

# VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA PELO FITOPLÂNCTON NA REPRESA DE JURUMIRIM (RIO PARANAPANEMA, SP)

HENRY, R., NUNES, M. A., MITSUKA, P. M., LIMA, N. DE  
e CASANOVA, S. M. C.

Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP, C.P. 510, CEP 18618-000, Botucatu, SP

Correspondência para: Raoul Henry, Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências,  
UNESP, C.P. 510, CEP 18618-000, Botucatu, SP, e-mail: zoologia@ibb.unesp.br

Recebido em 11/08/97 – Aceito em 19/08/98 – Distribuído em 30/11/98

(Com 10 figuras)

## ABSTRACT

### **Spatial and temporal variations on the primary productivity by the phytoplankton in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River, São Paulo, Brazil)**

A study on the spatial and temporal variations of the primary productivity by phytoplankton was conducted in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River, São Paulo, Brazil) from October, 1995 to July, 1996. Six sampling stations were selected, three in Paranapanema Arm, two in Taquari Arm and one in das Posses Arm. The  $C^{14}$  method was used for measuring the primary production and a study on the correlated physical and chemical variables was made.

In November, 1995 and in January-February, 1996 the  $T_2$  station (transition region of Taquari Arm) presented the highest value of primary production (23.9 and 20.1  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ , respectively) and in the other two studied periods (April and July, 1996), it was the second most productive station (6.0 and 10.2  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ , respectively). In das Posses station, the primary production presented the highest value in April (19.8  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ ) and July, 1996 (15.2  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ ), when compared with the other five stations. In Taquari Arm, an increase on the primary production occurred from the  $T_1$  (riverine zone) to  $T_2$  stations (transition region), in all the four studied periods. In Paranapanema Arm, an increase on the primary production was also observed from the  $P_1$  (riverine zone) to  $P_2$  (transition zone) and to  $P_3$  stations (main water body zone) in October-November, 1995 and July, 1996. In January-February 1996, the increase in the three successive stations was low, while in April, 1996 no significant variation was observed on the primary production. A variance analysis showed that there were significant modifications in the suspended matter amounts, in the water conductivity and in the inorganic phosphate and nitrate concentrations in the different periods of the year.

The seasonal variations can be attributed to the water precipitation, to the allochthonous loads of suspended solids, nitrogen and phosphorus introduced by the two tributaries, and to internal recycling of nutrients. The statistical analysis also showed significant differences between sampling stations on the primary productivity by phytoplankton, on the euphotic zones, on the water conductivity and on the silicate concentrations. The spatial differences of the primary productivity are due to the modifications on the amplitudes of the euphotic zones. The euphotic layer presents longitudinal variations, that can be attributed, besides the solar radiation intensities, to the different allochthonous material loads, the tripton sedimentation and the sediment resuspension caused by the water circulation. The spatial differences in the silicate concentrations and in the water conductivity are due to the geological influences of the watershed of each tributary (Paranapanema, Taquari and das Posses Rivers). The ions and silicate inputs by the three rivers present a different dilution when introduced in each compartment of the reservoir.

*Key words:* primary production, phytoplankton, limiting factors, tropical reservoir.

## RESUMO

Com a finalidade de detectar possíveis variações espacial e temporal na produtividade primária pelo fitoplâncton, um estudo foi efetuado na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, afluente do Alto Paraná, Brasil) no período de outubro de 1995 a julho de 1996 em três compartimentos, os Braços Paranapanema (três pontos), Taquari (dois pontos) e Ribeirão das Posses (um ponto). O método do  $C^{14}$  foi utilizado para a medição da produção primária e um estudo de parâmetros físicos e químicos correlatos na coluna de água foi feito também.

Em novembro de 1995 e janeiro-fevereiro de 1996, o local  $T_2$  (região de transição no Braço Taquari) foi o mais produtivo (23,9 e 20,1  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ , respectivamente) e, nos dois outros períodos (abril e julho de 1996), foi o 2º ponto com maior produção (6,0 e 10,2  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ ). No Braço Ribeirão das Posses, a produção foi a mais elevada dos 6 pontos em abril (19,8  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ ) e julho de 1996 (15,2  $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ ). No Braço Taquari, houve em todas as quatro épocas do ano uma elevação da produção do ponto  $T_1$  (zona de influência do Rio Taquari) para o ponto  $T_2$  (região de transição no Braço). No Braço Paranapanema, tendência similar foi observada, isto é, aumento da produção desde o ponto  $P_1$  (zona de influência do Rio Paranapanema) para o ponto  $P_2$  (zona de transição no Braço), e deste ponto para a estação  $P_3$  (corpo principal do reservatório, Braço Paranapanema) em outubro-novembro de 1995 e em julho de 1996. Em janeiro-fevereiro de 1996, esta tendência não foi muito nítida, enquanto em abril, não houve variações significativas na produção primária entre pontos do Braço Paranapanema. Uma análise de variância mostrou que houve variações significativas no conteúdo de material em suspensão, na condutividade da água e nos teores de fosfato inorgânico e nitrato entre as diferentes épocas do ano. As variações encontradas refletem a sazonalidade esperada em função da precipitação local e, em parte, as influências alóctones, decorrentes de alterações nas cargas de material em suspensão e nitrogênio e fósforo, introduzidas pelos tributários e, em parte, a ciclagem interna dos nutrientes. A análise estatística também mostrou diferenças significativas entre pontos de amostragem na produtividade primária pelo fitoplâncton, zona eufótica, condutividade da água e teores de silicato.

As diferenças entre pontos na produtividade primária são, em parte, decorrentes das alterações da espessura da zona eufótica. Estas zonas variam longitudinalmente em função da quantidade de material alóctone presente e a sua possível sedimentação e ressuspensão, em função da circulação parcial ou completa da água, e da nebulosidade distinta em cada local e dia de medida. As diferenças entre pontos de amostragem no conteúdo de silicato e na condutividade devem-se às influências geológicas nas bacias de drenagem de cada reservatório (Rios Paranapanema e Taquari e Ribeirão das Posses) que, introduzindo íons e sílica em quantidades diferentes nos três Braços, sofrem um efeito de diluição em função do volume de água acumulado em cada compartimento.

*Palavras-chave:* produção primária, fitoplâncton, fatores limitantes, represa tropical.

## INTRODUÇÃO

Os reservatórios ocupam posição intermediária dentro do continuum rio-lago. Esta peculiaridade é decorrente de características típicas que estes ambientes apresentam: a) forte influência externa (carga de nutrientes e sedimentos); b) morfologia e hidrologia distinta de lagos e rios; c) fontes externas e internas de matéria orgânica (Kimmel *et al.*, 1990). Dependendo do tempo de residência (volume/vazão) da água, os reservatórios também podem variar muito entre si. Se

o tempo de residência for muito baixo, os reservatórios com esta natureza assumem características ecológicas próximas aos ecossistemas lóticos. No outro caso (tempo de residência elevado), os reservatórios apresentam características similares a ambientes lênticos. Em função deste parâmetro (tempo de residência) e da distribuição advectiva dos sedimentos e nutrientes introduzidos pelos tributários, a extensão de cada uma das três zonas, normalmente encontradas nas represas (zona de influência dos rios – próxima a desembocadura dos tributários; zona lacustre – próxima à barra-

gem; e zona intermediária) pode ampliar-se ou reduzir-se muito. Além disso, em função do padrão dendrítico complexo (como, por exemplo, com a presença de braços e baías laterais ao corpo principal da represa), do possível desenvolvimento de estratificação térmica (com massas de água com pouca circulação, como, por exemplo, a zona hipolimnética) e da tomada de água para a geração de energia elétrica em diferentes alturas da barragem (na superfície, região intermediária ou fundo), os diferentes compartimentos constituintes dos reservatórios apresentam tempos de residência distintos. Estas características, próprias de cada reservatório, sujeitas a uma ampliação e redução de suas zonas internas, em função de pulsos externos sazonais de sedimentos e nutrientes, implicam a geração de gradientes de heterogeneidade espacial nestes ambientes. Esta natureza pode acarretar uma modificação na estrutura, composição, abundância, tamanho das populações fitoplanctônicas e, em consequência, na produção de matéria orgânica.

O objetivo deste trabalho é mostrar possíveis variações espaciais e temporais da produtividade primária pelo fitoplâncton num grande reservatório de cabeceira (Represa de Jurumirim, Rio Paranapanema, São Paulo) e verificar as suas possíveis associações com fatores abióticos (de natureza externa e interna ao sistema).

Informações sobre a produtividade pelo fitoplâncton em reservatórios do Brasil não são muito numerosas. A maioria dos estudos (Tundisi *et al.*, 1977; Tundisi *et al.*, 1978; Basile-Martins *et al.*, 1985; Giancesella-Galvão, 1985, 1986; Toledo & Hay, 1988; Henry, 1993), exceto aquele de Tundisi & Matsumura-Tundisi (1990), refere-se a trabalhos de medições de produção primária pelo fitoplâncton na região lacustre (próxima à barragem) das represas.

## O AMBIENTE

A Represa de Jurumirim é a primeira de uma série de reservatórios em "cascata" no Rio Paranapanema, São Paulo, Brasil, cujas barragens ocasionam uma descontinuidade fluvial (Ward & Stanford, 1983). Este reservatório é um sistema de acumulação de água, pois seu volume é elevado (7.008 Hm<sup>3</sup>) e tem grande área de superfície (446 km<sup>2</sup> a uma cota de 568 m). Este reservatório foi formado pela confluência das águas de dois gran-

des tributários: Rios Paranapanema e Taquari. Apresenta bacia de drenagem (área: 17.800 km<sup>2</sup>) predominantemente coberta por florestas e áreas reflorestadas (35,2%), áreas agrícolas (17%), culturas temporárias (10%), pastagem (30,3%) e outros usos (7,5%) (Henry & Gouveia, 1993). Uma primeira síntese (Henry *et al.*, 1995) mostrou que este ambiente apresenta heterogeneidade espacial evidente em algumas das características químicas (como condutividade, alcalinidade e concentrações de material em suspensão), física (como a transparência medida pelo disco de Secchi) e biológica (clorofila-a). A análise das comunidades planctônica (Nogueira, 1996) e bentônica (Santos & Henry, 1997) mostrou também variações significativas na distribuição espacial e temporal destes organismos em compartimentos distintos do reservatório.

## MATERIAL E MÉTODOS

Seis estações de amostragem foram selecionadas na Represa de Jurumirim (Fig. 1), três no Braço Paranapanema, duas no Braço Taquari e uma no Braço Ribeirão das Posses. A escolha dos locais de estudo envolveu, supostamente, toda a compartimentalização possível na Represa (zonas de influência dos rios e de transição). Não foram feitas medidas na zona da barragem, pois os dados anteriores (Henry, 1993; e não publicados) constituem um conjunto de informações suficientes, usadas para efeito comparativo. A frequência de amostragem foi trimestral, durante um ano (outubro-novembro de 1995; janeiro-fevereiro de 1996; abril e julho de 1996). A seleção das épocas de amostragem envolveu os dois períodos climatológicos distintos durante o ano: estações seca e chuvosa.

Para a medição da produção pelo fitoplâncton dos diferentes pontos de amostragem foi utilizado o método do C<sup>14</sup> em frascos transparentes e escuros (Vollenweider, 1974). O método do carbono radioativo consiste da adição de uma quantidade de isótopo, sob forma de NaHC<sup>14</sup>O<sub>3</sub>, e da determinação da fixação de carbono radioativo pelo fitoplâncton em condições experimentais.

