

VARIAÇÃO SAZONAL DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA DO FITOPLÂNCTON E DOS
FATORES LIMNOLÓGICOS DO LAGO PARANOÁ, BRASÍLIA, DF.

TOLEDO, L.G.* e HAY, J.D.**

RESUMO

Um estudo sazonal da produção primária do fitoplâncton e dos fatores limnológicos no Lago Paranoá, Brasília, DF foi realizado entre abril de 1984 a março de 1985. A produção primária foi determinada pelo método do oxigênio em garrafas claras e escuras. Foram também determinados o pH, temperatura da água, alcalinidade, carbono inorgânico dissolvido, concentração de clorofila, nutrientes inorgânicos e transparência da água. A produção primária do fitoplâncton teve uma média anual de $118,0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, com um valor máximo de $261,0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em fevereiro de 1985 e mínimo de $14,3 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em junho de 1984. A variação sazonal não foi marcante, porém os maiores valores ocorreram na época chuvosa. Foi encontrada forte inibição superficial da produção primária do fitoplâncton devido às altas intensidades luminosas. O padrão térmico do Lago Paranoá se caracterizou pela homogeneização no período seco (maio/agosto) e pela estratificação na época chuvosa. Parâmetros como con-

* ENGEVIX S.A. - UHE

** Departamento Biologia Vegetal, UnB

centração de clorofila; oxigênio dissolvido, pH, concentração de amônia, e transparência da água se mostraram associados ao padrão térmico sazonal do Lago Paranoá.

É discutida a relação entre produção primária do fitoplâncton e os parâmetros limnológicos do Lago Paranoá.

ABSTRACT - SEASONAL VARIATION OF PRIMARY PRODUCTION OF PHYTOPLANKTON AND LIMNOLOGICAL FACTORS OF LAGO PARANOÁ, BRASÍLIA, FEDERAL DISTRICT.

Between april 1984 and march 1985 a seasonal study of primary production of the phytoplankton and limnological factors on Lago Paranoá, Brasília, Federal District was done. Primary production was determined using the dark light bottles oxygen method. The concentration of chlorophyll, temperature, pH, alkalinity, dissolved inorganic carbon, dissolved oxygen, inorganic nutrients and water transparency were also determined. Mean annual primary production was $118.0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, with minimum of $14.3 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and maximum of $261.0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Primary production showed little seasonal variation, although there was a tendency to increase in the rainy season. The intensity of the incident radiation at the water surface was suggested to be an inhibiting factor to primary production. Lago Paranoá showed a tendency toward homogeneity in the dry season and stratification during the rainy season. Variables such as chlorophyll concentration, dissolved oxygen, pH, ammonia concentration and water transparency were correlated with the seasonal temperature pattern.

The relation of primary production with limnological factors is discussed.

INTRODUÇÃO

As represas artificiais constituem ecossistemas de grande importância, tanto do ponto de vista básico como aplicado. Dentre os processos biológicos que ocorrem num ecossistema aquático, a produção primária do fitoplâncton é de importância básica, uma vez que o fitoplâncton pode contribuir com até 87% da produção primária global de um lago (LIKENS, 1975). Interações entre os parâmetros físico-químicos e biológicos determinam flutuações na produtividade fitoplanctônica, sendo a seqüência hierárquica destas interações de difícil sistematização (REYNOLDS, 1984).

No Brasil, poucos trabalhos tem estudado o caráter sazonal da produção primária do fitoplâncton em ambientes lacustres, destacando-se o de ALVES (1983) e TUNDISI (1977). No Lago Paranoá nenhum trabalho acompanhou as variações sazonais da produção primária do fitoplâncton. Trabalhos de FÉLIX et al. (1979) e LINDMARK (1977) determinaram a produtividade do fitoplâncton em duas épocas do ano apenas. Uma vez que o Lago Paranoá se encontra em avançado processo de eutrofização, realizou-se este trabalho com o objetivo de verificar as variações sazonais da produção primária do fitoplâncton do Lago Paranoá e as interações entre a produção primária e os parâmetros limnológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Lago Paranoá é um reservatório artificial localizado na cidade de Brasília, DF ($15^{\circ}48' S$ e $47^{\circ}50' W$), com um volume de $5,6 \times 10^8 m^3$ e uma área de $40 km^2$. A profundidade máxima é de 38 metros com uma média de 14 metros. A Fig. 1 mostra a localização do Lago Paranoá em relação à cidade de Brasília.

