

## LIMNOLOGIA DE RESERVATÓRIOS DO SUDESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL. VI. PRODUÇÃO PRIMÁRIA

(Limnology of reservoirs in the southeastern part of São Paulo State, Brazil. VI. Primary Production)

Maria Amália BASILE-MARTINS 1  
Márcia Navarro CIPOLLI 1  
Marcos A. CESTAROLLI 2

### RESUMO

Um estudo da variação sazonal e distribuição vertical da produção primária do fitoplâncton, em dezessete reservatórios da região sudeste do Estado de São Paulo - Brasil, foi realizado durante o ano de 1979, através de determinações trimestrais da produção primária em determinados níveis da camada eufótica, utilizando-se o método do  $^{14}\text{C}$ . Dos reservatórios considerados, oito pertencem à Bacia do Rio Paraná: Ponte Nova, Guarapiranga, Parque Ecológico (Barueri), Itupariranga, Águas Claras, Juqueri, Batista e São José; quatro, à Bacia do Rio Ribeira de Iguape: França, Fumaça, Alecrim e Serraria. Itapeva e Funil pertencem à Bacia do Rio Paraíba; Pedreira, Riacho Grande e Rio das Pedras constituem o Complexo Billings. Os resultados de produção primária variaram entre  $50,08 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  e  $1.913,86 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  (valor médio das quatro determinações), permitindo distinguir reservatórios de baixa, média e elevada produtividade. Os valores mais elevados foram registrados nos reservatórios do Complexo Billings, situado próximo à cidade de São Paulo. Observou-se também variação sazonal nos valores de produção, os mais elevados tendo sido registrados, na maioria dos ambientes, na estação quente, especialmente em novembro-dezembro. Esta variação, provavelmente relacionada à concentração de nutrientes, foi bem evidente nos reservatórios mais produtivos.

### ABSTRACT

The phytoplankton primary production was measured at selected depths of the euphotic zone, in seventeen reservoirs of São Paulo State, by the "in situ" application of  $^{14}\text{C}$  technique. The study was carried out in quarterly samplings during 1979, in order to find the seasonal pattern. The studied reservoirs are located at different hydrographic basins and are submitted to a varied degree of human activity influence. The values of primary production ranged from  $50.08 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  to  $1,913.86 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  (average values) allowing to differentiate reservoirs from low to high primary production levels. The results show that in most cases the production was higher in the hot period specially in november - december, and is probably related to the nutrients concentration. The variation along the year was best observed at the most productive reservoirs.

### 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho, referente à produção primária do fitoplâncton, complementa um estudo ecológico que abrange outros aspectos biológicos e hidrológicos de dezessete reservatórios da região sudeste do Estado de São Paulo, realizado pelo grupo de Limnologia do Instituto de Pesca. Esta pesquisa faz parte de um projeto mais amplo integrando o estudo de 52 ambientes, "Tipologia de Reservatórios do Estado de São Paulo" (TUNDISI, 1981), do qual

participaram outras instituições, tendo sido financiado pela FAPESP.

Para a grande maioria dos ambientes lacustres brasileiros, tanto naturais como artificiais, as informações ecológicas, especialmente aquelas relacionadas à produção primária do fitoplâncton, são muito escassas.

Os estudos de produção primária são de importância fundamental na elucidação de muitos aspectos do fluxo de energia nos

(1) Pesquisador Científico-Seção de Limnologia-Instituto de Pesca.  
(2) Biologista-Seção de Limnologia-Instituto de Pesca.

ecossistemas e, paralelamente, o conhecimento das flutuações dessa produção é indispensável aos projetos de exploração racional dos corpos aquáticos. Além disso, através dos valores de produção primária de um ambiente, pode-se inferir sobre o estágio de eutrofização do mesmo.

Dentre os reservatórios considerados

neste trabalho, alguns são de construção bastante recente, fornecendo, consequentemente, excelente oportunidade para que através do estudo dos mesmos, se possa conhecer, já em suas primeiras fases, a extensão das modificações acarretadas, pelo represamento, nas características da água.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Em quatro períodos do ano de 1979, março-abril, maio-junho, agosto-setembro e novembro-dezembro, foram realizadas determinações da produção primária do fitoplâncton em dezessete reservatórios do Estado de São Paulo (FIGURA 1). Para efeito deste trabalho, as determinações de maio-junho e agosto-setembro foram consideradas como sendo da estação fria e as de março-abril e novembro-dezembro, da estação quente.

Características gerais dos reservatórios estudados constam da TABELA 1. Dados de variáveis físicas e químicas da água, obtidos simultaneamente às determinações de produção primária e utilizados neste trabalho para interpretação dos resultados, encontram-se em TAKINO & MAIER (1981), MAIER (1985) e em MAIER & TAKINO (1985a e 1985b). Os dados climatológicos acham-se em SANTOS & SANTO PAULO (1985).

Para a determinação da produção primária utilizou-se o método do  $^{14}\text{C}$ , introduzido por STEEMANN-NIELSEN (1952), segundo técnicas descritas em VOLLENWEIDER (1974).

As amostras de água foram coletadas em ponto situado no corpo principal do reservatório, de preferência sobre o antigo leito do rio represado, correspondendo a um dos locais mais profundos e nos níveis de 100, 50, 25, 10 e 1% de penetração de

luz, determinados a partir de coeficientes calculados com base em VOLLENWEIDER (1974).

As incubações foram realizadas "in situ", com duração de 4 horas, geralmente entre 10:00 e 14:00 h, após o que as amostras passaram por filtros "Millipore" H.A., com 25mm de diâmetro e poro 0,45  $\mu\text{m}$ . Os filtros foram conservados em dessecador até o momento da determinação da radioatividade, efetuada pela técnica de cintilação líquida em equipamento da Universidade Federal de São Carlos.

O procedimento utilizado nos cálculos da produção foi baseado em GARGAS (1975).

Para cálculo da produção primária diária, assumiram-se os valores de 10 horas de iluminação para os períodos da estação fria e 11,5 horas para os da quente.

A taxa de assimilação (T.A.), definida como a taxa de produção por unidade de pigmento fotossintético, foi calculada com base nos valores de clorofila-a.