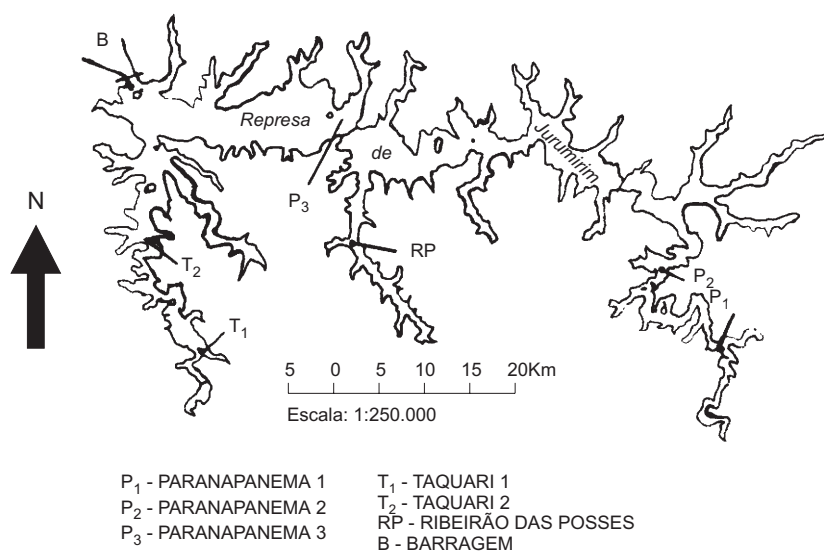
O procedimento envolveu as seguintes etapas: a) coleta de água com garrafa de Van Dorn (5 litros) nas profundidades correspondentes a 100, 50, 25, 10 e 1% da radiação solar de superfície, determinadas com o uso de um radiômetro

subaquático; b) inoculação em frascos (capacidade: 75 ml) de 1 ml de  $\text{NaHC}^{14}\text{O}_3$  com atividade equivalente a 5  $\mu\text{Ci}$  e, a seguir, enchimento do volume do frasco com água (contendo as populações fitoplancônicas) das diferentes profundidades. Para cada uma destas, dois frascos transparentes (tipo Jenna com 90% de transparência) e um escuro foram utilizados; c) incubação das amostras nas profundidades de origem durante 3,5-4,0 horas, em posição horizontal; d) após o período de incubação (em torno das 10 às 14 horas), remoção dos frascos de suas profundidades e filtração imediata (duas réplicas), utilizando-se de filtros Millipore H.A (0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade e 25 mm de diâmetro). O volume filtrado variou de 15 a 20 ml, dependendo da densidade dos organismos e da concentração de material em suspensão; e) determinação da radioatividade do  $\text{C}^{14}$  emitida pelos filtros, após a sua dissolução em 10 ml de líquido de cintilação (segundo Bray, 1960) e leitura (em C.P.M. "counts per minutes") em cintilador Beckmann modelo L.S. 100; f) cálculo do carbono assimilado, segundo equação proposta em Vollenweider (1974).

Para estimar a biomassa fitoplancônica (teor de clorofila-a), amostras de água foram filtradas em filtros Millipore AP 40. A seguir, os filtros foram acondicionados em envelopes e guardados em frasco escuro contendo sílica gel,

conservado à baixa temperatura ( $-20^\circ\text{C}$ ) até o momento da extração. Esta foi feita com acetona 90%. Após maceração, o extrato permaneceu no escuro aproximadamente 12 horas, em geladeira. A seguir, os extratos foram centrifugados (3.500 rpm por 10 minutos) e nos sobrenadantes foram feitas leituras de absorvância a 750 e 663 nm. Os cálculos foram efetuados segundo a equação de Golterman & Clymo (1969).

Na tentativa de avaliar os possíveis fatores controladores e limitantes da produção de matéria orgânica pelo fitoplâncton, algumas variáveis de natureza física e química foram medidas não somente na zona eufótica, mas também em três a quatro profundidades distribuídas entre o limite da camada eufótica e o sedimento. As variáveis estudadas foram: a) temperatura da água, medida com um termistor Toho-Dentam de 0,5 a 0,5 m, desde a superfície até o fundo; b) radiação solar subaquática, determinada desde a superfície e a intervalo de 50 cm até o limite de detecção do radiômetro Kahlsico; c) transparência da água, com o uso de um disco de Secchi; d) material em suspensão, determinado por diferença de peso de filtro (filtro Millipore AP 40), antes e após a filtração de um volume conhecido de água; e) oxigênio dissolvido; determinado através do método de Winkler, modificado pela adição de azida (Golterman & Clymo, 1969); f) pH, alcalinidade,



**Fig. 1** — Locais de amostragem na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, São Paulo, Brasil).

CO<sub>2</sub> total e C inorgânico: o primeiro foi medido com pHmetro, a alcalinidade determinada após acidificação (com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,01 N) de amostra de água (100 ml) até pH 4,35, e as demais obtidas através de cálculos propostos em MacKereth *et al.* (1978); g) condutividade: determinada após leitura das amostras de água em condutivímetro; h) Nitrato e nitrito, amônio, fosfato total e fosfato inorgânico, sílica reativa em água filtrada, utilizando os métodos de MacKereth *et al.* (1978), Koroleff (1976), Strickland & Parsons (1960) e Golterman & Clymo (1969), respectivamente.

## RESULTADOS

### a) Regime térmico e oxigenação da água

As Figs. 2 a 5 mostram os perfis verticais de temperatura da água nos seis pontos de coleta e nos quatro períodos de estudo. No primeiro (Fig. 2), observa-se tendência à isoterмия nas estações P<sub>1</sub> e T<sub>1</sub>, próximas à desembocadura dos principais tributários do reservatório (Rios Paranapanema e Taquari, respectivamente). Um perfil de temperatura com gradiente pouco acentuado foi encontrado no corpo principal da represa (estação P<sub>3</sub>). Nas demais estações, estratificação térmica evidente foi encontrada, com termoclina mais superficial em local menos profundo (estação P<sub>2</sub>) e termoclina em zona profunda (9-12 m) em estação (T<sub>2</sub>) com coluna de água maior. Em janeiro-início de fevereiro (Fig. 3), época considerada como “verão”, foi detectada nas estações do Braço Paranapanema (P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>) isoterмия, enquanto nas demais uma estratificação foi bem evidenciada. Nas estações T<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>, a presença de termoclinas múltiplas, com microestratificações térmicas, foi caracterizada nos locais. Isoterмия e circulação vertical foram encontradas em abril (Fig. 4), em todas as estações (exceto em T<sub>1</sub>, Braço Taquari – zona de influência do rio, onde um decréscimo da temperatura da água, a partir de 3 m, pode ser notado). Em julho (Fig. 5), tendência à isoterмия em todos os locais da represa também foi constatada, exceto nas estações R.P. e P<sub>3</sub>, onde uma estratificação térmica invertida foi observada. Entretanto, foi pouco pronunciada. As temperaturas de superfície (0,0 m) estiveram ao redor de 22-23°C em outubro-novembro de 1995 (1º período de estudo) e abril de 1996 (3º período). Em janeiro (época mais quente), as temperaturas de superfície oscilaram entre 27 e 29°C. Em ju-

lho (época mais fria), as temperaturas de superfície variaram entre 15 e 17,5°C.

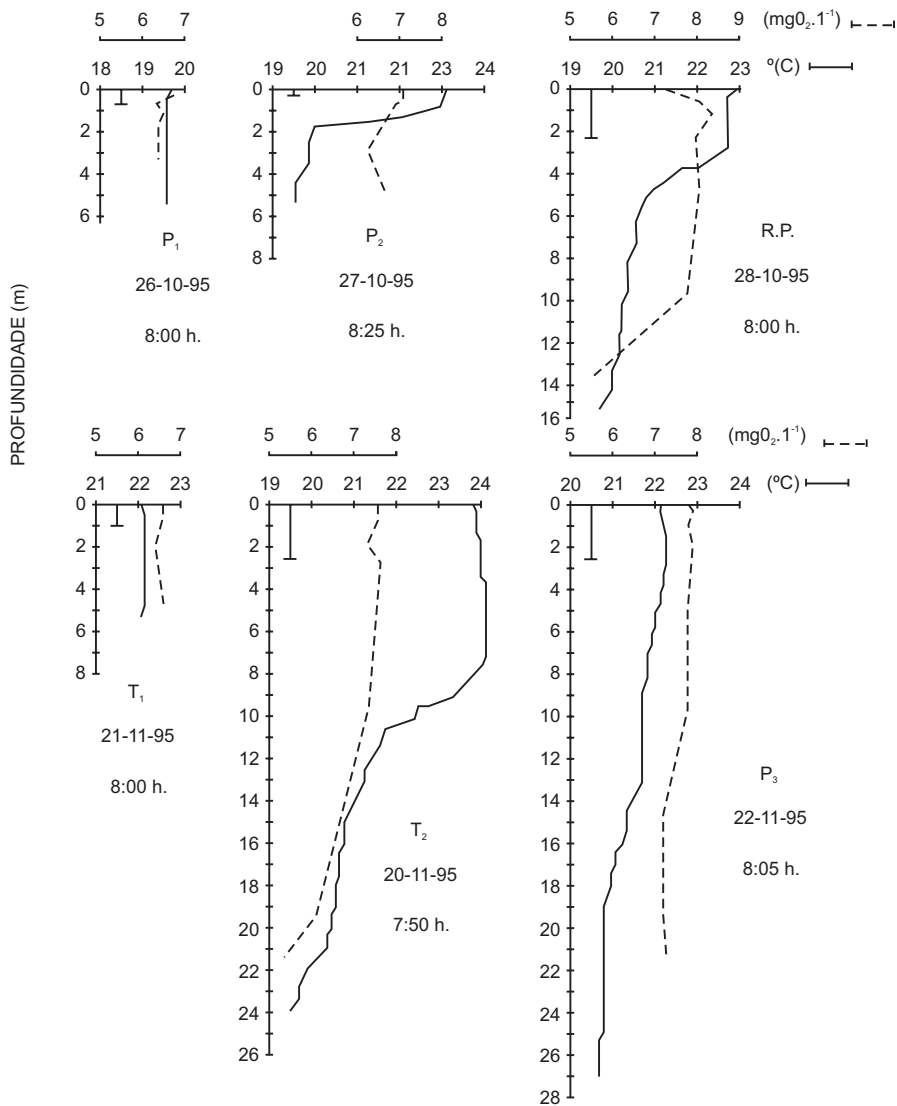
As Figs. 2 a 5 apresentam também os perfis de oxigênio dissolvido. No primeiro período (Fig. 2), observamos que nas estações mais profundas (R.P. e T<sub>2</sub>) houve uma redução de teor de oxigênio, próximo ao sedimento. Contudo, anoxia não foi observada. Em janeiro e início de fevereiro de 1996 (Fig. 3), perfis do tipo clinogrado puderam ser detectados, apesar de não muito bem caracterizados em função da amostragem reduzida na coluna de água (estações R.P., T<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>). As outras três, mais próximas à zona de desembocadura dos rios, apresentaram perfis mais homogêneos de oxigênio, com valores oscilando de 5 a 6 mgO<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup>. Em abril (Fig. 4), em decorrência da isoterмия e circulação, não houve diferenças na oxigenação na coluna de água. O único local que destoou desta descrição foi a estação T<sub>1</sub>, com redução do oxigênio com a profundidade. Gradiente térmico neste local também foi observado. Em julho (Fig. 5), em todos os locais não houve variação significativa de oxigênio em função da profundidade (exceto T<sub>1</sub>, com uma diminuição de cerca de 1 mgO<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup> no fundo).