Foram realizadas amostragens mensais entre abril de 1984 a março de 1985 na baía norte do Lago Paranoá. O

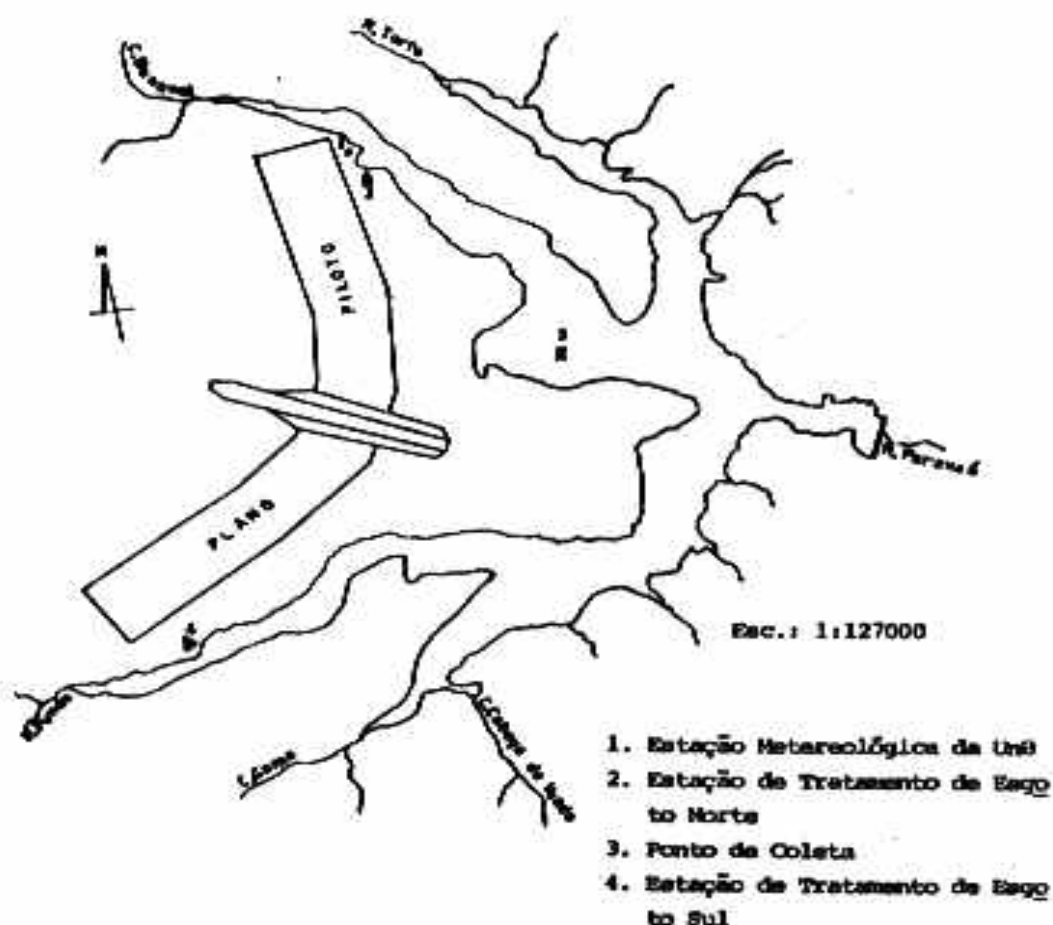


Figura 1 - Localização do Lago Paranoá em relação à cidade de Brasília.

ponto de amostragem se situou a ± 800 m da margem com uma profundidade média de 14 metros. As amostras para análises físico-químicas e biológicas da água foram coletadas com garrafa de Van Dorn (5 litros) nas profundidades de 0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 e 12,0 m.

Para as medidas de temperatura da água utilizou um termo-condutímetro marca YSI-33, sendo esta medida feita de metro em metro. A medida de transparência da água foi feita com um disco de Secchi. O pH foi determinado potenciométricamente. A alcalinidade, o carbono inorgânico dissolvido e o CO_2 foram determinados segundo MACKERETH et al. (1978). O oxigênio dissolvido foi determinado no campo com oxímetro

YSI-58A A amônia foi determinada pelo método de Nessler (APHA, 1976) e o fósforo total segundo GOLTERMAN et al. (1978) A determinação de clorofila foi realizada em acetona a frio segundo LORENZEN (1967) A produtividade primária do fitoplâncton foi determinada nas profundidades de 100; 50; 25; 10 e 1% de penetração de luz. As incubações foram feitas em garrafas claras e escuras durante um período de 3 horas, sendo o oxigênio dissolvido das garrafas determinado pelo método de Winkler.

Foram calculados os valores integrados dos vários parâmetros limnológicos por planimetria numa coluna d'água de 6,0 m. Para as análises estatísticas de correlação linear foi utilizado o pacote estatístico SPSS (versão 8) existente no CPD da Universidade de Brasília. Os coeficientes de correlação linear foram determinados entre as variáveis integradas na coluna d'água.