O número de assimilação (N.A.), definido como a taxa de produção por unidade de clorofila, em luz saturante (RABINOWITCH, 1956) e Platt & Subba Rao, 1975 apud PONTES, 1980), foi considerado, neste trabalho, como o resultado da relação entre produção primária máxima da coluna d'água e concentração de clorofila-a.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A heterogeneidade do grupo de reservatórios considerados no presente trabalho, com relação à produção orgânica do fitoplâncton, é constatada através da análise das FIGURAS 2A-R que apresentam, para

os quatro períodos de determinação, os perfis de produção primária e os de taxa de assimilação. Os valores de produção diária, por unidade de superfície, são apresentados na TABELA 2.

Os perfis de produção mostram também que, embora em certas ocasiões tenham-se observado máximos superficiais, mesmo em dias ensolarados, a inibição da fotossíntese na superfície ocorreu, ao menos em um dos períodos, em todos os reservatórios e que, em Águas Claras, Itapeva e Funil, manifestou-se em todas as determinações (FIGURAS 2H, 2Q e 2R).

TUNDISI (1977), para a Represa do Broa, Estado de São Paulo, BARBOSA (1979) e PONTES (1980), respectivamente, para a Lagoa Carioca e Lago D. Helvécio, ambos no Parque Florestal do Rio Doce, Minas Gerais, observaram, na maioria das determinações de produção, inibição da fotossíntese na superfície. Resultados diferentes, entretanto, foram registrados por GIANESELLA-GALVÃO (1981) em dez reservatórios da região sudeste do Estado de São Paulo, para os quais obteve uma porcentagem de perfis de produção primária com máximos superficiais que considerou maior que a esperada tendo-se em vista a alta intensidade luminosa na ocasião das determinações.

TUNDISI (1977) pondera que as condições nutricionais do ecossistema influem no comportamento fotossintético do fitoplâncton e que uma das causas da inibição superficial, observada na Represa do Broa, poderia ter sido a condição oligotrófica do ambiente.

TALLING (1965) afirma que a redução da taxa de fotossíntese, por unidade de volume de água, na superfície, é devida, em grande parte, à sedimentação dos organismos do fitoplâncton ou, segundo TILZER (1973), à migração para profundidades mais adequadas ao seu desenvolvimento. Entretanto, estes casos não se aplicam aos reservatórios estudados pois, quando se analisam os perfis verticais de clorofila (MAIER & TAKINO, 1985a), constata-se que, com raras exceções, a diferença na quantidade do pigmento entre a camada superficial e as subsuperficiais não seria suficiente para justificar a inibição observada.

De acordo com STEEMANN-NIELSEN (1957), a diminuição da taxa fotossintética é devida, mais provavelmente, à decomposição fotooxidativa de enzimas ativas na fotossíntese do que, propriamente, à

destruição da molécula de clorofila. HARRIS (1978) considera que a fotoinibição do fitoplâncton de amostras de água confinada em frascos colocados na superfície é um fenômeno complexo que envolve vários processos fisiológicos e que a complexidade se torna ainda maior uma vez que espécies fitoplanctônicas, em ambientes diferentes, mostram respostas diversas a altas radiações. RYTHER (1956) observou, também, para vários grupos de algas planctônicas, diferenças muito acentuadas entre a taxa de fotossíntese e a intensidade luminosa de saturação.

Relativamente aos reservatórios considerados neste estudo, pode-se supor, apesar da complexidade inerente ao fenômeno, ter sido a fotoinibição a causa principal da diminuição da taxa de fotossíntese na superfície, especialmente considerando-se que em novembro-dezembro, quando foram registradas radiações mais elevadas que nos outros três períodos (SANTOS & SANTO PAULO, 1985), a inibição manifestou-se com maior intensidade e frequência, tendo ocorrido em quatorze dos dezessete reservatórios. A inibição pela luz foi também a principal explicação para a redução das taxas de fotossíntese na superfície, registrada na Lagoa Carioca (BARBOSA, 1979) e no Lago Lanao, Filipinas (LEWIS, 1974).

Observando-se a FIGURA 3, verifica-se a existência de uma variação sazonal nos valores de produção, os mais elevados tendo sido registrados, de modo geral, na estação quente, no primeiro e quarto períodos; neste último, em onze reservatórios, os valores foram superiores aos obtidos nos outros três períodos. Esta variação sazonal, entretanto, foi bem mais evidente nos ambientes que apresentaram taxa de produção mais elevada.

Igual tendência de variação sazonal foi verificada no Lago D. Helvécio (PONTES, 1980) e nos reservatórios estudados por GIANESELLA-GALVÃO (1981) que atribui tal fato ao aumento da temperatura, que poderia influir sobre o metabolismo fotossintético, e à maior drenagem das bacias, permitindo o aporte de nutrientes. Padrão inverso de variação foi observado na Lagoa Carioca por BARBOSA (1979) que

explicou a ocorrência de maiores valores no inverno, pela elevação do teor de nutrientes na zona eufótica, resultante de condições de isoterminia e turbulência.

Quando se comparam os dados de produção obtidos nas duas determinações da estação quente, constata-se que em geral, os valores de março-abril foram inferiores aos de novembro-dezembro, o que pode ser explicado pelo fato de março-abril coincidir com o fim da estação, quando então foi registrado menor valor de precipitação pluviométrica (SANTOS & SANTO PAULO, 1985) e, consequentemente, menor aporte de nutrientes. De acordo com MAIER & TAKINO (1985 a), em março-abril, as concentrações de nitrogênio e fósforo foram relativamente baixas. Entretanto, os maiores valores de produção, registrados no quarto período (estação quente), nem sempre coincidiram com os valores mais elevados de nutrientes. Nesta situação encontram-se, particularmente, os reservatórios Fumaça e Serraria, cuja produção, no quarto período, muito maior que nos anteriores, ocorreu em presença de valores muito reduzidos de nutrientes na camada trofotônica (MAIER & TAKINO, 1985a). Nestes casos, é provável que os nutrientes estivessem sendo gastos, durante o dia, nos processos fisiológicos da produção e que seriam repostos pela circulação noturna uma vez que ocorreram, no período diurno, estratificação térmica de superfície e quantidade de nutrientes bastante elevada na região situada logo abaixo da camada estratificada (MAIER, 1985; MAIER & TAKINO, 1985 a).

