de duas formas, como segue: (1) em solos ricos em ferro e alumínio, tais resultados seriam subestimados, não avaliando boa parte dos fosfatos adsorvidos aos argilominerais, uma vez que, como já foi exposto, o pH baixo dificulta sua solubilização; e (2) em solos ricos em fosfatos naturais de baixa reatividade, como é o caso dos fosfatos na maioria dos solos brasileiros, os resultados seriam superestimados porque o ácido dissolve fosfatos que, de outra maneira, não estariam disponíveis aos seres autótrofos.

A variação do conteúdo de água ao longo do testemunho depende de vários fatores, dentre os quais pode-se mencionar a taxa de sedimentação, a qualidade e as características dos depósitos, o grau de compactação, a turbidez e a idade do sedimento. Assim, valores baixos do conteúdo de água podem estar relacionados tanto a sedimentos de água rasa quanto a compactação dos mesmos (Bengtsson & Enell, 1986; Cordeiro, 1995). Como consequência, esses teores só deveriam ser interpretados quando associados a outras variáveis físicas, químicas ou biológicas.

Os teores relativos de água apresentaram tendência ao decréscimo do topo para a base do testemunho (Fig. 2), com o máximo a 1,9m (89,7% de água) e o mínimo a 10,5m (5,5%). O que poderia ser, à primeira vista, interpretado como um efeito natural da compactação demonstrou, quando comparado à variação dos cátions sedimentares, que ocorreram também oscilações do nível de água da lagoa ligadas, ao que tudo indica, à pluviosidade. Intervalos com baixo teor percentual de água corresponderam a uma menor amplitude de variação de cátions, que pode ser traduzida por épocas áridas ou semi-áridas com pouco escoamento superficial e reduzido intemperismo do terreno circunjacente à bacia.

Embora graficamente exista uma aparente relação negativa entre os teores de água e de fósforo (Fig. 2), o coeficiente de Pearson foi baixo ( $r = 0,08$ ). A estimativa não-linear do grau de associação entre as duas variáveis ("break point regression") explicou 70% da variação e demonstrou boa correlação ( $R = 0,84$ ) entre os valores previstos e os observados.

A análise dos valores relativos de matéria orgânica (Fig. 3) revelou que, à exceção de dois picos máximos isolados, os teores de matéria orgânica mantiveram-se relativamente homogêneos ao longo de todo o testemunho, com valores médios de 7,7%. Isto sugere que a bacia deve ter sido sempre rasa, possuiu suprimento abundante de oxigênio dissolvido e que ocorreram altas taxas de decomposição no sedimento. Mudanças drásticas do nível d'água influenciaram as taxas de decomposição, pois altos níveis de água propiciaram condições anaeróbicas na superfície do sedimento do fundo e a taxa de decomposição seria muito lenta. Mas, se o nível da água baixar o suficiente para expor os sedimentos a um ambiente aeróbio, com ação de ondas, as taxas de decomposição aumentarão e o conteúdo orgânico relativo dessas camadas tornar-se-á baixo (Dodd *et al.*, 1968).

Uma explicação plausível para a presença de picos de matéria orgânica no testemunho é que eles devem representar períodos de aumento do aporte alóctone (Wetzel, 1983) ou períodos nos quais o metabolismo aquático foi drasticamente afetado pela aridez. Esta última hipótese parece ter sido a mais viável na lagoa Dourada, desde que foram verificadas diminuições relativas do teor de água do sedimento nas profundidades de 10,9m e 2,9m.

A densidade valvar das diatomáceas variou desde zero, num extenso período sem deposição dessas algas entre 11,3m e 9,9m de profundidade, até  $19,3 \times 10^6$  valvas.cm<sup>-3</sup> (Fig. 3). Relacionada ao teor de água, a densidade valvar também demonstrou leve decréscimo no topo do testemunho, levando a supor que a tendência climática notada por Behling (1995)