RESULTADOS

A Fig. 2 mostra os valores médios mensais da temperatura do ar (máximas, médias e mínimas) e a precipitação

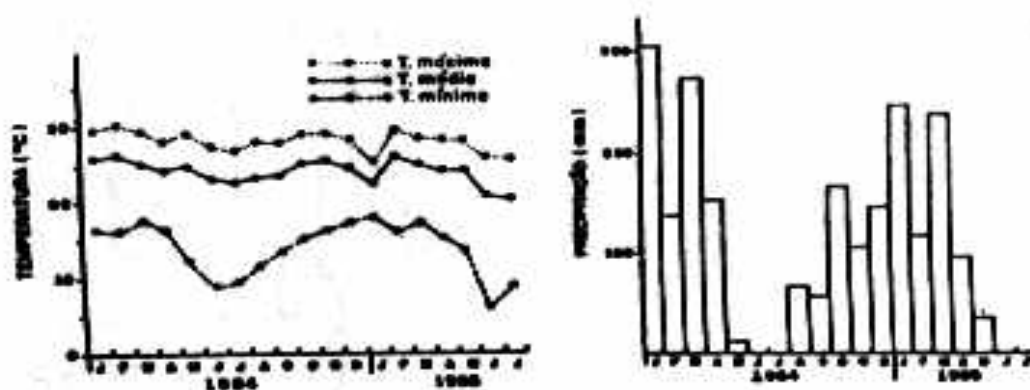


Figura 2 - Valores médios mensais de temperatura máxima, média e mínima do ar e totais mensais de precipitação para o Lago Paranoá.

durante o período de estudo, obtidos na Estação Meteorológica da UnB. Nota-se que o período de maio a agosto se caracteriza por uma estação seca com pronunciado abaixamento da temperatura mínima do ar. Estes parâmetros climatológicos tem importante influência sobre o comportamento térmico do Lago Paranoá.

O comportamento térmico sazonal do Lago Paranoá é mostrado na Fig. 3. Nota-se uma coincidência entre o período seco e o período de isoterμία.

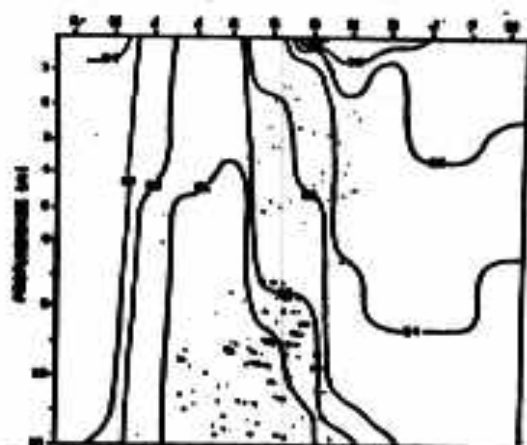


Figura 3 - Diagrama sazonal da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) para o Lago Paranoá.

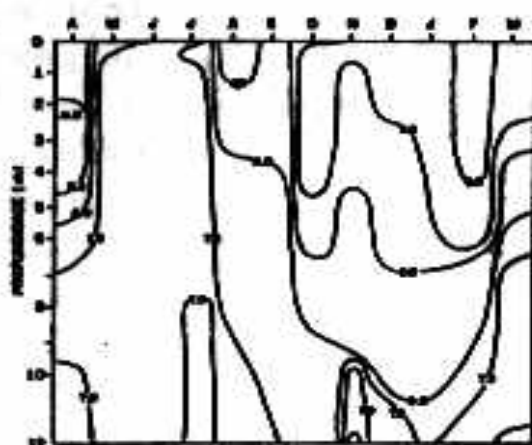


Figura 4 - Diagrama sazonal do pH da água para o Lago Paranoá.

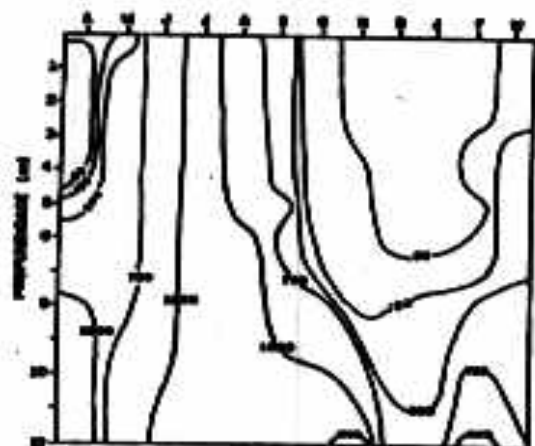


Figura 5 - Diagrama sazonal da concentração de amônia (em $\mu\text{g l}^{-1}$) para o Lago Paranoá.

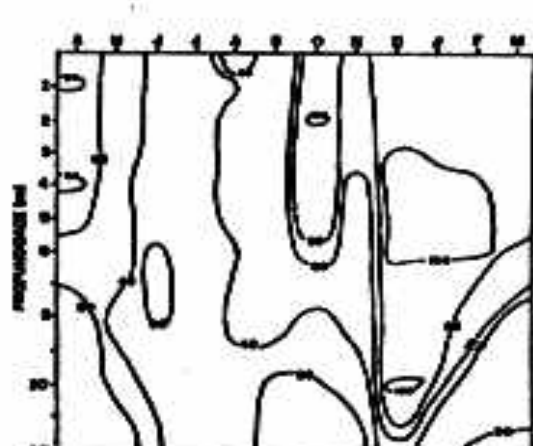


Figura 6 - Diagrama sazonal da concentração de clorofila (em mg m^{-3}) para o Lago Paranoá.