Estudos de produção primária realizados por vários autores, entre eles MELACK & KILHAM (1972), LEWIS (1974), TUNDISI *et alii* (1977), levaram à conclusão de que, em lagos de regiões tropicais, os nutrientes desempenham o papel mais importante no controle da produção fitoplânctônica. LEWIS (1974), considera também que em lagos de regiões tropicais a taxa de reciclagem de nutrientes é muito mais alta que naqueles de regiões temperadas, o que explicaria altas taxas de produção mesmo em presença de baixos teores de nutrientes.

Para os reservatórios considerados no presente estudo, a espessura da camada eu-

fótica variou entre 0,68m (Reservatório Pedreira, 3º e 4º períodos) e 15,00 m (Reservatório Ponte Nova, 1º período) correspondendo, respectivamente, aos valores 0,25m e 6,50m de transparência ao disco de Secchi.

De um modo geral, a transparência foi menor na estação quente principalmente em novembro-dezembro, quando em doze dos dezessete reservatórios o valor desta característica foi menor em relação aos outros três períodos (FIGURAS 2A-R).

A transparência de um reservatório ou de um lago pode proporcionar uma primeira estimativa de seu estado de trofia (BEETON, 1965; DOBSON; GILBERTSON; SLY, 1974; MARGALEF *et alii*, 1976). De acordo com WETZEL (1975), medidas de transparência têm sido utilizadas para estimar a densidade da população fitoplânctônica em lagos muito produtivos.

LUND (1965) considera que à medida que a densidade de fitoplâncton aumenta, mais a produção fotossintética estará limitada às camadas superiores devido ao auto-sombreamento. Entre os reservatórios pesquisados neste trabalho, o fenômeno é bem evidente em Rio das Pedras, 4º período (FIGURA 2D). O mesmo autor considera também que lagos muito transparentes não são, necessariamente, tão improdutivos como poderiam parecer pois, embora a produção por unidade de volume possa ser pequena, o volume total no qual a fotossíntese é viável será muito maior que em outro, com alta produção (por unidade de volume) porém pouco transparente. Tal situação foi observada nos reservatórios Ponte Nova, São José e Funil, de maior transparência que os demais (FIGURAS 2A, 2L e 2R) e produção relativamente elevada por unidade de superfície (TABELA 2).

Em Guarapiranga e Águas Claras observaram-se pequena transparência (FIGURAS 2E e 2H) e baixos valores de produção, ao contrário do que seria esperado. Nestes casos, entretanto, a pequena transparência foi motivada por elevada quantidade de material em suspensão, não fotossintetizante, uma vez que os valores da concentração de clorofila, especialmente em Guarapiranga, foram muito baixos (MAIER & TAKINO, 1985 a).

Em um ecossistema, a capacidade de produção de matéria orgânica pode ser limitada por vários fatores e, entre eles, consideram-se como principais, a eficiência na utilização e conversão de energia luminosa (estado fisiológico do fitoplâncton) e a concentração de pigmentos responsáveis por esses processos. Assim, para melhor caracterizar a atividade fotossintética do fitoplâncton e na tentativa de avaliar as condições nutricionais dos ecossistemas estudados, foram calculados as taxas e números de assimilação.

As FIGURAS 2A-R mostram, graficamente, a variação da taxa de assimilação calculada para cada nível de produção. Verifica-se que o maior valor foi registrado em Pedreira (FIGURA 2B), na estação quente (4º período), a 50 e 25% de penetração de luz, e que 56% dos perfis de taxa de assimilação mostram inibição superficial. GIANESSELLA-GALVÃO (1981) registrou apenas 30% de perfis com inibição.

Analisando-se a TABELA 3, que apresenta o valor médio de taxa e o número de assimilação na zona eufótica, para cada reservatório e período, verifica-se que o menor valor de taxa foi 0,11 mgC. mg cl-a<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup> (Itapeva, 2º período), e o maior, 5,33 mgC. mg cl-a<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup> (Pedreira, 4º período) e que os maiores ocorreram, de modo geral, na estação quente (novembro-dezembro). Ainda, através dessa tabela, constata-se que os reservatórios com maior homogeneidade de valores de taxa média de assimilação são Ponte Nova e Parque Ecológico, coincidindo com uma relativa homogeneidade dos valores de produção. Contrastando com esses, encontram-se Pedreira e Rio das Pedras que apresentaram valores mínimos bastante baixos em relação aos máximos.

Em Pedreira, o baixo valor do terceiro período (estação fria) deveu-se, provavelmente, ao fato da produção ter estado restrita à camada superficial em virtude da ausência de oxigênio dissolvido na subsuperficial (MAIER, 1985), enquanto que o elevado valor do quarto período (estação quente) pode ser atribuído a um alto potencial do material fotossintetizante mas que, apesar disso, não fez com que a produção por área, considerando-se os quatro perío-

dos, fosse a mais elevada, em virtude da reduzida espessura da camada eufótica (FIGURA 2B).

O baixo valor médio de taxa de assimilação verificado em Rio das Pedras no primeiro período deveu-se, provavelmente, à inativação da clorofila por substâncias tóxicas (presença de detergente constatada na ocasião) uma vez que a quantidade do pigmento (MAIER & TAKINO, 1985 a) não era baixa. O alto valor registrado no quarto período pode ter sido devido a ótimas condições de luz e temperatura associadas a uma provável também ótima eficiência fotossintética.

Em Itapeva, o pequeno valor médio de taxa, no segundo período (estação fria), possivelmente teve como causa a baixa temperatura da água, aproximadamente 12°C (MAIER, 1985) — o menor valor registrado em todos os períodos e reservatórios.

Contrariamente ao observado para os reservatórios objeto deste estudo, BARBOSA (1979) constatou, para a Lagoa Carioca, taxas de assimilação mais elevadas no inverno.

Vários autores entre os quais THOMAS (1970), ANDERSON & ZEUTSHEL (1970) e BARBOSA (1979), verificaram que quanto menores os teores de nutrientes, menores as taxas de assimilação evidenciando a importância daqueles na atividade fotossintética. No entanto, PONTES (1980) observou o contrário para o Lago D. Helvécio onde os menores valores de taxa de assimilação ocorreram, em geral, juntamente com altos teores de nutrientes mas em épocas de temperatura baixa. TUNDISI (1977), para a Represa do Broa, obteve valores de taxa de assimilação mais elevados no verão.

GLOOSCHENKO *et alii* (1974) consideraram para os lagos Ontario e Erie, taxa de assimilação acima de 2 como indicador de ambiente rico em nutrientes.