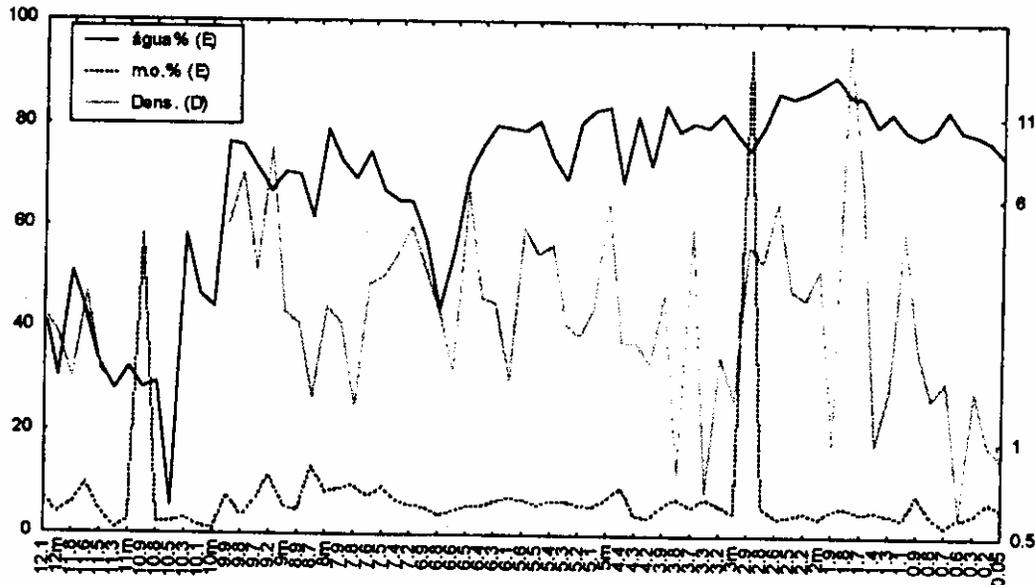


Figura 3. Comparação entre os teores de água, matéria orgânica e densidade valvar (em número de valvas  $\times 10^6 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) no testemunho da lagoa Dourada.

para Santa Catarina pode ter se estendido até o planalto paranaense.

Os sedimentos depositados entre 11,3m e 9,9m de profundidade (1,2m de sedimento foi datado como pertencente a um período ao redor de  $8.710 \pm 150$  anos A.P.) foram escassos em diatomáceas e corresponderam ao período de aridez já indicado pelas baixos teores de cátions e água. Na profundidade de 6,8m, houve redução abrupta e pontual dos teores de água e matéria orgânica e da densidade valvar. Ao mesmo tempo, correspondeu a um pico máximo de fósforo e sugeriu a ocorrência de uma breve, porém intensa, fase árida.

Falhas na deposição de diatomáceas em sedimentos do Pleistoceno tardio e Holoceno foram registradas em numerosas investigações (Bradbury *et al.*, 1981; Bush *et al.*, 1992; De-Oliveira *et al.*, 1987; De-Oliveira, 1992; Riedinger, 1993; entre outros). No entanto, conforme Bush *et al.* (1992), explicações definitivas para tais falhas jamais foram apresentadas. Dentre as hipóteses levantadas, a mais aceita pressupõe a diagênese, ou seja, a dissolução pós-deposicional da sílica das frústulas em ambientes cujo pH é superior a 9 (Bradbury *et al.*, 1981). Para Riedinger (1993), no Lago Ayauchi, situado no Equador, a causa parece ter sido os baixos níveis de água livre de carbonatos. De acordo com Barker *et al.* (1994), a dissolução da sílica é bem menor em presença de cátions bivalentes ( $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Ca}^{++}$ ) do que de monovalentes ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ). Esta hipótese poderia ser aplicada à lagoa Dourada, uma vez que os níveis relativos de água e cátions estão próximos de seus níveis mínimos por ocasião do início do período em que não há deposição de frústulas. É possível que o balanço hídrico negativo possa, devido a secas prolongadas, ter alterado o pH suficientemente para ocorrer o processo de dissolução pós-deposicional da sílica amorfa (Esteves, 1988).