Parâmetros como pH (Fig. 4), concentração de amônia (Fig. 5) e concentração de clorofila (Fig. 6) se mostraram associados ao padrão térmico do Lago Paranoá, isto é, apresentaram pequena estratificação no período seco. A relação entre estes parâmetros limnológicos e o gradiente térmico do Lago Paranoá é também mostrado pelos coeficientes de correlação linear entre estas variáveis integradas na coluna d'água e apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 - Matriz de correlação de Pearson entre os parâmetros limnológicos do Lago Paranoá.

	1	2	3	4	5	6	7
1 PPL-área	-						
2 PPL-max.	0,84*						
3 Clor.-epil.	0,28	0,58*	-				
4 NH ₄ -epil.	-0,30	-0,63*	-0,88*	-			
5 Secchi	-0,29	-0,64*	-0,84*	0,85*	-		
6 pH-epil.	0,45	0,63*	0,91*	-0,86*	-0,81*	-	
7 Temperat.	0,45	0,73*	0,79*	-0,96*	-0,77*	0,79*	-

* = p 0,05.

Apesar do Lago Paranoá apresentar uma tendência à estratificação no período chuvoso, a diferenciação entre epilimnio e hipolimnio não é muito evidente. Entretanto, nota-se que a região epilimnética tende a se situar entre 0,0 e 6,0 metros de profundidade.

A concentração de fósforo total no Lago Paranoá mostrou-se baixa e sem evidência de variação sazonal. A concentração média de fósforo total no epilimnio foi de 26,0 $\mu\text{g l}^{-1}$ (P-PO₄ total) e no hipolimnio foi de 24,0 $\mu\text{g l}^{-1}$ (P-PO₄ total), não mostrando diferenças significativas en-

tre estas duas camadas.

Como mostra a Fig. 6, a concentração de clorofila apresenta uma sazonalidade evidente, com altas concentrações no período chuvoso enquanto que no período seco há um decréscimo na concentração de clorofila e uma homogeneização em toda coluna de água.