### b) A produtividade primária pelo fitoplâncton da região pelágica no reservatório

As Figs. 6 e 7 mostram o padrão de variação de produção primária pelo fitoplâncton na zona eufótica nos seis locais de amostragem e nos quatro períodos de estudo. Em outubro-novembro de 1995 (Fig. 6), ocorreu fotoinibição em cinco dos seis locais de amostragem. Somente na estação P<sub>1</sub>, o valor máximo de produção foi encontrado na superfície. Nas duas estações mais a montante do Braço Paranapanema (P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>), a produção de matéria orgânica limita-se ao primeiro metro de profundidade. Mas uma diferença notável ocorre entre ambos os locais: o pico de produção em P<sub>2</sub> é cerca de quatro vezes mais elevado do que em P<sub>1</sub>. Nas demais estações, a zona trofогênica amplia-se até 5 m, exceto em T<sub>1</sub>, local mais próximo à desembocadura do Rio Taquari no reservatório. Os picos de produção máxima nestes quatro locais variaram de cerca de 5 (estação P<sub>3</sub>) a 20 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> (estação T<sub>1</sub>). Em janeiro de 1996 (Fig. 6), nas estações mais a montante e próximas da desembocadura (locais P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e T<sub>1</sub>), não foram observadas fotoinibições. Nestes pontos, ocorreu na superfície o pico mais

elevado de produção (em torno de 6-7,5 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>). Nos demais locais, estes foram detectados em zonas mais profundas. O perfil de produção pelo fitoplâncton na estação P<sub>3</sub> mostrou uma tendência à homogeneidade na zona eufótica, com pico leve a 50% de penetração de radiação solar e os valores não foram superiores a 2 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>. Nas estações R.P. e T<sub>2</sub>, os picos máximos de produção corresponderam a cerca de 4 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> e ocorreram, respectivamente, a 25 e 10% de penetração da radiação solar. Em abril de 1996 (Fig. 7), fotoinibição não foi detectada nas estações P<sub>2</sub> e

P<sub>3</sub>. Nas estações de amostragem do Braço do Parapanema (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>), os picos mais altos de produção não ultrapassaram 8 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>, enquanto nas estações do Braço Taquari (T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>), os valores mais altos de produção não atingiram 3 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>. Diferentemente dos valores anteriormente citados, a produção mais elevada encontrada na coluna de água no Braço Ribeirão das Posses (R.P.) elevou-se a cerca de 15 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>. Finalmente, em julho de 1996 (Fig. 7), a única estação de amostragem em que não ocorreu fotoinibição refere-se ao ponto P<sub>3</sub>, onde o valor mais alto

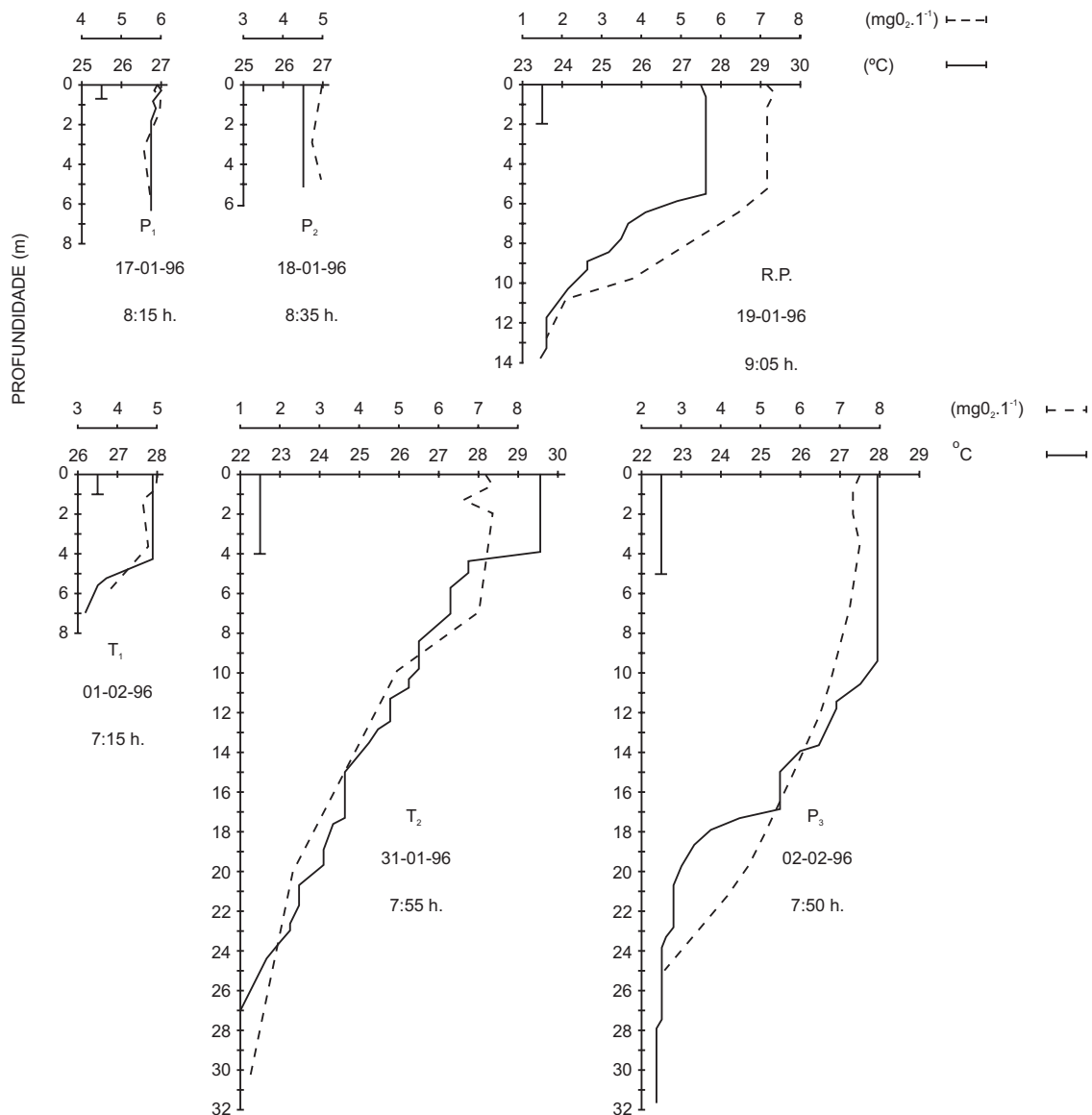


**Fig. 2** — Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido na água e transparência (Disco de Secchi) na Represa de Jurumirim em outubro e novembro de 1995.

de produção foi observado na superfície. Exceto na estação T<sub>2</sub>, a produção primária pelo fitoplâncton medida nesta época em todos os pontos estendeu-se em zona eufótica com espessura máxima de 4 m de profundidade. Os picos mais altos de produção atingiram 2 mgC.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> nas duas estações do Braço Taquari (T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>), enquanto no Braço Paranapanema (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>) os valores

de produção máxima na coluna de água tiveram um aumento crescente desde a estação mais a montante (P<sub>1</sub>) até aquela mais a jusante (P<sub>3</sub>) no corpo central do reservatório.

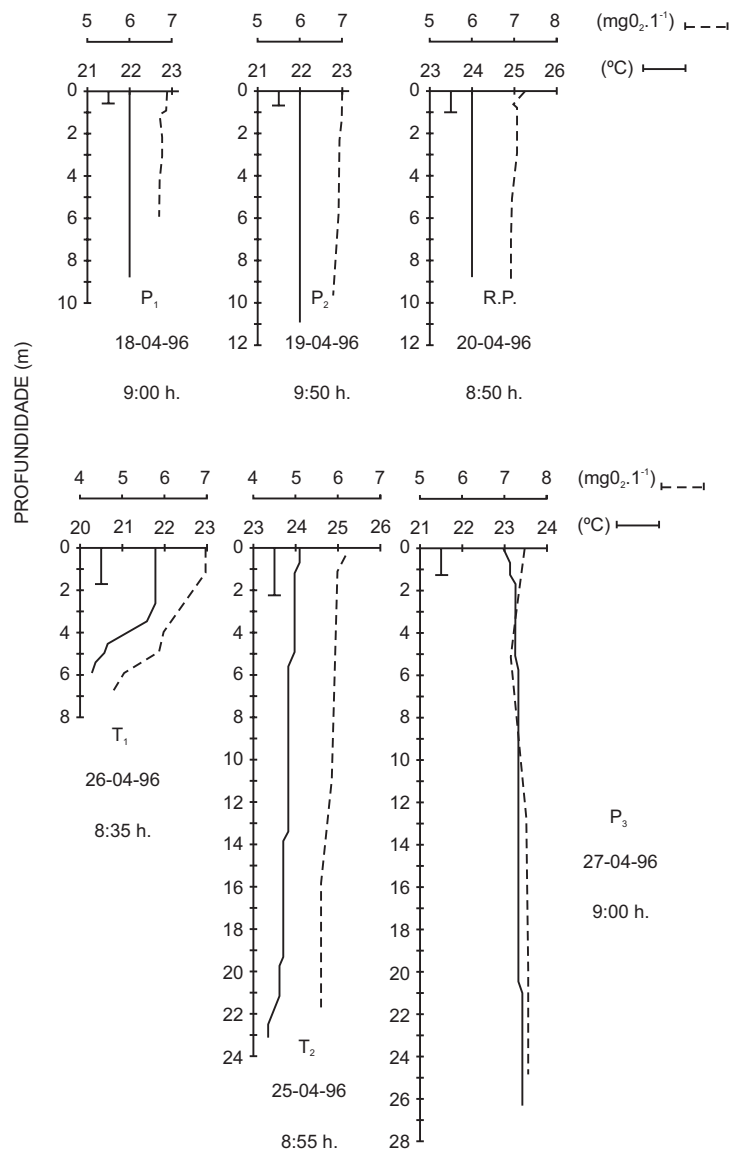
A Fig. 8 apresenta um quadro comparativo da produção primária pelo fitoplâncton, expressa por unidade de área nas quatro épocas do ano e nos seis locais de amostragem. Ficou evidente que



**Fig. 3** — Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido na água e transparência (Disco de Secchi) na Represa de Jurumirim em janeiro e fevereiro de 1996.