Através da análise da relação entre os cátions P,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{++}$ , água e matéria orgânica, bem como a densidade valvar das diatomáceas, pôde-se determinar a existência de quatro zonas distintas no testemunho, que são as seguintes:

### **Zona 1 (profundidades de 12,1m a 11,5m) - 11.000 ± 110 anos A.P.**

Nesta zona, os teores de P, Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> e Mg<sup>++</sup> são comparativamente baixos em relação às demais profundidades do testemunho, indicando a não-ocorrência de processos erosivos intensos, ou seja, de períodos de relativa aridez. Os baixos teores de água confirmam esta hipótese, mesmo levando-se em conta a existência de certa compactação do sedimento. Os teores de matéria orgânica e de densidade valvar apresentaram níveis similares aos contemporâneos. A partir de 11,8m e até 11,5m, parece ter ocorrido certo aumento da pluviosidade, que se refletiu na elevação dos teores de água, cátions e fósforo. Segundo Behling (1995, 1997), a vegetação dos planaltos paranaenses e catarinenses, que ao final do Pleistoceno (14.000 a 10.000 anos A.P.) era essencialmente campestre, com florestas de *Araucaria* preservadas nos vales, esteve submetida a um clima frio e relativamente seco, ao qual se seguiu um breve período mais quente e úmido (10.800 a 10.500 anos A.P.).

### **Zona 2 (profundidades de 11,3m a 10m) - 8.700 ± 150 anos A.P.**

As quantidades de Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> e Mg<sup>++</sup> diminuem nesta zona. Os baixos teores de água indicam maior aridez, ao mesmo tempo em que os teores de matéria orgânica aumentaram drasticamente sem, no entanto, ocorrer deposição de diatomáceas. A elevação dos níveis de fósforo sugeriu que o pH tenha baixado o suficiente para funcionar como uma barreira à liberação do cátion para a coluna d'água e que a taxa de decomposição orgânica tenha, por isso, sido lenta. Por outro lado, turbulências devido a ondas podem ter retido o fósforo num hipolímnio aeróbio e o acúmulo de matéria orgânica observado ter tido origem alóctone. Neste caso, o pH não precisaria ser necessariamente ácido. Ledru (1992) observou no Planalto Central que, ao redor de 10.500 e até 9.500 anos A.P., houve um decréscimo abrupto dos elementos florestais em resposta a uma estação seca de maior duração sob baixas temperaturas. Igualmente para Behling (1995), no planalto catarinense o clima apresentou-se temperado seco (10.500 a 10.000 anos A.P.).

### **Zona 3 (profundidades de 9,9m a 1,9m) - após 8.700 ± 150 anos A.P.**

O retorno às condições mais úmidas parece ter sido súbito, com rápido aumento da coluna de água e dos teores de cátions, especialmente de cálcio, que foi seguido pelo aumento da densidade valvar das diatomáceas. No restante deste período, os teores de fósforo disponível e de cátions demonstraram oscilações peridódicas numa amplitude comum ao P, Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> e Mg<sup>++</sup> e presumiram a existência de oscilações paleoclimáticas e intemperismo. Houve, pelo menos, duas fases semi-áridas de duração breve que ocorreram na altura de 8,7m e 6,8m. Ledru (1992) identificou uma fase árida comparativamente menor (no máximo de ao redor de 5.000 anos A.P.), com predomínio um tipo de vegetação aberta com até 80% de gramíneas. Behling (1995) percebeu mudanças a partir de um passado mais quente e seco para um clima úmido e mais frio há cerca de 2.900 a 1.000 anos A.P. e, finalmente, para um clima frio e muito úmido há 1.000 anos A.P. A expansão de *Araucaria* sobre os Campos Gerais iniciou a partir de 1.500 anos A.P. (Behling, 1997).

### **Zona 4 (profundidades de 1,8m a 0,05m)**

Reflete a tendência a clima pouco mais quente e seco que o anterior, com níveis de água progressivamente menores, aumento do teor de K<sup>+</sup> e marcada oscilação das concentrações de fósforo disponível, Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>. Para Behling (1995), é evidente que nos últimos 100 anos tenha prevalecido tendência a um clima mais quente e seco. As condições parecem

retornar àquelas vigentes, ainda segundo Behling (1995, 1997), no início do Holoceno (10.800 a 10.500 anos A.P.), isto é, de um clima mais quente e úmido, conforme já foi descrito para o final do período compreendido pela Zona 1.