A Fig. 7 mostra os perfis de produção primária bruta

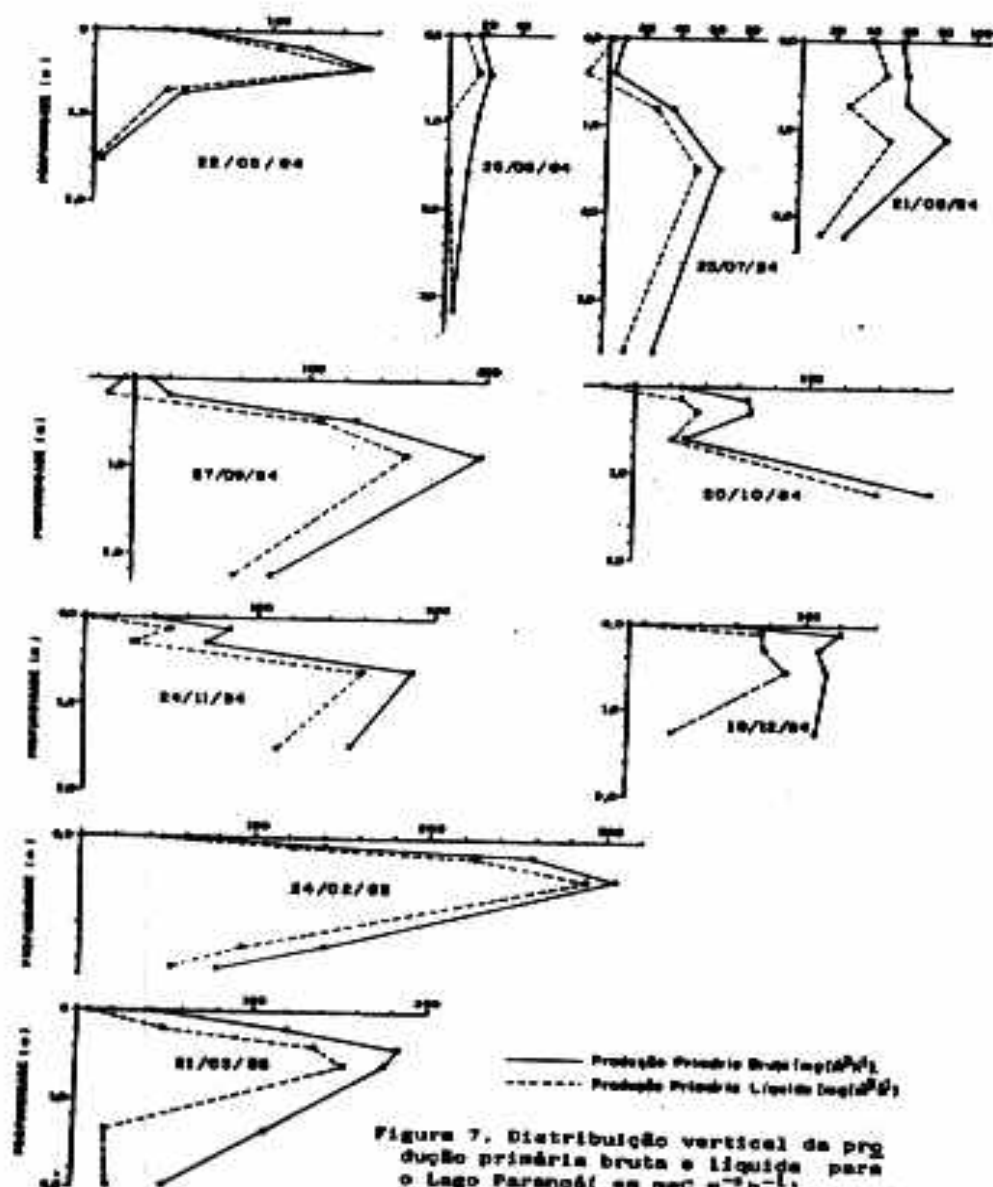


Figura 7. Distribuição vertical da produção primária bruta e líquida para o Lago Paranoá (em $\text{mgC m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

ta e líquida do fitoplâncton do Lago Paranoá. Nota-se que houve uma inibição superficial da produção primária em todos os meses com exceção do mês de agosto. Na Tab. 2 são apresentados os valores de produção primária integrados por área. O valor médio de produção primária líquida para o Lago Paranoá foi de $118,0 \text{ mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ($= 1,40 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Tabela 2 - Valores integrais de alguns parâmetros limnológicos para o Lago Paranoá. Produção primária bruta (PPB), produção primária líquida (PPL) e respiração (Resp.) em $\text{mgC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Concentração de clorofila no epílimnio em mg m^{-2} . Zona eufótica em metros e valor médio de pH na zona eufótica.

	1984								1985	
	M	J	J	A	S	O	N	D	F	M
PPB	97,9	43,0	142,8	133,5	282,7	90,7	213,7	136,9	306,0	242,2
PPL	85,2	14,3	96,5	81,0	231,5	62,7	160,4	79,8	261,8	129,0
Resp.	12,7	28,7	46,3	52,5	51,2	28,0	53,3	57,1	44,2	113,2
Cl _a	303	207	163	326	268	568	359	599	603	541
Ze _u	1,5	3,2	3,6	2,3	2,3	1,2	1,5	1,3	1,2	1,3
pH	7,4	7,4	7,2	8,4	8,2	9,2	9,8	9,1	9,5	9,1

DISCUSSÃO

TUNDISI (1977) evidenciou o papel do vento como agente promotor da circulação em lagos e reservatórios pouco profundos. No Lago Paranoá o vento isoladamente não parece influenciar a homogeneização da coluna d'água, uma vez que os ventos na região de Brasília se apresentam constantes (TOLEDO, 1986). Entretanto, no período de menor gradiente térmico do Lago Paranoá, que corresponde à época seca, os

ventos podem contribuir para a homogeneização da coluna d'água.

A diminuição do gradiente térmico no Lago Paranoá está associado à queda de temperatura do ar no período seco, principalmente em relação às temperaturas mínimas do ar. LEWIS (1983) mostrou que a perda de calor pela evaporação da água é o principal fator do mecanismo de homogeneização no Lago Valencia (Venezuela). No Lago Paranoá esta perda de calor é mais intensa no período seco, uma vez que a umidade relativa do ar é baixa e a diferença entre a temperatura do ar e da água é maior que no período chuvoso. O abaixamento da temperatura do ar associado à baixa umidade relativa parece ser um fator importante no mecanismo de homogeneização do Lago Paranoá na época seca.

GANF e HORNE (1975) e BARBOSA (1981) enfatizam que o resfriamento noturno propiciam variações diurnas, entretanto MALONE (1982) diz que a amplitude e persistência das variações diurnas têm reflexos sobre o padrão térmico sazonal de um lago. O Lago Paranoá no período seco pode estar sujeito às variações diurnas, embora como se verificou neste trabalho, o gradiente térmico em termos sazonais é menor na época de seca. Desta maneira, pode-se considerar a época seca como o período de homogeneização do Lago Paranoá. Deve-se salientar que trabalhos de BJORK (1979), FREITAS (1983) e GIANI (1984) encontraram períodos diferentes para a época de isotermita do Lago Paranoá. Conforme a região do lago que estes autores pesquisaram, outros fatores como pequena profundidade, entrada de tributários, influência de margem, etc.; podem ter contribuído em maior ou menor grau na diferenciação do período de isotermita do Lago Paranoá. MATTOS et al. (1985) trabalhando em uma região próxima a deste trabalho encontrou condições de isotermita no período seco, o que corrobora os dados aqui apresentados.