Analisando-se a TABELA 3 que apresenta, para cada reservatório, a média anual da taxa de assimilação, e tomando-se como base a consideração de GLOOSCHENKO *et alii* (1974), constata-se que apenas para Pedreira (T. A. = 2,45 mg C. mg cl-a<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) o valor é indicativo de ambiente rico.

MATSUMURA-TUNDISI; HINO; CLARO (1981), pesquisando vinte e três reservatórios do Estado de São Paulo, obtiveram valores médios anuais de taxa de assimilação que variaram de 0,61 a 3,40 mgC. mg cl<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> tendo sido, os maiores, registrados em reservatórios do Rio Tietê que recebem grandes quantidades de nutrientes originários de efluentes de usinas açucareiras.

Quanto ao número de assimilação, verifica-se, pela análise da TABELA 3, que variou de 0,16 (Itapeva, 2º período) a 7,40 mgC. mg cl<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> (Pedreira, 4º período) e que aproximadamente 50% desses valores oscilaram dentro do intervalo 1 - 3 mgC. mg cl<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>; observa-se também que, em geral, os mais elevados ocorreram na estação quente.

GIANESELLA-GALVÃO (1981) também obteve valores de número de assimilação geralmente baixos e os mais elevados, no verão.

O número de assimilação tem sido muito utilizado para tipificar um reservatório quanto ao seu estado trófico. Assim, para CURL & SMALL (1965) que sugerem que este parâmetro está associado à quantidade de nutrientes, águas pobres teriam N.A. menor que 3 mgC. mg cl<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, águas não tão pobres, entre 3 e 5 e águas ricas, entre 5 e 10. Entretanto, de acordo com EPPLEY (1972), os altos valores estabelecidos teoricamente poucas vezes acontecem na natureza.

ICHIMURA (1968), para lagos japoneses, diz que número de assimilação entre 2 e 6 mgC. mg cl<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> caracteriza lagos eutróficos, entre 1 e 2, lagos mesotróficos e entre 0,1 e 1, lagos oligotróficos. Considera que alguns fatores como estação do ano, comprimento do dia e profundidade do lago influem sobre a atividade fotossintética do fitoplâncton e que os feopigmentos, quando incluídos na determinação de clorofila, são responsáveis pelas baixas taxas de assimilação. GIANESELLA-GALVÃO (1981) salienta que as classificações com base na taxa ou número de assimilação são discutíveis, devido a vários fatores que influem sobre estes parâmetros e que não são considerados como, por exemplo, temperatura, periodicidade diária da fotossín-

tese, composição das populações presentes e condições nutricionais do ambiente.

Considerando-se então, a classificação de lagos elaborada por CURL & SMALL (1965) e o valor médio do número de assimilação para cada reservatório estudado, verifica-se que não há, de modo geral, correspondência entre o valor de N.A. e o teor de nutrientes registrado por MAIER & TAKINO (1985a).

Pela observação da TABELA 2, constata-se que os valores de produção primária oscilaram entre 50,08 (Guarapiranga) e 1.913,86 mgC m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> (Pedreira) evidenciando a grande variabilidade de tipos de reservatórios quanto à produtividade. Comparando-se os dados da TABELA 2 com os da TABELA 4, que mostra valores de produção primária de outros ambientes, verifica-se que o valor obtido para Guarapiranga é próximo ao do Reservatório de Paraibuna, considerado pouco produtivo por GIANESELLA-GALVÃO (1981).

Em Guarapiranga, principal manancial de abastecimento da cidade de São Paulo, a proliferação de organismos fitoplânctônicos é controlada através da aplicação de algicidas e, por isso, os dados de produção não fornecem indicação da real situação de eutrofização do ambiente uma vez que neste, de acordo com MAIER & TAKINO (1985b), as concentrações iônicas são elevadas.

Os valores registrados para Alecrim, Águas Claras, Itupararanga e Parque Ecológico são próximos àqueles registrados para a Lagoa Carioca, no verão (BARBOSA, 1979), Reservatório de Santa Branca (GIANESELLA-GALVÃO, 1981), Represa do Broa, ambiente considerado mesooligotrófico (TUNDISI, 1977) e Lago D. Helvécio (PONTES, 1980). Itupararanga e Parque Ecológico foram reservatórios onde se registraram teores muito baixos de clorofila. Em Águas Claras, apesar da concentração de clorofila não ter sido tão baixa, a reduzida espessura da camada eufótica, resultante da elevada quantidade de material em suspensão (MAIER & TAKINO, 1985b), muitas vezes maior que em outros reservatórios com igual quantidade de clorofila, foi, provavelmente, a causa da baixa produção registrada. Os reservatórios

Juqueri, Batista e São José, com relação à produção primária, assemelham-se a Pedro Beicht e Cachoeira que GIANESELLA-GALVÃO (1981) considerou medianamente produtivos.

Como ambientes já mais produtivos que os anteriores, destacam-se Ponte Nova, Itapeva, Funil, Fumaça e França que, à exceção de Itapeva, apresentaram camada eufótica espessa propiciando a relativamente elevada produção por área a despeito dos valores não muito elevados nos vários níveis (FIGURAS 2A, 2R, 2N e 2M, respectivamente). No reservatório Itapeva, a menor espessura da camada eufótica foi compensada pelos valores mais elevados de produção nos diversos níveis (FIGURA 2Q). As taxas de fotossíntese, nesses reservatórios, aproximam-se daquelas citadas por BARBOSA (1979), para a Lagoa Carioca, no período de inverno, e das obtidas para os reservatórios Barra Bonita e Volta Grande (MATSUMURA - TUNDISI; HINO; CLARO, 1981).

Dos dezessete reservatórios, quatro apresentaram taxa média de produção bastante elevada: Serraria, Rio das Pedras, Riacho Grande e Pedreira. A elevada produção registrada em Serraria deveu-se ao valor excessivamente alto obtido no quarto

período quando os teores de clorofila foram, também, elevados. Entretanto, se fossem consideradas as taxas dos outros três períodos, este reservatório estaria mais corretamente incluído entre aqueles de produtividade não tão alta. Comparando-se as taxas de produção destes reservatórios com a da Represa de Americana, ambiente descrito como eutrofizado (ARCIFA; FROELICH; GIANESELLA - GALVÃO, 1981) e com valor médio de produção igual a  $768,2 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  (GIANESELLA-GALVÃO, 1981), constata-se que apenas Serraria mostrou valor próximo a esse enquanto que em Rio das Pedras e Riacho Grande, as taxas foram aproximadamente duas vezes superiores e em Pedreira, quase três.