## CONCLUSÕES

A análise conjunta de parâmetros físicos, químicos e biológicos do testemunho de sedimentos da lagoa Dourada indicou mudanças climáticas ou hidrológicas sofridas no fim do Pleistoceno e ao longo do Holoceno. Das variáveis ambientais examinadas, foram consideradas mais elucidativas, pela ordem de importância, os cátions sedimentares ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ), o teor percentual de água, a quantidade de fósforo disponível e o percentual de matéria orgânica. Variáveis biológicas como, por exemplo, a densidade valvar, refletem mais lentamente as modificações ambientais e não deveriam ser avaliadas isoladamente na interpretação paleoclimática.

A lagoa Dourada atravessou, durante o período estudado, quatro fases hidrológicas distintas e sucessivas, quais sejam: (1) ao redor de 11.000 anos A.P., um período relativamente árido se comparado ao regime climático atual; (2) ao redor de 8.000 anos A.P., um período de acentuação da aridez, com manutenção de uma lâmina d'água bastante escassa; (3) em seguida, vigoraram condições climáticas mais amenas, com flutuações de menor escala; e (4) mais recentemente, um período em que tem havido decréscimo do nível d'água e eutrofização de origem antrópica. A bacia hidrográfica foi sempre rasa, teve suprimento abundante de oxigênio e, afetada pela ação turbulenta de ondas, possuiu altas taxas de decomposição no sedimento.

Os dados confirmaram o quadro paleoclimático delineado para o Quaternário do Sul e Sudeste do Brasil. Segundo este quadro, as fases glaciais iniciais pleistocênicas foram caracterizadas por climas mais áridos e mais frios, tardiamente mais úmidos. A fase interglacial seguinte, holocênica, foi úmida e mais quente, sendo a fase interglacial atual mais seca que a anterior.

## Agradecimentos

À Seção de Ficologia do Instituto de Botânica de São Paulo, pela cessão de uso do Laboratório de Ecologia Aquática; à Cynthia B. Fürstenberger, pela determinação dos teores de água e matéria orgânica; à Dra. Denise de Campos Bicudo, pela orientação na análise quantitativa das valvas de diatomáceas; ao Dr. Paul A. Colinvaux e sua equipe do Smithsonian Tropical Research Institute, E.U.A., pelo auxílio na obtenção do testemunho e datação do material.

## REFERÊNCIAS CITADAS

- Barker, P., Gasse, F., Fontes, J.-C. & Druart, J.-C. 1994. Experimental dissolution of diatom silica in concentrated salt solution and implications for paleoenvironmental reconstruction. *Limnol. Oceanogr.*, 39(1): 99-110.
- Behling, H. 1995. Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S. Brazil). *Veget. Hist. Archaeobot.*, 4 (3): 127-152.