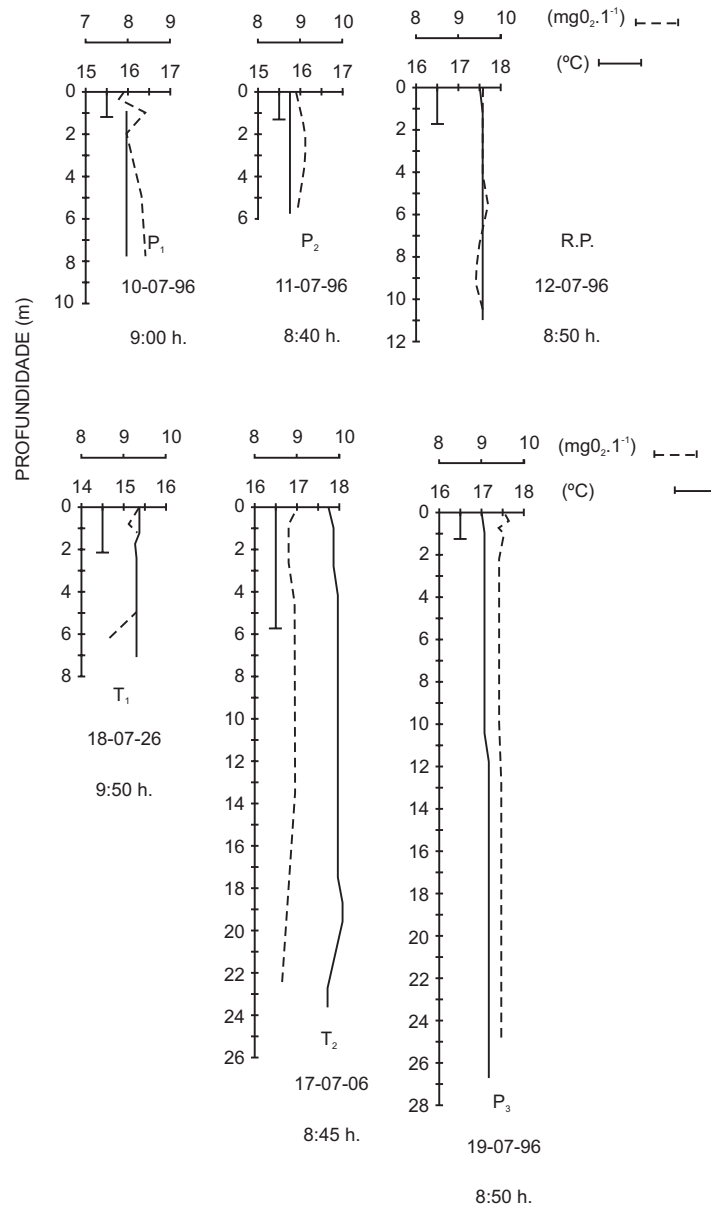
em outubro-novembro de 1995 e janeiro-fevereiro de 1996, o local  $T_2$  (Braço Taquari) foi o mais produtivo e, nos dois outros períodos (abril e julho de 1996), correspondeu ao 2º e 3º ponto com maior produção, respectivamente. Na estação R.P. (Braço Ribeirão das Posses), a produção foi a mais elevada dos 6 pontos em abril e julho de 1996. Foi a 2ª mais elevada em janeiro-fevereiro de 1996 e apresentou valores praticamente equivalentes às estações  $T_1$  e  $P_3$  em

outubro-novembro de 1995. No Braço Taquari, houve em todas as épocas uma elevação da produção do ponto  $T_1$  para o ponto  $T_2$ . No Braço Paranapanema, tendência similar foi observada, isto é, aumento da produção de  $P_1$  para  $P_2$  e desta estação para  $P_3$  em outubro-novembro de 1995 e julho de 1996. Em janeiro-fevereiro de 1996, esta tendência não foi muito nítida, enquanto em abril, não houve variações entre os pontos do Braço Paranapanema.



**Fig. 4** — Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido na água e transparência (Disco de Secchi) na Represa de Jurumirim em abril de 1996.





**Fig. 5** — Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido na água e transparência (Disco de Secchi) na Represa de Jurumirim em julho de 1996.

*c) Fatores físicos, químicos e biológicos correlatos à produção primária pelo fitoplâncton*

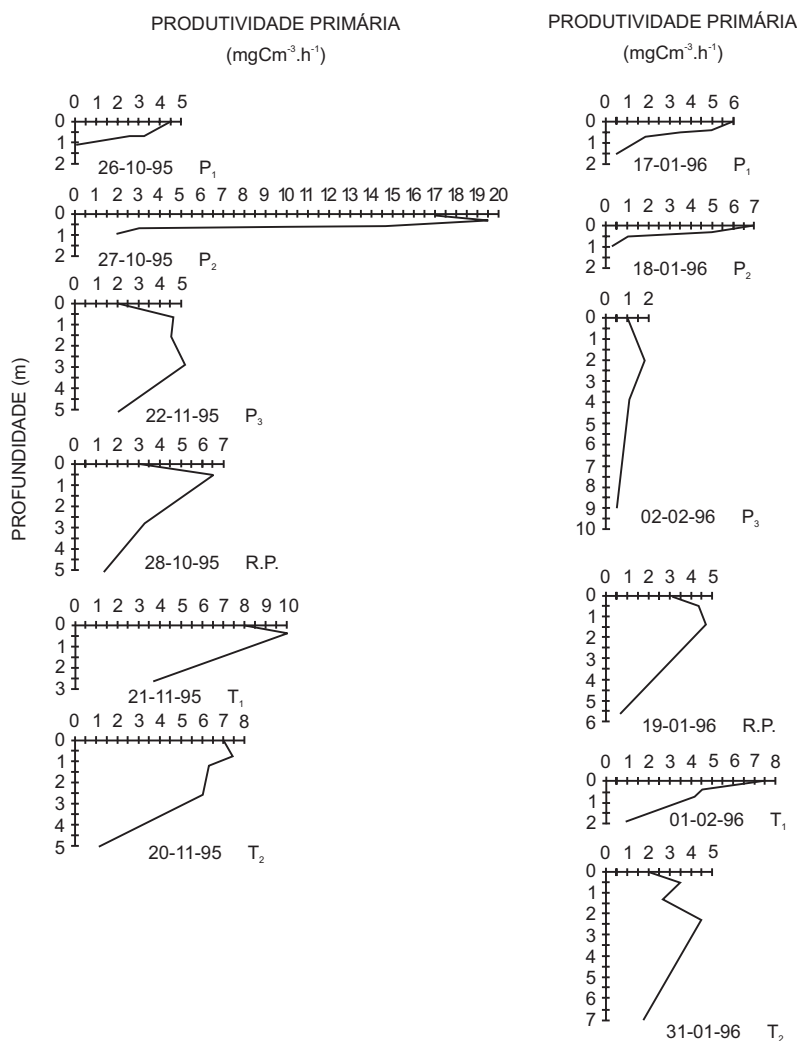
Uma conseqüência do desenvolvimento de estratificação térmica e do perfil clinogrado de oxigênio em alguns pontos de amostragem e períodos do ano é a geração de massas de água superpostas com características químicas distintas. Este é o caso, por exemplo, do ponto R.P. em janeiro de 1996 (entre vários onde tal situação foi

constatada), localizado no Braço Ribeirão das Poses, lateralmente ao corpo principal do reservatório que, por sua morfometria peculiar e seu tempo de residência presumivelmente elevado, apresenta na zona epilimnética valores muito baixos de fosfato, nitrato (zero, não detectáveis pelo método analítico), C inorgânico, alcalinidade, condutividade e material em suspensão (Fig. 9). Com o aumento da profundidade e mais precisa-

mente a partir da zona metalimnética, houve uma elevação destas variáveis. Valores mais altos foram observados no fundo do reservatório, na região de transição zona hipolimnética-sedimento. Entretanto, este padrão de ocorrência vertical associado ao desenvolvimento de estratificação térmica evidente foi relativamente pouco freqüente. A maior parte dos perfis dos fatores químicos na água apresentou um padrão oscilatório nos seus valores entre profundidades, desde a superfície até o fundo, como já foi descrito para outras represas (Tundisi, 1981).

Considerando que houve grandes variações nos valores de produção entre profundidades,

épocas e pontos de amostragem (Figs. 6 e 7), para poder efetuar uma comparação entre locais foi necessário expressar os dados em unidades de área. Para encontrá-los, usamos somente os resultados das amostragens realizados na zona eufótica e os valores das variáveis físicas e químicas da água foram obtidos através de cálculos planimétricos. Alguns (como pH e condutividade) foram expressos como média na zona eufótica. A razão  $Z_{\text{eufótica}}/Z_{\text{afótica}}$  foi encontrada dividindo-se o valor da extensão da zona eufótica pela diferença entre extensão da coluna de água e zona eufótica. A zona de mistura foi definida como sendo a camada de água que se estende desde a superfí-



**Fig. 6** — Produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Jurumirim em outubro-novembro de 1995 e janeiro-fevereiro de 1996.

cie até a zona em que a diferença de densidade de água passa a ser menor ou igual a  $0,02 \text{ Kg.m}^{-3}$  (Reynolds, 1988).

Os dados correspondentes aos períodos de outubro-novembro de 1995 e janeiro, fevereiro, abril e julho de 1996 são apresentados nas Tabelas 1 e 2. No ano de estudo, pode-se observar algumas diferenças significativas na produção primária, biomassa (clorofila-a) e a razão produção/biomassa (P/B), bem como nas variáveis físicas e químicas correlatas.

A despeito de não ter sido possível executar repetições em cada um dos quatro períodos do ano, pode-se ver que houve diferenças evidentes na produção primária, na espessura da zona eufótica e no conteúdo de nitrogênio, fósforo e sílica nos seis pontos de medida.

Uma análise de variância foi executada visando mostrar possíveis diferenças nas variáveis (listadas nas Tabelas 1 e 2) entre estações de amostragem e entre épocas do ano. Na Tabela 3, são apresentados os valores de coeficientes de variação e de determinação e os valores de F para as fontes de variação: épocas do ano ( $n = 4$ ) e pontos de amostragem ( $n = 6$ ). A análise estatística mostrou que houve variações significativas no conteúdo de material em suspensão, na condutividade da água e nos teores de fosfato inorgânico e nitrato entre as diferentes épocas do ano (Tabela 3). Entre os pontos de amostragem, diferenças significativas foram encontradas nas variáveis: produção primária pelo fitoplâncton, zona eufótica, disco de Secchi, condutividade da água e teores de sílica.

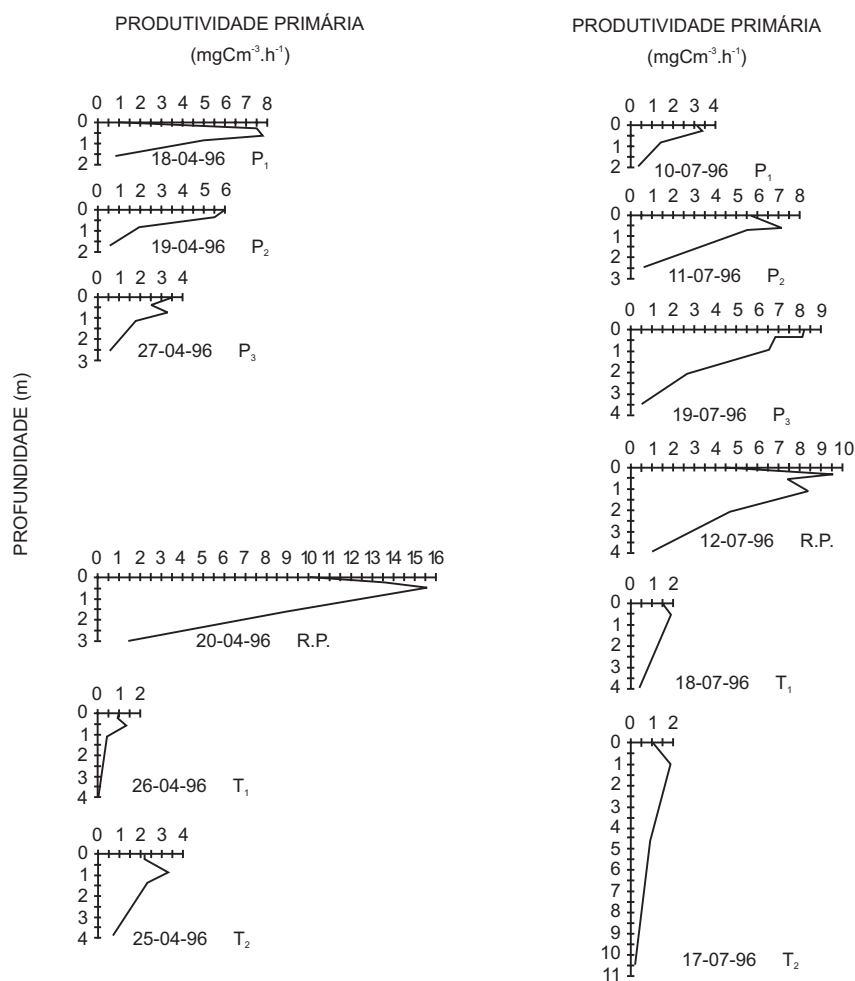


Fig. 7 — Produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Jurumirim em abril e julho de 1996.