A situação de eutrofização de Rio das Pedras, Riacho Grande e Pedreira é também evidenciada pela elevada concentração iônica, altos teores de clorofila (MAIER & TAKINO, 1985a e 1985b) e pelos tipos de organismos zooplancônicos (SENDACZ; KUBO; CESTAROLLI, 1985) e bentônicos (CIPÓLLI & AMORIM, 1980) encontrados e é resultante do fato desses ambientes receberem grande parte dos efluentes domésticos e efluentes industriais da cidade de São Paulo e de algumas regiões vizinhas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, G.C. & ZEUTSHEL, R.P. 1970 Release of dissolved organic matter by marine phytoplankton in coastal and offshore areas of the Northeast Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 15 (3):402-7.
- ARCIFA, M.S.; FROELICH, C.G.; GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F. 1981 Circulation patterns and their influence on physicochemical and biological conditions in eight reservoirs in Southern Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21: 1054-59.
- BARBOSA, F.A.R. 1979 *Produção primária e fatores ambientais na Lagoa Carioca - Parque Florestal do Rio Doce - MG.* (Dissertação de Mestrado. Departamento Ciências Biológicas UFSCar - São Carlos) 205 p.
- BEETON, A.M. 1965 Eutrophication of the St. Lawrence Great Lakes. *Limnol. Oceanogr.* 10: 240-54.
- CIPÓLLI, M.N. & AMORIM, D.S. 1980 Tipologia de reservatórios - Bentos. (Relatório enviado à FAPESP).
- CURI, Jr. & SMALL, L.F. 1965 Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.* 10 (suppl): 67-73.
- DOBSON, H.F.H.; GILBERTSON, M.; SLY, P.G. 1974 A summary and comparison of nutrients and related water quality in lakes Erie, Ontario, Huron and Superior. *J. Fish. Res. Board. Can.* 31: 731-38.
- EPPLEY, R.W. 1972 Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.* 70: 1063-65.
- GARGAS, E. 1975 *A manual for phytoplankton primary production studies in the Baltic.* The Baltic Mar. Biologists and Danish Agency of Environmental Protection, 88p.
- GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F. 1981 *Produção primária e suas relações com alguns fatores físico-químicos em reservatórios do Estado de São Paulo.* (Tese de doutoramento, Instituto Oceanográfico da U.S.P.)
- GLOOSCHENKO, W. A., et alii. 1974 Primary production in lakes Ontario and Erie: a comparative study. *J. Fish. Res. Board Can.* 31: 253-63.

- HARRIS, G.P. 1978 Photosynthesis, productivity and growth: the physiological ecology of phytoplankton. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 10 (1/4): 1-171.
- ICHIMURA, S. 1968 Phytoplankton Photosynthesis. 103-20. In: Jackson, D. F. (ed.) *Algae, Man, and the Environment*. Syracuse University Press, New York. 554 p.
- LEWIS, Jr., W.M. 1974 Primary production in the plankton community of a tropical lake. *Ecol. Monogr.* 44: 377-409.
- LUND, J.W.G. 1965 The ecology of the freshwater phytoplankton. *Biol. Rev.* 40: 231-93.
- MAIER, M.H. 1985 Limnologia de Reservatórios do Sudeste do Estado de São Paulo. II. Circulação e estratificação da água. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 12(1):11-43, maio.
- \_\_\_\_\_, & TAKINO, M. 1985a Limnologia de Reservatórios do Sudeste do Estado de São Paulo. IV. Nutrientes e clorofila *a*. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 12(1): 75-102, maio.
- \_\_\_\_\_, & TAKINO, M. 1985b Limnologia de Reservatórios do Sudeste do Estado de São Paulo. III. Qualidade da água. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 12(1): 45-73, maio.
- MARGALEF, R. et alii 1976 *Limnologia de los embalses españoles*. Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas, Madrid 123, 454 p. + Apéndice.
- MATSUMURA-TUNDISI, T., HINO K.; CLARO, S.M. 1981 Limnological studies at 23 reservoirs in southern part of Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol. Stuttgart*, 21: 1040-47.
- MELACK, J.M. & KILHAM, P. 1974 Photosynthetic rates of phytoplankton in East African alkaline, saline lakes. *Limnol. and Oceanogr.* 19 (5): 743-55.
- PONTES, M.C.F. 1980 *Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago D. Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce, M.G.* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Biológicas) 293 p.
- RABINOWITZ, E.I. 1956 *Photosynthesis and related process*. vol. II (2) Interscience Publishers, N. York.
- RYTHER, J.H. 1956 Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. *Limnol. Oceanogr.* 1: 61-70.
- SANTOS, L.E. & SANTO PAULO, M. 1985 Limnologia de Reservatórios do Sudeste do Estado de São Paulo. I. Climatologia. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 12(1): 1-10, maio.
- SENDACZ, S.; KUBO, E.; CESTAROLLI, M.A. 1985 Limnologia de Reservatórios do Sudeste do Estado de São Paulo. VIII. Zooplâncton. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 12(1): - , maio.
- STEEMANN-NIELSEN, E. 1952 The use of radioactive carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 18 117-40.
- STEEMANN-NIELSEN, E. 1957 The chlorophyll content and light utilization in communities of plankton algae and terrestrial higher plants. *Physiologia Plant.*, 10: 1003-21.
- TAKINO, M. & MAIER, M.H. 1981 Hydrology of reservoirs in the São Paulo State, Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol. Stuttgart*, 21:1060-65.
- TALLING, J.F. 1965 The photosynthetic activity of phytoplankton in East African lakes. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 50: 1-32.
- TILZER, M. 1973 Diurnal periodicity in the phytoplankton population of a high mountain lake. *Limnol. Oceanogr.*, 18: 15-30.
- THOMAS, W.H. 1970 On nitrogen deficiency in tropical Pacific oceanic phytoplankton: photosynthetic parameters in poor and rich water. *Limnol. Oceanogr.*, 15: 380-85.
- TUNDISI, J.G. 1977 *Produção primária "standing-stock", fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistemas lacustre artificial (Represa do Broa, São Carlos)*. (Tese de Livre Docência, Departamento de Biologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, USP) 409 p.
- TUNDISI, J.G. 1981 Typology of reservoirs in Southern Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21: 1031-30.
- TUNDISI, J.G. et alii 1977 Primary production, standing-stock of phytoplankton and ecological factors in a shallow tropical reservoir (Represa do Broa, São Carlos, Brasil). In: *SEMINÁRIO SOBRE MEDIO AMBIENTE Y REPRESAS*. Tomo 1:138-72. Org. de los Estados Americanos. Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos. Montevideo-Uruguay.
- VOLLENWEINDER, R.A. 1974 *Primary Production in aquatic environments*. Oxford, Blackwell, 213 p. (IBP Handbook, 12).
- WETZEL, R.G. 1975 *Limnology*. W.B. Saunders Company, Toronto, 733 p.