A relação positiva entre pH e temperatura da água pode ser devido a um efeito indireto, uma vez que o aumento da temperatura acelera a cinética das reações fotossintéti-

cas, as quais deslocam o pH para valores alcalinos (MARGALEF, 1983; TALLING, 1957). Isto ficou evidente para o Lago Paranoá, já que os maiores valores de pH ocorreram nos meses mais quentes e com maiores valores de produção primária e de concentração de clorofila. A diminuição do pH na época seca pode ter ocorrido como consequência da diluição dos íons responsáveis pelo pH, isto é, com a homogeneização da massa d'água, o déficit de carbono inorgânico no epilimnio foi contrabalanceado pelo excesso de carbono inorgânico acumulado no hipolimnio.

A transparência do Lago Paranoá se mostra inversamente correlacionada com a concentração de clorofila, indicando ser o fitoplâncton o principal componente na atenuação vertical da luz. Segundo KALF (1983) e VINER (1977), em lagos eutróficos com bom suprimento de nutrientes a luz pode ser um fator limitante à produção primária do fitoplâncton, uma vez que devido a alta biomassa ocorreria o auto-sombreamento da comunidade fitoplanctônica. Segundo estes mesmos autores, nestes lagos dominaria uma comunidade fitoplanctônica adaptada à sombra. A presença de altas concentrações de clorofila na zona afótica e a pequena espessura da zona eufótica sugerem que o fitoplâncton do Lago Paranoá apresenta características ecológicas de adaptação à sombra. Entretanto, a presença de clorofila detrital nas maiores profundidades e curvas de saturação de luz terão que serem investigadas em trabalhos futuros para melhor se testar tal hipótese.

A estratificação térmica tem sido sugerida como um dos principais fatores que afetam a produção primária do fitoplâncton por impedir o suprimento de nutrientes provenientes das camadas mais profundas (BEADLE, 1966; LEWIS, 1973) e por aumentar a taxa de respiração devido ao aumento de temperatura (GANF e HORNE, 1975; RHEE e GOTHAM, 1981). Neste trabalho notou-se que a produção primária líquida nas camadas superficiais foi pequena, o que indica altas taxas de respiração. Quanto à depleção de nutrientes nestas camadas não foi possível observar devido a não disponibilidade de

dados sobre os nutrientes dissolvidos, principalmente ortofosfatos. O fósforo dissolvido no Lago Paranoá se apresenta geralmente abaixo do limite de detecção, isto é, $2 \mu\text{g l}^{-1}$ (MATTOS et al., 1985; BJORK, 1979). LINDMARK (1977), através de experimentos de enriquecimento artificial sugeriu que o fósforo seria um fator limitante à produção primária do fitoplâncton no Lago Paranoá. A relação entre fósforo total e concentração de clorofila no epilimnio tem sido sugerida por vários autores como um procedimento na avaliação do papel do fósforo na eutrofização de lagos (DILLON e RIGLER, 1974; HICKMAN, 1980; SAKAMOTO, 1966; VOLLENWEIDER, 1978). Para o Lago Paranoá, a correlação entre fósforo total e concentração de clorofila foi baixa ($r = 0,38$) e não significativa. Como salienta SMITH (1979) e SMITH e SHAPIRO (1981) a correlação entre fósforo total e concentração de clorofila não deve ser usada indiscriminadamente uma vez que o fósforo total corresponde a um somatório de várias formas de fósforo de difícil significado biológico.

A produção primária do fitoplâncton por unidade de área no Lago Paranoá não apresentou marcante sazonalidade, embora nota-se que os maiores valores ocorrem no período chuvoso. HARRIS (1973) salienta que as variações diárias ou semanais na produção primária são às vezes mais importantes que as variações sazonais, principalmente em lagos tropicais. No caso do Lago Paranoá, com grande carga de nutrientes, as flutuações da produção primária do fitoplâncton se assemelham às situações encontradas por JEWSON (1976), JONES (1977) e HARRIS et al. (1980) em lagos temperados e as encontradas por ALVES (1983) e FISHER (1979) em lagos amazônicos. Nestes lagos a irregularidade no padrão sazonal da produção primária se associou às flutuações no aporte de nutrientes. É sabido que a contribuição das estações de tratamento de esgotos é significativo para o aporte de nutrientes no Lago Paranoá (CORDEIRO NETO e DUTRA, 1981). Desta maneira, a irregularidade no padrão sazonal da produção primária do fitoplâncton pode estar associada às condições de opera-

ção das estações de tratamento de esgotos.

Nos meses de seca nota-se que a concentração de clorofila no epilimnio é menor que no período chuvoso e isto pode ter refletido na baixa produtividade primária por unidade de área. Entretanto, em termos sazonais, a concentração de clorofila no epilimnio não se correlacionou com a produtividade primária por unidade de área, o que justifica a afirmação de LEWIS (1974) e KLOET (1982) de que não existiria um fator determinante único que governe a produção primária do fitoplâncton durante todo ano.