TABELA 1

Parâmetros físicos, químicos e biológicos da água (expressos por unidade de área na zona eufótica) na Represa de Jurumirim em outubro-novembro de 1995 e janeiro-fevereiro de 1996.

Épocas	Outubro-Novembro 1995						Janeiro-Fevereiro 1996					
	Locais						Locais					
Parâmetros	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	R.P.	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	R.P.	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Prod. Primária (mgC.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	2,4	10,5	16,2	16,6	23,9	17,5	3,5	2,2	15,0	6,8	20,1	7,8
Clorofila-a (mg.m <sup>-2</sup> )	8,8	6,3	12,6	4,5	8,5	7,1	3,6	3,3	14,2	6,5	14,8	9,5
P/B (mgC.mgChl.h <sup>-1</sup> )	0,3	1,7	1,3	3,7	2,8	2,5	1,0	0,7	1,1	1,1	1,4	0,8
Material em suspensão (g.m <sup>-2</sup> )	22,2	15,0	11,0	9,0	4,4	7,2	20,2	16,8	2,9	17,0	32,2	29,1
Z euf.(m)	1,0	1,0	4,8	2,3	5,0	5,0	1,5	1,0	5,3	1,8	7,0	9,0
Z euf./Z afót.	0,4	0,2	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,4
Secchi (m)	0,3	0,3	2,4	1,1	2,8	2,8	0,5	0,3	2,5	1,0	3,8	4,9
Z mistura (m)	5,5	0,5	3,0	6,5	8,0	14,0	7,0	5,0	6,0	4,5	4,0	9,5
K <sub>25</sub> (µS.cm <sup>-1</sup> )	44,9	44,5	57,2	51,0	42,1	40,5	31,7	32,4	41,2	42,8	40,5	37,2
Ph	6,0	6,0	6,1	6,1	6,1	6,0	6,6	6,5	6,7	6,7	6,9	6,6
C inorg. (g.m <sup>-2</sup> )	13,0	12,9	78,0	39,5	77,7	73,8	11,6	8,0	45,7	16,6	71,9	67,3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> tot. (mg.m <sup>-2</sup> )	25,5	10,0	94,5	29,4	37,9	42,1	4,9	5,5	92,5	33,1	61,9	121,4
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> inorg. (mg.m <sup>-2</sup> )	16,0	3,8	24,5	17,5	32,8	33,2	7,3	6,8	24,9	20,7	33,4	57,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.m <sup>-2</sup> )	44,5	51,1	7,6	16,2	0,0	211,8	55,9	30,9	0,0	0,0	0,0	413,6
NO <sub>2</sub> <sup>+</sup> (mg.m <sup>-2</sup> )	2,1	1,2	6,1	5,9	4,8	12,5	2,3	2,2	7,1	3,4	18,9	17,5
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> (mg.m <sup>-2</sup> )	12,3	16,0	74,2	34,4	69,7	60,9	30,1	39,6	69,1	14,8	62,7	116,1
SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g.m <sup>-2</sup> )	2,8	3,9	20,1	7,9	4,4	15,2	3,8	2,2	24,1	9,0	30,2	27,6

TABELA 2

Parâmetros físicos, químicos e biológicos da água (expressos por unidade de área na zona eufótica) na Represa de Jurumirim em abril e julho de 1996.

Épocas	Abril 1996						Julho 1996					
	Locais						Locais					
Parâmetros	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	R.P.	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	R.P.	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Prod. Primária (mgC.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	5,7	4,6	19,8	1,7	6,0	3,8	3,0	9,4	15,2	4,0	10,2	12,2
Clorofila-a (mg.m <sup>-2</sup> )	6,1	2,5	4,0	8,6	4,0	3,2	2,9	7,1	5,0	11,9	21,3	7,4
P/B (mgC.mgChl.h <sup>-1</sup> )	0,9	1,8	5,0	0,2	1,5	1,2	1,0	1,3	3,0	0,4	0,5	1,6
Material em suspens. (g.m <sup>-2</sup> )	18,3	9,7	9,9	4,3	3,2	3,7	1,8	2,3	1,0	14,9	10,0	5,1
Z euf. (m)	1,0	1,5	1,8	4,0	3,5	2,3	2,0	2,3	2,3	3,8	10,5	2,3
Z euf./Z afót.	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	0,5	0,3	0,1	0,8	0,1
Secchi (m)	0,5	0,6	0,8	1,8	2,3	1,1	1,2	1,3	1,7	2,2	5,5	1,3
Z mistura (m)	9,0	11,0	11,0	3,0	13,5	5,0	8,0	6,0	10,5	7,5	19,0	27,0
K <sub>25</sub> (µS.cm <sup>-1</sup> )	65,3	67,0	78,0	71,0	59,5	58,1	82,1	77,4	70,7	80,9	72,4	60,6
Ph	5,7	5,7	5,8	6,7	6,8	6,6	6,3	6,2	6,1	6,3	6,4	6,3
C inorg. (g.m <sup>-2</sup> )	27,6	39,2	46,5	39,0	27,3	15,9	23,6	30,5	40,5	55,5	121,3	21,4
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> tot. (mg.m <sup>-2</sup> )	41,2	44,9	71,3	100,1	99,0	81,2	93,2	46,6	68,1	58,1	203,6	85,6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> inorg. (mg.m <sup>-2</sup> )	37,0	19,1	47,7	100,1	82,3	71,7	90,7	32,4	58,4	45,8	190,2	40,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.m <sup>-2</sup> )	143,6	200,0	97,8	0,0	61,4	226,2	375,9	363,0	154,5	336,5	278,3	144,7
NO <sub>2</sub> <sup>+</sup> (mg.m <sup>-2</sup> )	3,2	2,6	3,5	4,1	2,5	3,7	4,4	3,5	4,7	7,2	10,0	1,6
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> (mg.m <sup>-2</sup> )	24,3	41,2	47,9	83,5	63,2	27,6	46,0	33,8	38,8	75,6	171,9	39,1
SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g.m <sup>-2</sup> )	5,0	7,1	5,5	10,0	16,0	7,7	4,4	6,6	6,3	20,5	47,0	8,2

TABELA 3

Valores de F, coeficientes de variação (C.V.) e de determinação (R<sup>2</sup>) obtidos após a análise de variância aplicada entre épocas (quatro: outubro-novembro de 1995; janeiro-fevereiro, abril e julho de 1996) e pontos de amostragem (seis: P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, R.P., T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>), nos parâmetros biológicos, físicos e químicos.

Parâmetros	C.V. (%)	R <sup>2</sup>	F	
			Épocas	Pontos
Produção primária (mgC.m <sup>-2</sup> .h. <sup>-1</sup> )	47	0,68	2,93	4,75*
Clorofila-a (mg.m <sup>-2</sup> )	55	0,45	1,38	1,65
P/B (mgC.mgChl.h <sup>-1</sup> )	74	0,34	0,88	1,02
Material em suspensão (g.m <sup>-2</sup> )	68	0,49	3,76*	0,63
Z euf. (m)	59	0,60	1,05	3,85*
Z euf./Z afótica	59	0,53	0,94	2,79
Disco de Secchi (m)	62	0,64	1,60	4,30*
Z mistura (m)	64	0,48	1,46	1,89
K <sub>25</sub> (µS.cm <sup>-1</sup> )	8	0,95	84,42*	5,39*
pH	22	0,35	1,70	0,62
C inorgânico (g.m <sup>-2</sup> )	56	0,54	0,76	3,01
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> total (mg.m <sup>-2</sup> )	55	0,57	2,49	2,50
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> inorgânico (mg.m <sup>-2</sup> )	68	0,62	4,48*	2,15
Nitrato (mg.m <sup>-2</sup> )	76	0,63	5,40*	1,96
Nitrito (mg.m <sup>-2</sup> )	74	0,48	1,64	1,83
Amônio (mg.m <sup>-2</sup> )	60	0,47	0,79	2,19
Silicato (g.m <sup>-2</sup> )	67	0,60	1,14	3,80*

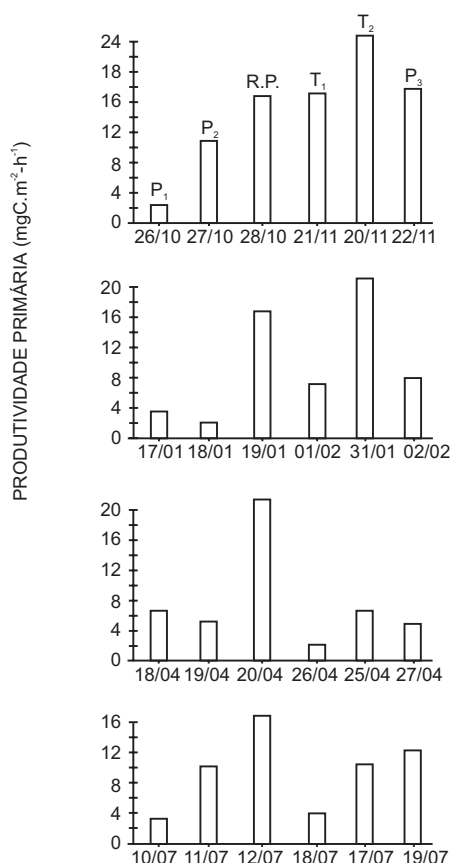
\* P < 0,05

No primeiro caso (variações significativas entre épocas do ano), o contraste entre médias (teste de Tuckey) revelou que: a) as medidas de julho de 1996 e de janeiro-fevereiro de 1996 da quantidade de material em suspensão são distintas quando comparadas e que as médias de material em suspensão de outubro-novembro de 1995, janeiro e fevereiro e abril de 1996 são similares entre si. Da mesma forma, as medidas de outubro-novembro de 1995, abril e julho de 1996 são estatisticamente similares; b) as médias de condutividade da água, medida em cada época, são distintas entre si, não havendo períodos com médias similares do ponto de vista estatístico; c) as médias dos teores de fosfato inorgânico nos períodos de julho, abril e janeiro-fevereiro de 1996 podem ser consideradas como similares. Da mesma forma, para os períodos de abril e janeiro-fevereiro de 1996 e outubro-novembro de 1995. As médias de P inorgânico de julho de 1996 e de outubro-novembro de 1995 foram consideradas como distintas entre si; d) as médias das concentrações de nitrato de julho e abril de 1996 foram

consideradas como similares e entre aquelas de abril, de janeiro-fevereiro e de outubro-novembro de 1995, também. As médias dos teores de nitrato de julho de 1996 e de janeiro-fevereiro de 1996 e de outubro-novembro de 1995 foram consideradas como estatisticamente distintas.