TABELA 1

Reservatórios: ano de construção, localização geográfica, altitude, área inundada, profundidade, capacidade total e bacia hidrográfica.

| Nº | Reservatórios    | Ano  | Localização     | Altitude (m) | Área (ha) | Prof. (m) | Capacidade (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) | Bacias                    |
|----|------------------|------|-----------------|--------------|-----------|-----------|----------------------------------------------|---------------------------|
| 1  | Ponte Nova       | 1972 | 23°33'S-45°50'W | 765          | 2760      | 28,0      | 336000                                       | Paraná (Rio Tietê)        |
| 2  | Pedreira         | 1928 | 23°39'S-46°38'W | 746          | 12700     | —         | 1229000                                      | Complexo Billings         |
| 3  | Rincho Grande    | 1928 | 23°52'S-46°31'W | 746          | —         | —         | —                                            | Complexo Billings         |
| 4  | Rio das Pedras   | 1926 | 23°51'S-46°28'W | 728          | 730       | —         | 49000                                        | Complexo Billings         |
| 5  | Guarapiranga     | 1906 | 23°41'S-46°43'W | 737          | 3618      | 13,0      | 194000                                       | Paraná (Rio Tietê)        |
| 6  | Parque Ecológico | 1977 | 23°32'S-46°48'W | 790          | 3         | 5,0       | —                                            | Paraná (Rio Tietê)        |
| 7  | Itupararanga     | 1914 | 23°40'S-47°13'W | 824          | 3844      | 24,0      | 355000                                       | Paraná (Rio Tietê)        |
| 8  | Águas Claras     | 1970 | 23°20'S-46°44'W | 860          | 18        | 18,8      | 1000                                         | Paraná (Rio Tietê)        |
| 9  | Juqueri          | 1970 | 23°20'S-46°35'W | 745          | 553       | 16,0      | 36040                                        | Paraná (Rio Tietê)        |
| 10 | Batista          | 1913 | 23°42'S-47°35'W | 780          | 75        | 14,5      | —                                            | Paraná (Rio Paranapanema) |
| 11 | São José         | 1934 | 23°45'S-48°57'W | 650          | 85        | —         | 15000                                        | Paraná (Rio Paranapanema) |
| 12 | França           | 1959 | 23°56'S-47°11'W | 640          | 145       | 35,0      | 135000                                       | Ribeira de Iguape         |
| 13 | Fumaça           | 1963 | 24°00'S-47°15'W | 531          | 841       | 46,0      | 90000                                        | Ribeira de Iguape         |
| 14 | Alecrim          | 1974 | 24°04'S-47°28'W | 238          | 880       | 52,5      | 10000                                        | Ribeira de Iguape         |
| 15 | Serraria         | 1978 | 24°09'S-47°33'W | 83           | —         | 52,0      | 16500                                        | Ribeira de Iguape         |
| 16 | Itapeva          | 1950 | 22°44'S-45°34'W | 2000         | 1         | 9,0       | —                                            | Paraíba do Sul            |
| 17 | Funil            | 1969 | 22°40'S-44°31'W | 547          | 3500      | —         | 890000                                       | Paraíba do Sul            |

\* Prof. = Profundidade máxima

TABELA 2

Valores da produção primária (mgC. m<sup>-2</sup>. dia<sup>-1</sup>) para os quatro períodos, nos reservatórios considerados.

| Reservatório   | mar.-abr.<br>(1º per.) | mai.-jun.<br>(2º per.) | ag.-set.<br>(3º per.) | nov.-dez.<br>(4º per.) | 1º a 4º<br>(média) |
|----------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| Ponte Nova     | 360,99                 | 472,72                 | 160,16                | 331,86                 | 331,43             |
| Pedreira       | 4.333,99               | 422,08                 | 9,73                  | 2.889,63               | 1.913,86           |
| Rincho Grande  | 1.165,07               | 1.276,18               | 1.044,18              | 2.381,29               | 1.466,83           |
| Rio das Pedras | 146,09                 | 243,64                 | 731,85                | 4.362,25               | 1.370,96           |
| Guarapiranga   | 55,49                  | 44,83                  | 28,24                 | 71,74                  | 50,08              |
| Pq. Ecológico  | 157,24                 | 134,19                 | 170,06                | 305,62                 | 191,78             |
| Itupararanga   | 215,70                 | 152,20                 | 170,10                | 142,77                 | 170,19             |
| Águas Claras   | 133,23                 | 45,31                  | 144,19                | 211,26                 | 133,50             |
| Juqueri        | 237,09                 | 74,90                  | 176,39                | 361,30                 | 212,42             |
| Batista        | 170,15                 | 183,01                 | 274,12                | 246,88                 | 218,54             |
| São José       | 293,87                 | 441,40                 | 149,07                | 199,96                 | 271,08             |
| França         | 335,18                 | 209,78                 | 483,52                | 627,48                 | 413,99             |
| Fumaça         | 348,43                 | 142,47                 | 202,04                | 873,09                 | 391,51             |
| Alecrim        | 78,99                  | 60,38                  | 137,00                | 156,92                 | 108,32             |
| Serraria       | 445,43                 | 305,20                 | 197,55                | 1.722,32               | 667,62             |
| Itapeva        | 362,94                 | 70,39                  | 458,60                | 463,46                 | 338,85             |
| Funil          | 833,53                 | 132,79                 | 290,91                | 177,55                 | 358,70             |

TABELA 3

Valores da taxa de assimilação (T.A.) e número de assimilação (N.A.) ( $\text{mgC. mg}^{-1} \text{cl}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) na zona eufótica, para os quatro períodos, nos reservatórios considerados.