O Lago Paranoá se caracteriza por ser um reservatório eutrófico. A produtividade do Lago Paranoá se encontra dentro dos limites de produtividade primária apresentados por BOYTON et al. (1983); LIKENS (1975) e WETZEL (1975) para lagos eutróficos. Os valores de produção primária do fitoplâncton do Lago Paranoá apresentaram uma faixa de variação entre 0,20 e 3,10 $\text{gC m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com média de 1,41 $\text{gC m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Estes valores se comparam aos encontrados por TUNDISI (1983) nas represas de Pedreira (Billings), Rio das Pedras e Riacho Grande (Billings); com respectivamente 1,913; 1,371 e 1,467 $\text{gC m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Há de se notar que estas represas se situam próximas à cidade de São Paulo e se encontram em avançado estágio de eutrofização, como ocorre com o Lago Paranoá.

Concluimos que, o lago Paranoá é um ecossistema aquático caracterizado por uma alta taxa de produção primária líquida do fitoplâncton. A variação sazonal da produção primária não é marcante, embora os maiores valores ocorram no período de chuva. A inibição superficial da produção primária do fitoplâncton é característica e parece estar associada às altas intensidades de radiação luminosa.

A isoterмия da coluna d'água no Lago Paranoá ocorre nos meses de seca (junho/agosto), sendo o resfriamento superficial e a perda de calor pela evaporação da água os principais fatores que contribuem para a isoterмия do lago nesta época do ano. Parâmetros como concentração de clorofi

la, pH, oxigênio dissolvido e concentração de amônia se mostraram associados ao padrão térmico sazonal do Lago Paranoá.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L.F. *Estudo sazonal de produção primária e fatores ecológicos num lago de terra firme da Amazônia Central (Lago Verde/Rio Negro)*. Manaus, INPA/UFA, 1983. 132p. (Dissertação)
- APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 14 ed. New York, 1976. 1193p.
- BARBOSA, F.A.R. *Variação diurna (24 horas) de parâmetros limnológicos e da produtividade primária do fitoplâncton na Lagoa Carioca - Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil*. São Carlos, UFSCar, 1981. 207p. (Tese)
- BEADLE, L.C. Prolonged stratification and deoxygenation in tropical lakes. I. Crater Lake Nkugute, Uganda, compared with Lakes Bunyoni and Edward. *Limnol. Oceanogr.*, 11 (2): 152-63, 1966.
- BJORK, S. *The Lago Paranoá restoration project*. Brasília, DF, CAESB, 1979. 45p. (Relatório final)
- BOYNTON, W.R.; HALL, C.A.; FALKOWSKY, P.G.; KEEFE, C.W.; KEMP, W.M. Phytoplankton productivity in aquatic ecosystem. In: LANGE, O.L. et al., ed. *Physiological plant ecology*. Berlin, Springer-Verlag, 1983. p. 305-27.
- CORDEIRO NETO, O.M. & DUTRA Fº, D. Aporte de fósforo do Lago Paranoá, Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, Fortaleza, CE, 1981. 21p.
- DILLON, P.J. & RIGLER, F.H. The phosphorus-chlorophyll re-

- relationships in lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 19 (5): 767-73, 1974.
- FÉLIX, C.R.; FILHO, D.; FERNANDES, C.S. Determinação da velocidade de reaeração e de dispersão água-sedimento e fixação de CO₂ no Lago Paranoá de Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10, Manaus, 1979. 19p.
- FISHER, T.R. Plankton and primary production in aquatic systems of the Central Amazon Basin. *Comp. Biochem. Physiol.*, 82a: 31-38, 1979.
- FREITAS, J.S. *Variação sazonal e distribuição vertical de microcrustáceos planotônicos no Lago Paranoá, DF.* Brasília, DF, UnB, 1983. 110p. (Dissertação)
- GANF, G.G. & HORNE, A.J. Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogen-fixation in a shallow, equatorial lake (Lake George, Uganda). *Freshwat. Biol.*, 5: 13-39, 1975.
- GIANI, A. *Distribuição horizontal do fitoplâncton e zooplâncton no Lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil.* Brasília, DF, UnB, 1984. 147p. (Dissertação)
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTEAD, M.A.M. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters.* Oxford, Blackwell, 1978. 213p. (IBP Handbook, 8)
- HARRIS, G.P. Diel and annual cycles of net plankton photosynthesis in Lake Ontario. *J. Fish. Res. Board Can.*, 30: 1779-87, 1973.
- HARRIS, G.P.; HAFFNER, G.D.; PICCININ, B.B. Physical variability and phytoplankton communities: II. Primary productivity by phytoplankton in a physically variable environment. *Arch. Hydrobiol.*, 88 (4): 393-425, 1980.
- HICKMAN, E.M. Phosphorus, chlorophyll and eutrophic lakes.