No segundo caso (variações significativas entre pontos de amostragem), o contraste entre médias (teste de Tuckey) revelou: a) que, exceto na estação P<sub>1</sub>, a produtividade primária das demais estações pode ser considerada como similar estatisticamente e que, exceto pelos pontos R.P. e T<sub>2</sub>, os demais, quando comparados entre si, não mostraram diferenças significativas; b) que as zonas eufóticas dos pontos P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> tiveram espessura menores que nas demais estações; que as zonas eufóticas das quatro demais estações puderam ser consideradas como similares (estatisticamente) e, que na estação T<sub>2</sub>, a zona eufótica apresentou média anual mais elevada e distinta das demais; c) que, no caso da transparência pelo disco de Secchi, os dados variaram de forma similar à descrição no item b; d) que as médias de

condutividade em todos os pontos de amostragem podiam ser consideradas como similares, exceto com o ponto  $P_3$ , e que as médias de condutividade nas estações R.P. e  $T_1$  foram as mais elevadas e eram distintas das demais estações; e) que as médias de silicato das estações  $P_1$  e  $P_2$  foram as mais baixas e distintas das demais e que a média de  $T_2$  foi a mais elevada e distinta das demais.



**Fig. 8** — Variações espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Jurumirim (São Paulo, Brasil).

## DISCUSSÃO

A produtividade primária pelo fitoplâncton é controlada pela ação combinada de dois fatores: luz e nutrientes, que podem agir em sinergismo ou não. Nos ecossistemas aquáticos, a disponibilidade luminosa modifica-se não somente em função de sua posição geográfica, mas depende também da época do ano, do ângulo de incidência e de como se apresentam as condições (calmaria ou ondas) da superfície da água. Além desses fatores, as

quantidades de material particulado e dissolvido, presente na água e podendo ser alteradas em função da circulação, determinam a sua atenuação exponencial. No caso específico dos reservatórios, um fator adicional que modifica a penetração de luz é a ação de influências externas ao sistema (as cargas de sedimentos introduzidas pelos tributários) e suas variações temporais.

Os pulsos sazonais de aporte de sólidos suspensos para as represas podem levar ao estabelecimento de gradientes longitudinais na transparência da água e, portanto, determinar uma heterogeneidade espacial horizontal na extensão da camada eufótica. Em termos de médias anuais, a análise de variância mostrou a existência de diferenças significativas entre pontos de amostragem na Represa de Jurumirim na produtividade primária pelo fitoplâncton, na espessura da camada eufótica e na transparência da água (Tabela 3). A comparação entre médias mostrou que a produtividade primária medida na estação  $P_1$  diferiu dos demais e que, nos pontos R.P. e  $T_2$ , a produção de matéria orgânica foi mais elevada.

O compartimento mais a montante no Braço Paranapanema, onde está situado o ponto  $P_1$ , é uma zona que recebe grande influência de material transportado pelo Rio Paranapanema. De acordo com estimativas feitas para 1992 e 1993, a carga anual de sedimentos introduzidos por este tributário na represa de Jurumirim (medida em Campina do Monte Alegre, a cerca de 60 km da desembocadura) foi de 92.740 e 82.049 ton., respectivamente (Henry e col., no prelo). Variações temporais significativas nas cargas de sedimentos alóctones foram detectadas. No pico da estação chuvosa (três meses), a carga mensal pode atingir 20.000 ton., enquanto período seco é de no máximo 5.000 ton./mês.

O encontro do rio com o ambiente lântico acarreta a deposição do material transportado pelo curso de água. A sedimentação é decorrente da redução acentuada da velocidade da água na zona de transição rio/represa e pode, às vezes, ser intensa em trechos relativamente pequenos. Por exemplo, Kufel (1993) obteve uma relação inversa significativa entre taxas de sedimentação e velocidade da água, em uma distância de 100 m, na zona de desembocadura de um rio em um lago da Polônia. As variações sazonais das cargas alóctones de sedimento introduzido acarretaram modificações temporais e espaciais das taxas de

sedimentação na Represa de Jurumirim (Henry & Maricato, 1996).

Os autores mostraram que, nas zonas de influências dos rios, como, por exemplo, as estações P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>, as taxas de sedimentação de material particulado foram mais elevadas em janeiro (pico da estação chuvosa). Verificaram também que houve uma redução em abril (final do período seco) e que os valores foram mais baixos em julho (estação seca), sendo que novo aumento foi constatado em outubro (início do período chuvoso). No Braço Taquari, as taxas de sedimentação de material particulado na estação (T<sub>1</sub>) contígua à zona de desembocadura do Rio Taquari foram significativamente menores que aquelas do Braço Paranapanema e sua amplitude de variação foi reduzida durante o ano (Henry & Maricato, 1996). Na zona intermediária (estação T<sub>2</sub>), as taxas de sedimentação, além de apresentar valores muito baixos, não mostraram variações temporais significativas. Estas influências alóctones são, por-

tanto responsáveis pelas variações espaciais e temporais das alterações constatadas entre pontos de amostragem na transparência da água e espessura da camada eufótica (Tabelas 1 e 2) e na produtividade primária pelo fitoplâncton (Figs. 6 e 7). As cargas de sedimentos introduzidas reduziram significativamente a penetração de luz na água dos locais próximos ao encontro dos tributários com o reservatório. Desta forma, pode-se afirmar que a produtividade primária pelo fitoplâncton na estação P<sub>1</sub> é fortemente limitada pela luz e, em menor grau, nas estações P<sub>2</sub> e T<sub>1</sub>. Por outro lado, a produtividade primária nas estações R.P. e T<sub>2</sub> aparentemente não é controlada pela disponibilidade luminosa. De fato, o primeiro local (R.P.) situa-se num braço lateral ao corpo principal da represa (Fig. 1), com tempo de residência mais elevado, onde a zona eufótica é relativamente grande e o conteúdo de material em suspensão é baixo (Tabelas 1 e 2) e as influências externas (introdução de sedimento via tributário)

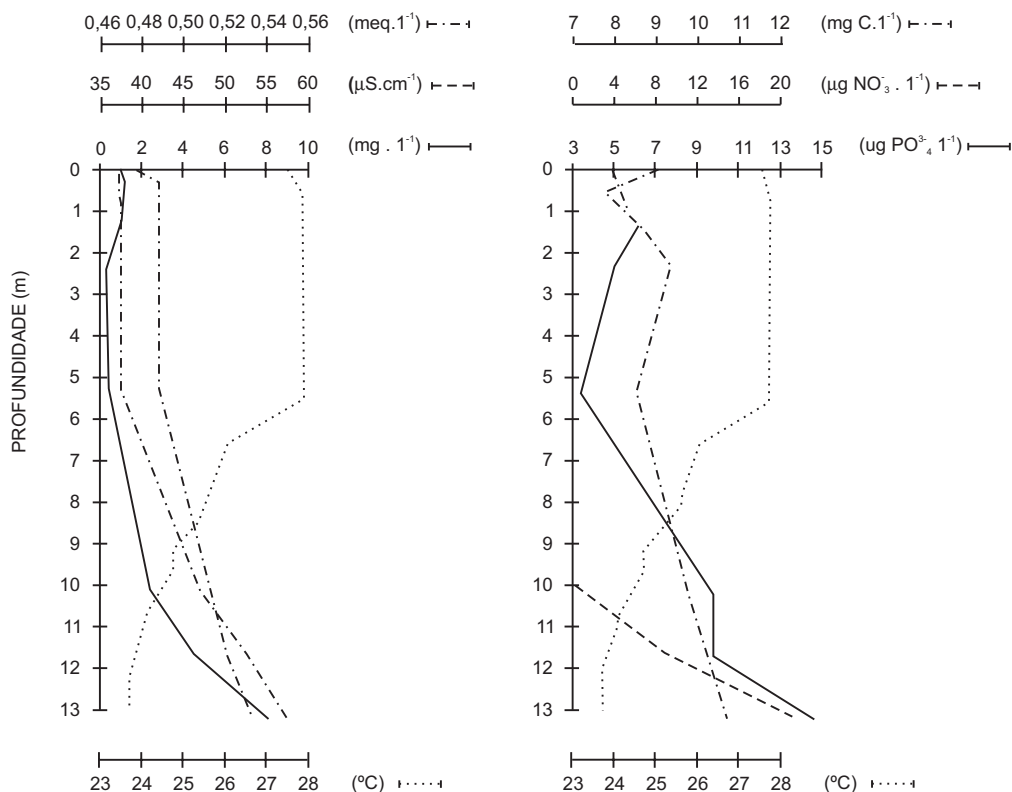


Fig. 9 — Perfil vertical da alcalinidade, condutividade, C inorgânico, material em suspensão, nitrato e fosfato inorgânico na coluna de água na estação R.P. (Ribeirão das Posses) em janeiro de 1996.

são praticamente desprezíveis. Estas condições ecológicas conferem a este local (R.P.) elevada produtividade durante todo o ano. A estação de amostragem T<sub>2</sub> (Braço Taquari) é localizada no compartimento de transição entre a região lacustre e a zona de influência do rio. A carga alóctone de sedimentos praticamente não tem mais influência neste local, como mostrou o estudo de variações anuais de sedimentação de material particulado (Henry & Maricato, 1996). Desta forma, como também foi constatado no Braço Ribeirão das Posses (na estação R.P.), a transparência da água e a extensão da zona eufótica foram mais elevadas na estação T<sub>2</sub> do que no ponto T<sub>1</sub>. Em consequência, neste local, a luz não foi fator limitante à produtividade primária.

Outro fator de heterogeneidade espacial diz respeito à ocorrência de gradientes verticais na produtividade primária (Figs. 6 e 7). Estes gradientes são formados em função da atenuação exponencial da luz com a profundidade e afetados pelo regime de circulação da água. Em função da ação combinada desses fatores (disponibilidade de luz e circulação), o fitoplâncton pode apresentar diferentes formas de respostas (Kimmel *et al.*, 1990). Três tipos de ocorrência podem ser descritas: a) a zona eufótica está inserida completamente na zona de mistura; b) a zona eufótica pode estender-se muito além da zona de circulação; e c) ambas as zonas têm extensões aproximadamente idênticas (Fig. 10). Quando esta ocorrência é constatada em determinado local de amostragem, o fitoplâncton pode circular desde zonas superficiais, onde as intensidades luminosas são muito elevadas, levando a uma fotoinibição de superfície no perfil de produção primária, até grandes profundidades, atingindo inclusive o ponto de compensação. Este foi o caso na estação R.P., onde, em janeiro de 1996, a extensão das camadas eufótica e de mistura é aproximadamente similar (Tabela 1). Como pode ser observado na Fig. 10, a produtividade primária é limitada a estas camadas e a distribuição de biomassa (clorofila-a) apresenta ligeira redução abaixo da zona de mistura em decorrência da circulação na região epilimnética. Em locais em que a extensão da camada de mistura é menor que aquela da zona eufótica, nota-se que a produtividade primária é limitada em grande parte a esta camada, a despeito de a biomassa poder apresentar valores mais altos, abaixo do ponto de compensação. Na es-

tação R.P., em outubro de 1995, situação similar à descrita anteriormente foi observada. A presença de termoclina entre 3 e 5 m de profundidade (Fig. 2) restringiu a circulação do fitoplâncton à parte superior da zona eufótica. Finalmente, quando a extensão da zona de mistura ultrapassa a camada eufótica, uma homogeneidade na distribuição vertical da biomassa fitoplanctônica ocorre na zona de mistura, mas a produtividade primária é restrita à camada com disponibilidade luminosa. Na estação P<sub>3</sub> em outubro de 1995, observamos que o gradiente de produção de matéria orgânica foi limitado aos 5 m superficiais, a despeito da circulação estender-se até 14 m de profundidade. A circulação parece afetar mais a distribuição vertical da biomassa do que os níveis de produtividade primária.