| Reservatório   | mar.-abr. |      | mai.-jun. |      | ag.-set.  |      | nov.-dez. |      | 1º a 4º |      |
|----------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|---------|------|
|                | (1º per.) |      | (2º per.) |      | (3º per.) |      | (4º per.) |      | (média) |      |
|                | T.A.      | N.A. | T.A.      | N.A. | T.A.      | N.A. | T.A.      | N.A. | T.A.    | N.A. |
| Ponte Nova     | 0,47      | 0,90 | 0,60      | 1,11 | 0,35      | 0,61 | 0,54      | 1,01 | 0,49    | 0,91 |
| Pedreira       | 2,01      | 5,05 | 2,01      | 6,80 | 0,43      | 2,10 | 5,33      | 7,40 | 2,45    | 5,34 |
| Riacho Grande  | 0,40      | 1,18 | 0,91      | 2,00 | 1,58      | 3,95 | 1,89      | 3,25 | 1,20    | 2,59 |
| Rio das Pedras | 0,13      | 0,46 | 0,36      | 0,91 | 1,38      | 4,19 | 4,68      | 7,18 | 1,64    | 3,18 |
| Guarapitanga   | 0,42      | 1,08 | 1,49      | 2,37 | 0,51      | 2,14 | 1,94      | 4,76 | 1,09    | 2,59 |
| Pq. Ecológico  | 0,74      | 1,18 | 0,73      | 0,90 | 0,79      | 1,76 | 1,27      | 1,81 | 0,88    | 1,41 |
| Itupararanga   | 0,72      | 1,18 | 0,90      | 1,64 | 0,69      | 1,45 | 2,02      | 3,10 | 1,08    | 1,84 |
| Águas Claras   | 0,47      | 0,72 | 0,42      | 0,66 | 0,64      | 0,95 | 2,42      | 4,62 | 0,99    | 1,74 |
| Juqueri        | 1,04      | 2,56 | 0,81      | 1,71 | 0,47      | 1,43 | 1,81      | 3,25 | 1,03    | 2,24 |
| Batista        | 0,45      | 0,59 | 0,94      | 1,38 | 0,64      | 1,10 | 0,74      | 1,20 | 0,69    | 1,07 |
| São José       | 0,54      | 0,91 | 0,76      | 1,59 | 0,37      | 0,72 | 0,42      | 0,51 | 0,52    | 0,93 |
| França         | 0,70      | 1,00 | 0,35      | 0,52 | 1,40      | 3,10 | 1,02      | 1,89 | 0,87    | 1,63 |
| Fumaça         | 0,74      | 1,59 | 0,70      | 1,08 | 0,61      | 1,14 | 1,20      | 1,71 | 0,81    | 1,38 |
| Alecrim        | 0,52      | 0,84 | 0,43      | 0,70 | 0,55      | 0,87 | 1,83      | 3,15 | 0,83    | 1,40 |
| Serraria       | 0,72      | 1,56 | 1,14      | 2,19 | 0,47      | 0,96 | 1,64      | 2,68 | 1,00    | 1,85 |
| Itapeva        | 2,07      | 3,70 | 0,11      | 0,16 | 0,92      | 1,16 | 0,77      | 1,51 | 0,97    | 1,63 |
| Funil          | 1,05      | 1,45 | 0,23      | 0,37 | 0,59      | 0,74 | 0,20      | 0,45 | 0,52    | 0,75 |

TABELA 4

Valores de produção primária de ambientes citados na discussão deste trabalho.

| Ambiente estudado                                                 | Produção primária<br>( $\text{mg C. m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) | Referência                               |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Reservatório de Paraibuna<br>(SP - Bacia do Rio Paraíba do Sul)   | 41,4                                                                 | GIANESSELLA-GALVÃO, 1981                 |
| Reservatório de Sta. Branca<br>(SP - Bacia do Rio Paraíba do Sul) | 92,6                                                                 | GIANESSELLA-GALVÃO, 1981                 |
| Lagoa Carioca (verão)<br>(MG - Vale do Rio Doce)                  | 93,78                                                                | BARBOSA, 1979                            |
| Represa do Broa<br>(SP - São Carlos)                              | 155                                                                  | TUNDISI, 1977                            |
| Lago D. Helvécio<br>(MG - Vale do Rio Doce)                       | 188,53                                                               | PONTES, 1980                             |
| Reservatório de Pedro Beicht<br>(SP - Bacia do Rio Tietê)         | 201,2                                                                | GIANESSELLA-GALVÃO, 1981                 |
| Reservatório de Cachoeira<br>(SP - Bacia do Rio Tietê)            | 285,8                                                                | GIANESSELLA-GALVÃO, 1981                 |
| Lagoa Carioca (inverno)<br>(MG - Vale do Rio Doce)                | 305,78                                                               | BARBOSA, 1979                            |
| Reservatório de Volta Grande<br>(SP - Bacia do Rio Grande)        | 340,23                                                               | MATSUMURA-TUNDISI; HINO<br>& CLARO, 1981 |
| Reservatório de Barra Bonita<br>(SP - Bacia do Rio Tietê)         | 398,27                                                               | MATSUMURA-TUNDISI; HINO<br>& CLARO, 1981 |
| Reservatório de Americana<br>(SP - Bacia do Rio Tietê)            | 768,2                                                                | GIANESSELLA-GALVÃO, 1981                 |

LEGENDA:

|                      | BACIAS                | COMPLEXO BILLINGS  |
|----------------------|-----------------------|--------------------|
| Rio Paraná           | Rio Ribeira de Iguape | Rio Paraíba do Sul |
| Ponte Nova (1)       | França (12)           | Itapeva (16)       |
| Guarapiranga (5)     | Fumaça (13)           | Funil (17)         |
| Parque Ecológico (6) | Alecrim (14)          | Pedreira (2)       |
| Inupararanga (7)     | Serraria (15)         | Riacho Grande (3)  |
| Águas Claras (8)     |                       | Rio das Pedras (4) |
| Juqueri (9)          |                       |                    |
| Batista (10)         |                       |                    |
| São José (11)        |                       |                    |