- Behling, H., 1997. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the *Araucaria* forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). *Ver. Palaeobot. Palyn.*, 97: 109-121.
- Bengtsson, L. & Enell, M. 1986. Chemical Analysis. *In*: Berglund, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. New York, John Wiley & Sons, p.423-451.
- Bigarella, J.J. 1964. Variações climáticas no Quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. *Bolm Par. Geogr.*, 10-15: 211-231.
- Bigarella, J.J., Andrade-Lima, D. & Richs, P.J. 1975. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. *An. Acad. bras. Ciênc.*, 47: 411-464.
- Birks, H.J.B. & Birks, H.H. 1980. *Quaternary Palaeoecology*. London, Edward Arnold.
- Bodziak Jr., C. & Maack, R. 1946. Contribuição ao conhecimento dos solos dos Campos Gerais no Estado do Paraná. *Arqvos Biol. Tecnol.*, 1: 197-214.
- Bradbury, J.P., Leyden, B., Salgado-Laboriau, M.L., Lewis, W.M., Schubert, C., Binford, M.W., Frey, D.G., Whitehead, D.R. & Weibezahn, F.H. 1981. Late Quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela. *Science*, 214: 1299-1305.
- Bush, M.B., Piperno, D.R., Colinvaux, P.A., De-Oliveira, P.E., Krissek, L.A., Miller, M.C. & Rowe, W.E. 1992. A 14,300-yr paleoecological profile of a lowland tropical lake in Panama. *Ecol. Monogr.*, 62(2): 251-275.
- Cordeiro, R. 1995. Mudanças paleoambientais e ocorrência de incêndios nos últimos 7.400 anos, na região de Carajás, Pará. Niterói, 134p. *Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental)* - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense.
- Daemon, R., Jabur, I.C. & Thomaz, S.C. 1987. Paleopalinologia nos depósitos de transbordamento do Rio Tibagi, na folha de Ponta Grossa, Estado do Paraná, Brasil. *Bolm Geogr. Univ. Est. Maringá*, 5(1): 71-79.
- De-Oliveira, P.E., Steinitz-Kannan, M., Miller, M.C. & Colinvaux, P.A. 1987. Las Diatomas del Ecuador, 3: diatomas fósiles de la laguna de Kumpak, provincia de Morona, Santiago. *Revta Geogr.*, 24: 41-60.
- De-Oliveira, P.E. 1992. A Palynological record of Late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil. *Columbus, Tese (Doutorado) - Ohio State University*. 242p.
- Dodd, J.D., Webster, R.M., Collins, G. & Wehr, L. 1968. A consideration of Pollen, Diatoms and other remain in Postglacial Sediments. *Proc. Iowa Acad. Sci.*, 75: 197-209.
- Esteves, F.A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência/ FINEP.
- Gonçalves Jr, A.C. & Pauletti, V. 1997. Análise de solo e tecido foliar. *Revta Batavo*, 5(65):17-20.
- Jabur, I.C. 1993. Análise paleoambiental do Quaternário Superior na Bacia Hidrográfica do Alto Paraná. Rio Claro. *Tese (Doutorado em Geociências)* - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Klein, R.M. 1975. Southern Brazilian phytogeography features and the probable influence of the Upper Quaternary climatic changes in the floristic distribution. *Bolm Par. Geociênc.*, 33: 67-88.
- Ledru, M.P. 1992. Modifications de la végétation du Brésil Central entre la dernière époque glaciaire et l'interglaciaire actuel. *C.R. Acad. Sci. Paris: sér. 2*, 314: 117-23.
- Livingstone, D.A. 1955. A lightweight piston sampler for coring lake deposits. *Ecology*, 36: 137-139.
- Lorscheitter, M.L. & Lemos, V.B. 1985. Estudo palinológico preliminar em turfeiras do Estado do Paraná. *In*: Simposio Sulbrasileiro de Geologia, 2, Florianópolis. *Anais...* p. 461-473.
- Lorscheitter, M.L. & Takeda, I.J.M. 1995. 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, Niterói. *Anais...* p. 18-21.
- Maack, R. 1947. Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Arqvos Biol. Tecnol.*, 2: 66-154.

- Maack, R. 1948. Notas preliminares sobre o clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. *Arqvos Biol. Tecnol.*, 3(8): 99-200.
- Prestes, P.V. 1991. Condições físico-químicas das águas de Furna 1 e Lagoa Dourada, Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, PR. Curitiba. Monografia (Especialização em Limnologia) - ESAM, Pontifícia Universidade Católica. 97p.
- Raij, B. van. 1987. Análise química de solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill.
- Raij, B. van. 1994. New diagnostic techniques, universal soil extractants. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(7/8): 799-816.
- Raij, B. van, Quaggio, J.A. & Da-Silva, N.M. 1986. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 17(5): 547-566.
- Riedinger, M. 1993. The application of fossil diatom assemblages in reconstructing mid to late Holocene climate in the neotropics: the paleolimnology of Huarmicocha and Lake Ayauchi, Ecuador. Columbus, Tese (Doutoramento) - The Ohio State University. 296p.
- Roth, L. & Lorscheitter, M.L. 1989. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil. *In: International Symposium on Global Changes in South America during the Quaternary: Past-Present-Future*, 1, São Paulo. Anais... p. 39-69.
- Stevaux, J.C. 1994. The upper Paraná River (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *Quat. Intern.*, 21: 143-61.
- Stevaux, J.C. 1997. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Paraná River and their correlation with northeastern Argentina and Central and Southern Brazil. *In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul*, 6, 1997, Curitiba. Anais... p. 493-496.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mit. int. Verein. Theor. Angew. Limnol.*, 9: 1-38.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia: Saunders College.