A disponibilidade de nutrientes (nitrogênio, fósforo e outros elementos "traços") constitui outro grupo de fator controlador ou limitante da produtividade primária pelo fitoplâncton. Em ambientes lênticos, as variações espaciais e temporais dos elementos nutritivos é essencialmente decorrente de processos internos (assimilação, excreção e decomposição) acoplados ao regime de mistura vertical das águas (circulação completa em época de isoterminia e durante o período de estratificação térmica, circulação limitada à região epilimnética). Em reservatórios, ambientes híbridos rios/lagos, as cargas externas de nutrientes introduzidas pelos tributários funcionam como um sistema adicional de enriquecimento. Contudo, há variações nos pulsos sazonais de aporte de nutrientes provenientes de toda a bacia de drenagem e seus efeitos têm maiores impactos nos compartimentos mais a montante do reservatório (as zonas de influências dos tributários). Uma estimativa das cargas alóctones para a Represa de Jurumirim revelou que 1.186 e 1.244 ton. de N e 58 e 109 ton. de P foram introduzidos pelo Rio Paranapanema, em 1992 e 1993, respectivamente (Henry e col., no prelo). Pelo Rio Taquari, o aporte de N foi estimado em 323 e 370 ton, em 1992 e 1993, e aquele de P, em 20 e 28 ton., respectivamente. Variações sazonais foram constatadas, com cargas mais elevadas no período chuvoso.

Antes de atingir o compartimento mais a montante no reservatório (zona de influência dos tributários), as cargas dos elementos atravessam uma região de transição rio/lago, que forma uma



verdadeira planície de inundação na zona de desembocadura do Rio Taquari e onde as plantas aquáticas assimilam parte do N e P introduzido (Luciano, 1996) e, no caso do Paranapanema, grandes bancos de *Echinochloa polystachya* (Pompeo, 1996) colonizados por uma comunidade perífita significativa (Moschini-Carlos, 1996) absorvem parte da quantidade dos nutrientes introduzidos.

O remanescente da carga alóctone de nitrogênio e fósforo e sua distribuição advectiva sofrem um efeito de diluição nos compartimentos mais a montante no reservatório. Desta forma, o conteúdo de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  foi relativamente baixo nos diferentes locais de amostragem. Contudo, a análise de contrastes entre médias permitiu constatar que as concentrações de fosfato em outubro-novembro de 1995 (início do período chuvoso) são distintas daquelas da época seca (julho de 1996) e que as concentrações na coluna de água em janeiro-fevereiro (pico das chuvas), abril (final da estação chuvosa) e julho de 1996 (período seco) podem ser consideradas como similares.

Em relação aos teores de nitrato, a análise de comparação entre médias permitiu observar que as suas concentrações em outubro-novembro de 1995 (início do período chuvoso), janeiro-fevereiro (pico das chuvas) e julho de 1996 (estação seca) foram estatisticamente distintas. Isto significa que o início do período de precipitações funciona como um “gatilho”, introduzindo N e P, proveniente da bacia de drenagem dos dois tributários principais do reservatório. Mas os inputs alóctones de nutrientes têm efeitos limitados às estações próximas à desembocadura dos tributários.

A este fato pode ser atribuído o valor de produtividade primária pelo fitoplâncton na estação  $T_1$ , mais alto em novembro de 1995, em comparação com os valores das outras épocas. Neste período, o mesmo não foi constatado na região de desembocadura do Rio Paranapanema, pois, como mencionamos anteriormente, o local  $P_1$  é severamente limitado por luz. Desta forma, nutrientes e luz são fatores limitantes nas estações  $T_1$  (em todo o ano, exceto em novembro) e  $P_1$  (principalmente em outubro de 1995 e janeiro de 1996).

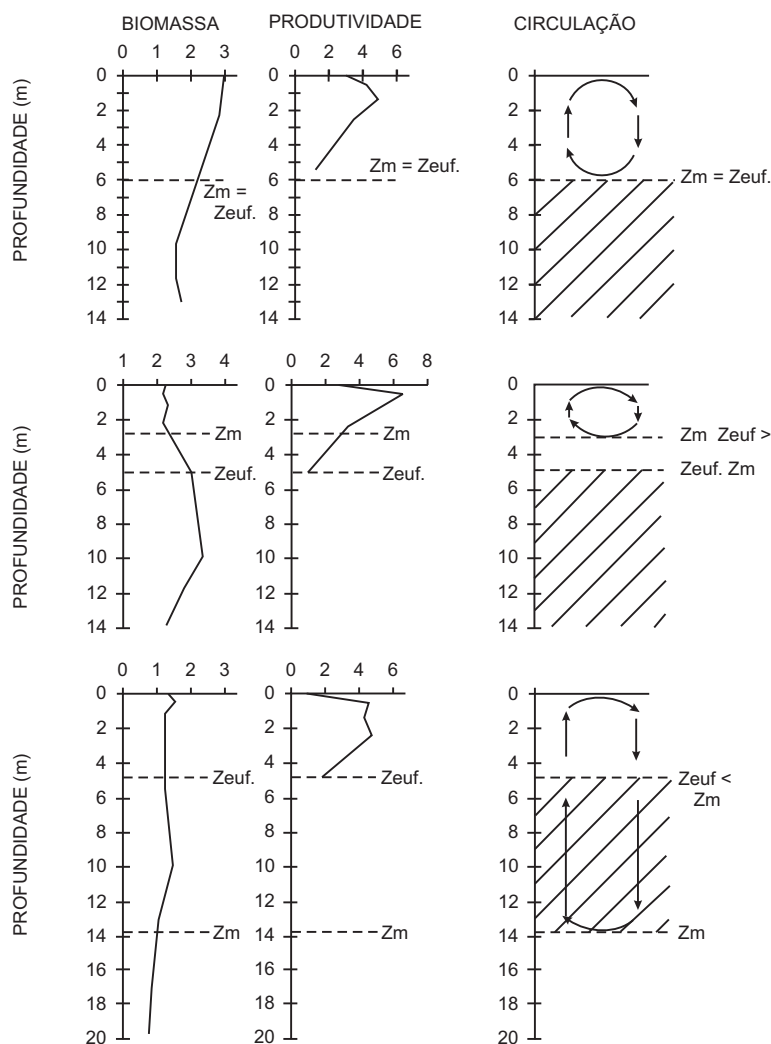
A pobreza em nutrientes na Represa de Jurumirim pode também ser comprovada através do exame das variações espaciais e temporais das taxas de assimilação (P/B). Segundo Curl & Small

(1965), valores menores que 3, entre 3 e 5 e entre 5 e 10 indicam, respectivamente, situações de depleção, deficiência e ambiente rico em nutrientes, escala proposta para ambientes marinhos. A consulta às Tabelas 2 e 3 mostra que, exceto para as estações  $T_1$  (novembro de 1995) e R.P. (abril de 1996), em que as taxas de assimilação assinalam para estes dois locais deficiência de nutrientes, os demais valores inserem-se numa situação de completa depleção de nutrientes. Oliveira (1993) obteve, em ambiente mais eutrofizado (Braço do Rio Capivara, Represa de Barra Bonita), gama de valores no limite deficiência-depleção em fevereiro e julho, enquanto em outubro as taxas estavam incluídas na escala de ambientes ricos em nutrientes ( $> 5$ ). Oliveira (1993) questionou a aplicação desta escala proposta para ambientes marinhos aos reservatórios tropicais, pois em fevereiro (pico das chuvas), as águas do compartimento Capivara (Represa de Barra Bonita) apresentavam-se ricas em nutrientes. No entanto, o seu uso é ainda assim um indício da pobreza das águas da represa de Jurumirim em nutrientes.

Muita controvérsia é apresentada na literatura sobre a melhor maneira de examinar o grau de trofia dos ecossistemas aquáticos. Índices, como o índice de Carlson (1977), estão baseados em valores instantâneos de concentrações de N e P total, da biomassa fitoplanctônica (clorofila-a) e da transparência da água. Outros baseiam-se na medição de processos, como o déficit de oxigênio por unidade de área do hipolimnion (Henry *et. al.*, 1989; Henry, 1992) e a medida de produção de matéria orgânica. Num primeiro estudo, no qual a produtividade primária pelo fitoplâncton e fatores abióticos correlatos foram medidos exclusivamente na zona da barragem da Represa de Jurumirim, concluímos que esta região do reservatório era de natureza oligotrófica (Henry, 1993). Cálculos de déficit de oxigênio, a partir de perfis de  $\text{O}_2$  na coluna de água na zona da barragem, tinham originado a mesma conclusão (Henry, 1992). Num estudo de espectro mais amplo (em 10 pontos de amostragem distribuídos por todo o reservatório), Nogueira (1996), utilizando dados de clorofila-a, concluiu que a Represa de Jurumirim podia ser identificada como oligotrófica, embora em alguns pontos e épocas (como  $P_1$  e  $P_2$  em outubro e janeiro e R.P. em abril e julho) houvesse uma tendência à mesotrofia. Quando empregou o teor de P total como critério para

identificar a trofia das águas, Nogueira (1996) assinalou que a represa poderia ser enquadrada na categoria de ambiente mesotrófico, embora houvesse variações espaço-temporais significativas. Por outro lado, utilizando os valores de transparência da água (estimada pelo disco de Secchi), Nogueira (1996) encontrou condições de eutrofia para a Represa de Jurumirim. Esta discrepância na trofia dos ambientes híbridos rios/lagos, em função de critérios distintos, também foi encontrada por Lind *et al.* (1993) em um estudo comparativo de uma grande série de reservatórios. Segundo Lind *et al.* (1993), a classificação é problemáti-

ca em reservatórios em função da relação incerta entre o suprimento de nutrientes e a produção e também do alto grau de heterogeneidade espacial e temporal dos fatores ambientais controladores da produção primária. Em termos de produtividade primária pelo fitoplâncton em represas, Kimmel *et al.* (1990) indicam ambientes, apresentando valores de produção de 50-300  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  como sendo oligotróficos; aqueles cujas amplitudes de variação estiverem compreendidas entre 250-1.000  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  como sendo mesotróficos; e aqueles com produção acima de 1.000  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  como ambientes eutróficos. Se admitirmos que, para a



**Fig. 10** — Biomassa ( $\text{mgChl}\cdot\text{m}^{-3}$ ), produtividade ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e diagrama da circulação da água, em relação às zonas eufótica ( $Z_{euf}$ ) e de mistura ( $Z_m$ ) nas estações R.P. em janeiro de 1996 (parte superior) e outubro de 1995 (parte intermediária) e P<sub>3</sub> em outubro de 1995 (parte inferior).

latitude de 22° (posição geográfica da Represa de Jurumirim), o fotoperíodo varia de 10,8 (em junho) a 13,5 horas (em dezembro), segundo Tubelis & Nascimento (1987), e considerando os valores obtidos de produtividade primária pelo fitoplâncton expressos por unidade de área (Fig. 8), verificamos que o reservatório pode ser enquadrado na categoria de oligotrófico. Esta identificação é válida para todos os pontos de amostragem e épocas do ano, a despeito de haver variações espaciais e temporais na produção de matéria orgânica. Na zona da barragem, um estudo efetuado de março de 1988 a março de 1989 mostrou uma amplitude de variação anual de 3,2 a 57,4 mgC.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> na produtividade primária pelo fitoplâncton (Henry, 1993). Investigações posteriores de longa duração (julho de 1992 a julho de 1995, medidas mensais) mostraram uma amplitude de variação de 3,4 a 41,6 (primeiro ano), de 4,3 a 64,3 (segundo ano) e de 9,4 a 56,7 mgC.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> (terceiro ano) na produtividade primária fitoplanctônica (Henry, dados não publicados). Exceto em algumas ocorrências episódicas no triênio, durante os quais os valores encontrados poderiam ser enquadrados na categoria de mesotrofia, os dados mostram que a zona da barragem é seguramente, até o presente momento, uma região oligotrófica.