- Arch. Hydrobiol.*, 88 (2): 137-45, 1980.
- JEWSON, D.H. The interaction of components controlling net phytoplankton photosynthesis in a well-mixed lake (Lough Neagh, Northern Ireland). *Freshwat. Biol.*, 8: 551-76, 1976.
- JONES, R.I. Factors controlling phytoplankton production and succession in a highly eutrophic lake (Kinnega Bay, Lough Neagh). I. The phytoplankton community and its environment. *J. Ecol.*, 65: 547-59, 1977.
- KALF, J. Phosphorus limitation in some tropical African lakes. *Hydrobiologia*, 100: 101-12, 1983.
- KLOET, W.A. The primary production of phytoplankton in Lake Vechten. *Hydrobiologia*, 95: 37-57, 1982.
- LEWIS, W.M. The thermal regime of Lake Lanao (Phillipines) and its theoretical implications for tropical lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 18 (2): 200-17, 1973.
- _____. Primary production in the plankton community of tropical lake. *Ecol. Monogr.*, 44 (4): 377-409, 1974.
- _____. Temperature, heat and mixing in Lake Valencia, Venezuela. *Limnol. Oceanogr.*, 28 (2): 273-86, 1983.
- LIKENS, G.E. Primary production of inland aquatic ecosystem. In: LIETH, H. & WHITTAKER, R.H., ed. *Primary productivity of the biosphere*. New York, Springer-Verlag, 1975. p. 185-202.
- LINDMARK, G. *The lago Paranoã restoration project. Bioassays field and laboratory experiments and phytoplankton productivity.* Brasília, DF, CARSB, 1977. 27p. (Relatório final)
- LORENZEN, C.J. Determination of chlorophyll and pheopigments:

- spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12: 343-6, 1967.
- MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Ambleside, Freshwater Biological Association, 1978. 120p. (Scientific Publication, 36)
- MALONE, T.C. Phytoplankton photosynthesis and carbon specific growth: light saturated rates in a nutrient-rich environment. *Limnol. Oceanogr.*, 27 (2): 226-35, 1982.
- MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona, Omega, 1983. 1010p.
- MATTOS, S.P.; ALVES, V.R.E.; CAVALCANTI, C.G.B.; EVARISTO, S.M.S.; COLLARES, S.A.P. Contribuição ao estudo limnológico do Lago Paranoá, Brasília, Brasil. In: SIMPÓSIO DE CICLAGEM DE NUTRIENTES, 1, São Carlos, SP. 1985.
- REYNOLDS, C.S. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwat. Biol.*, 14: 111-42, 1984.
- RHEE, G.Y. & GOTHAM, I.J. The effect of environmental factors on phytoplankton growth: Temperature and interaction of temperature with nutrient limitation. *Limnol. Oceanogr.* 24 (4): 635-48, 1981.
- SAKAMOTO, M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Arch. Hydrobiol.*, 68 (1): 1-28, 1966.
- SIMONATO, A.D. *Ciclos diurnos de fatores ecológicos na Represa do Lobo (Broa)*. São Carlos, UFSCar, 1986. 153 p. (Dissertação)
- SMITH, V.H. Nutrient dependence of primary productivity in lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 24 (6): 1051-64, 1979.

- SMITH, V.H. & J. SHAPIRO, J. Chlorophyll-phosphorus relations in individual lakes. Their importance to lake restoration strategies. *Environ. Sci. Technol.*, 15: 444-51, 1981.
- TALLING, J.F. The phytoplankton populations as a compound of photosynthetic system. *New Phytol.*, 56: 133-49, 1957.
- TOLEDO, L.G. *Estudo sazonal da produção primária do fitoplâncton e dos fatores limnológicos no Lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil.* Brasília, DF, UnB, 1986. 96p. (Dissertação)
- TUNDISI, J.G. *Produção primária, "standing-stock", fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial (Represa do Broa, São Carlos).* Ribeirão Preto, SP, USP, 1977. 207p. (Tese Livre-Docência)
- _____. A review of basic ecological processes interacting with production and stand-stock of phytoplankton in lakes and reservoir in Brazil. *Hydrobiologia*, 100: 223-43, 1983.
- VINER, A.B. Relationships of nitrogen and phosphorus to a tropical phytoplankton population. *Hydrobiologia*, 52 (2/3): 185-96, 1977.
- VOLLENWEIDER, R.A. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lakes eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 53-83, 1978.
- WETZEL, R.G. *Limnology.* Philadelphia, W.B. Saunders, 1975. 743p.

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários do Laboratório de Ecologia da

Universidade de Brasília; aos funcionários do Laboratório de Limnologia da CAESB e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão da Bolsa de Mestrado. Agradeço também ao Prof. Kozo Hino pelas valiosas discussões.

ENDEREÇO DOS AUTORES

TOLEDO, L.G.

ENGEVIX S.A. - UHE-Santa Isabel

77940 Ananás - GO

HAY, J.D.

Universidade de Brasília

Departamento de Biologia Vegetal

70910 Brasília - DF