Em síntese, a represa de Jurumirim pode ser considerada como ambiente oligotrófico, em todos os seus três grandes compartimentos, a despeito da existência de variações espaciais e temporais na produtividade primária controlada em parte pelas influências alóctones (sedimentos e nutrientes) e em parte por processos internos (reciclagem) afetados pelo regime de circulação peculiar em cada compartimento. A clássica divisão compartimental de reservatórios em zonas de influências dos rios, de transição e lacustre (Kimmel *et al.*, 1990), se examinada sob a ótica da produção de matéria orgânica pelo fitoplâncton, não se aplica à Represa de Jurumirim. De fato, o compartimento mais a montante deve apresentar baixa produção devido à limitação por luz; o segundo teria maior produção devido ao fato de a luz não ser mais fator de limitação, por força da sedimentação do material alóctone introduzido e suprimento adequado de nutrientes; e o terceiro compartimento, por sua vez, seria uma região limitada por nutrientes. Na Represa de

Jurumirim, as zonas de influências dos rios mostraram efetivamente uma produção mais baixa, devido à limitação por luz. Na região lacustre do reservatório, não houve redução da produtividade primária fitoplanctônica em relação às zonas de transição. Pelo contrário, foi o local de maior produção. Para explicar os elevados valores nesta região, deve ser aventada a atuação de processos internos de manutenção (via reciclagem) e reposição (via ressuspensão e circulação) de nutrientes na coluna de água, tendo em vista que não ocorre limitação por luz próximo à barragem. As influências alóctones das cargas de nutrientes não são detectadas nesta zona em decorrência do elevado tempo de residência do reservatório.

*Agradecimentos* — Ao CNPq, pela bolsa de pesquisador concedida ao primeiro autor (proc. Nº 300.400/92-6), à FAPESP pelos auxílios anteriores (proc. Nº 87/3525-8 e 91/0612-5), ao Hamilton Antonio Rodrigues, pelo auxílio no campo e em laboratório, e ao José Mario Pisani, pela elaboração das figuras, e aos dois assessores, pelos comentários e sugestões.

## REFERÊNCIAS

- BASILE-MARTINS, M. A. CIPOLLI, M. N. & CESTAROLLI, M. A., 1985, Limnologia de reservatórios do Sudeste do Estado de São Paulo, Brasil, VI, Produção primária. *B. Inst. Pesca*, 12: 123-143.
- BRAY, G. A., 1960, A simple efficient liquid scintillation method for counting aqueous solutions in a liquid scintillation counter. *Anal. Biochem.*, 1: 279-285.
- CARLSON, R. E., 1977, A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 361-369.
- CURL Jr., H. & SMALL, L. F., 1965, Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 67-73.
- GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F., 1985, Primary production in ten reservoirs in southern Brazil. *Hydrobiologia*, 122: 81-88.
- GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F., 1986, Limnology of ten reservoirs in Southern Brazil, II: Phytoplankton primary productivity in a reservoir with monomictical characteristics – Paraibuna Reservoir, pp. 199-208. In: C. E. Bicudo; C. Teixeira & J. G. Tundisi (eds.), *Algas: a energia do amanhã*, I. O. USP, São Paulo.
- GOLTERMAN, H. L. & CLYMO, R. S., 1969, *Methods for chemical analysis of freshwaters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 174p.
- HENRY, R., 1992, The oxygen deficit in Jurumirim Reservoir (Parapanema River, São Paulo, Brazil). *Jpn. J. Limnol.*, 53: 379-384.
- HENRY, R., 1993, Primary production by phytoplankton and its controlling factors in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Rev. Brasil. Biol.*, 53: 489-499.

- HENRY, R. & GOUVEIA, L., 1993, Os fluxos de nutrientes e seston em cursos de água do Alto Paranapanema (São Paulo) – sua relação com o uso de solo e morfologia das bacias de drenagem. *An. Acad. Brasil. Ci.*, 65: 439-451.
- HENRY, R. & MARICATO, F. E., 1996, Sedimentation rates of tripton in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brasil). *Limnologia*, 25: 15-25.
- HENRY, R., PONTES, M. C. F. & TUNDISI, J. G., 1989, O déficit de oxigênio no Lago Dom Helvécio (Parque Florestal do Rio Doce, Minas Gerais). *Rev. Brasil. Biol.*, 49: 251-260.
- HENRY, R., SANTOS, A. A. dos & CAMARGO, Y da R., Transport of sediments and total N and P by Paranapanema and Taquari Rivers (São Paulo, Brazil) to Jurumirim Reservoir and an evaluation of its export (no prelo).
- HENRY, R., CARVALHO, E. D., NOGUEIRA, M. G., POMPEO, M. L. M., MOSCHINI-CARLOS, V., SANTOS, C. M. dos, LUCIANO, S. de C. & FUJIHARA C. Y., 1995, The Jurumirim Reservoir, pp. 13-33. In: R. Henry & P. A. C. Senna (eds.), *Mid. Congress Excursions, XXVI SIL Congress*, São Paulo, Brazil (July, 23-29, 1995).
- KIMMEL, B. L., LIND, O. T. & PAULSON, L. J., 1990, Reservoir primary production, pp. 133-193. In: K. W. Thornton, B. L. Kimmel, & F. E. Payne, (eds.), *Reservoir Limnology: Ecological perspectives*, A. Wiley – Interscience Publication, New York.
- KOROLEFF, F., 1976, Determination of nutrients, pp. 117-181. In: K. Grasshoff (ed.), *Methods of seawater analysis*, Verlag Chemie Weinheim.
- KUEFEL, L., 1993, Particulate phosphorus sedimentation at the river inflow to a lake. *Hydrobiologia*, 251: 269-274.
- LIND, O. T., TERELL, T. T. & KIMMEL, B. L., 1993, Problems in reservoir trophic state classification and implications for reservoir management., pp. 57-65. In: M. J. G. Straskraba, Tundisi & A. Duncan (eds.), *Comparative Reservoir Limnology and water quality management*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- LUCIANO, S. de C., 1996, *As macrófitas aquáticas Eichhornia azurea (Kunth) e Brachiaria arrecta (Stent) como armazenadores de nitrogênio e fósforo na região inundável do Rio Taquari (zona de desembocadura na Represa de Jurumirim, São Paulo)*. Dissertação de Mestrado, EESC, USP, São Carlos, 160p.
- MACKERETH, F. J. H., HERON, J. & TALLING, J. F., 1978, *Water Analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association. Scientific Publication nº 36, Titus Wilson & Son Ltd, Kendall. 117p.
- MOSCHINI-CARLOS, V., 1996, *Dinâmica e estrutura da comunidade perifítica (substratos artificial e natural) na zona de desembocadura do Rio Paranapanema, Represa de Jurumirim, SP*. Tese de Doutorado, UFSCar, 173p.
- NOGUEIRA, M. G., 1996, *Composição, abundância e distribuição, espaço-temporal das populações planctônicas e das variáveis físico-químicas na Represa de Jurumirim*. Tese de Doutorado, EESC, USP, São Carlos, 439p.
- OLIVEIRA, H. T. de, 1993, *Avaliação das condições limnológicas de um compartimento (Braço do Rio Capivara) e sua interação com o Reservatório de Barra Bonita, SP, com ênfase na comunidade fitoplanctônica*. Tese de Doutorado, EESC, USP, São Carlos, SP, 328p.
- POMPEO, M. L. M., 1996, *Ecologia de Echinochloa polystachya (H.B.K.) Hitchcock na Represa de Jurumirim (zona de desembocadura do Rio Paranapanema, SP)*. Tese de Doutorado, EESC, USP, São Carlos, 153p.
- REYNOLDS, C. S., 1988, Functional morphology and adaptative strategies of freshwater phytoplankton, pp. 388-433. In: C. D. Sandgren, (ed.), *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*, Cambridge Univ. Press.
- SANTOS, C. M. dos & Henry, R., 1997, Análise da densidade e diversidade da fauna bentônica da Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) em dois períodos do ano, pp. 151-162. In: *Anais do VIII Seminário Regional de Ecologia (São Carlos, SP)*.
- STRICKLAND, J. D. & PARSONS, T. R., 1960, A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 125: 1-185.
- TOLEDO, L. G. & HAY, O. D., 1988, Variação sazonal da produção primária do fitoplâncton e dos fatores limnológicos do Lago do Paranoá, Brasília, DF. *Acta Limnol. Brasil.*, II: 347-365.
- TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. do, 1987, *Meteorologia descritiva – fundamentos e aplicações brasileiras*. Nobel, São Paulo, 374p.
- TUNDISI, J. G., 1981, Typology of reservoirs in Southern Brasil. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 21: 1031-1039.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T., 1990, Limnology and eutrophication of Barra Bonita Reservoir, S. Paulo State, Southern Brazil. *Arch. Hydrobiol. Beih. (Ergebn. Limnol.)*, 33: 661-676.
- TUNDISI, J. G., GENTIL, J. G. & DIRICKSON, M. C., 1978, Seasonal cycle of primary production of nanno and microphytoplankton in a shallow tropical reservoir. *Rev. Brasil. Bot.*, 1: 35-39.
- TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T., ROCHA, O., GENTIL, J. G. & NAKAMAOTO, N., 1977, Primary production, standing-stock of phytoplankton and ecological factors in a shallow tropical reservoir (Represa do Broa, S. Carlos, Brazil). *Sem. Medio Ambiente y Represas*, 1: 138-172.
- VOLLENWEIDER, R. A., 1974, *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. Blackwell Scientific Publications, London, 225p.
- WARD, J. V. & STANFORD, J. A., 1983, The serial discontinuity concept of lotic ecosystems, pp. 29-41. In: T. D. Fontaine III & S. M. Bartell (eds.), *Dynamics of Lotic Ecosystems*, Ann Arbor Science Publishers, Michigan.