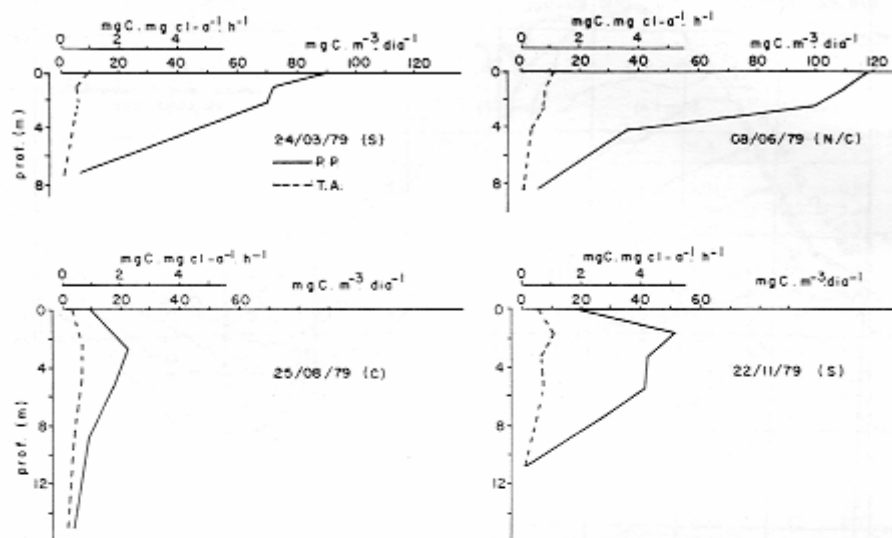


FIGURA 2A. Reservatório Ponte Nova.

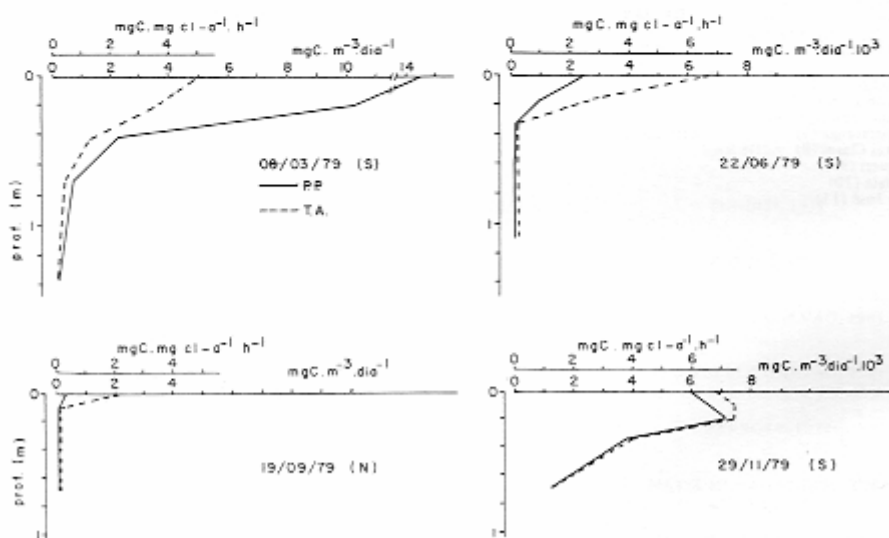


FIGURA 2B. Reservatório Pedreira.

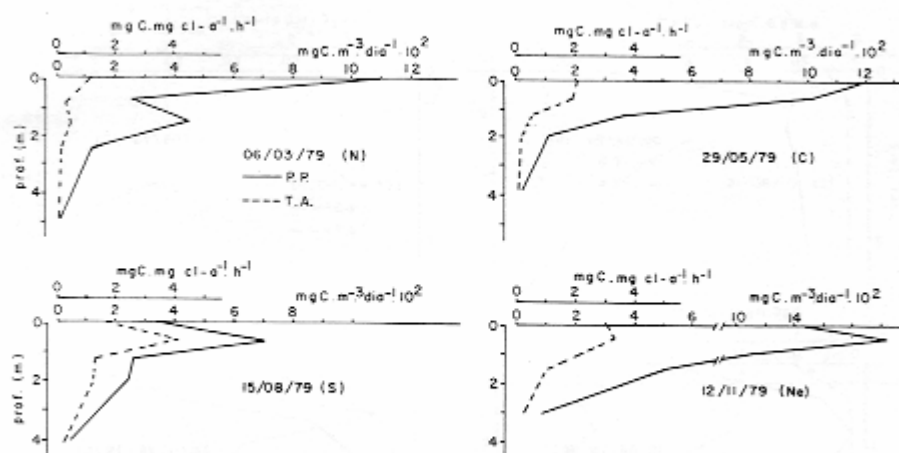


FIGURA 2C. Reservatório Riacho Grande.

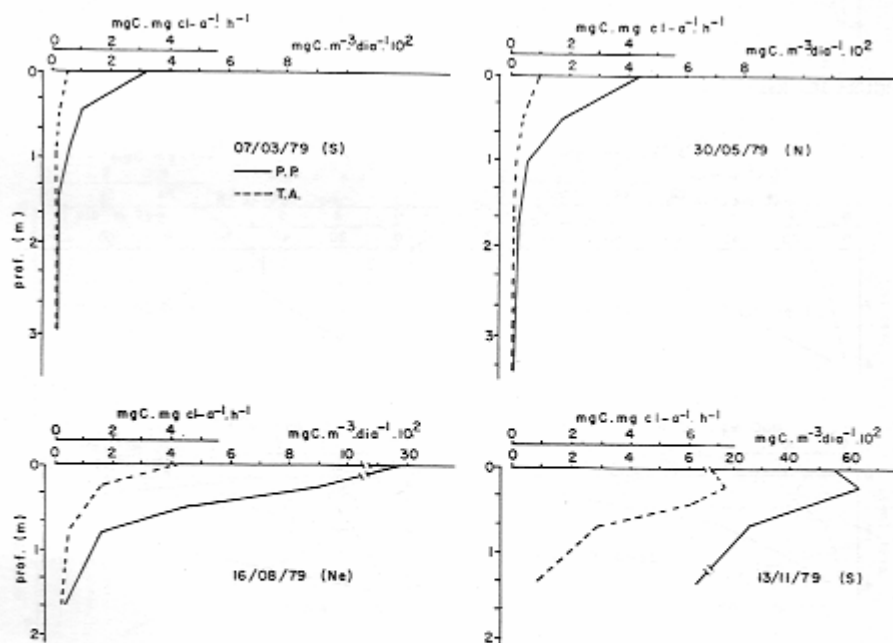


FIGURA 2D. Reservatório Rio das Pedras.

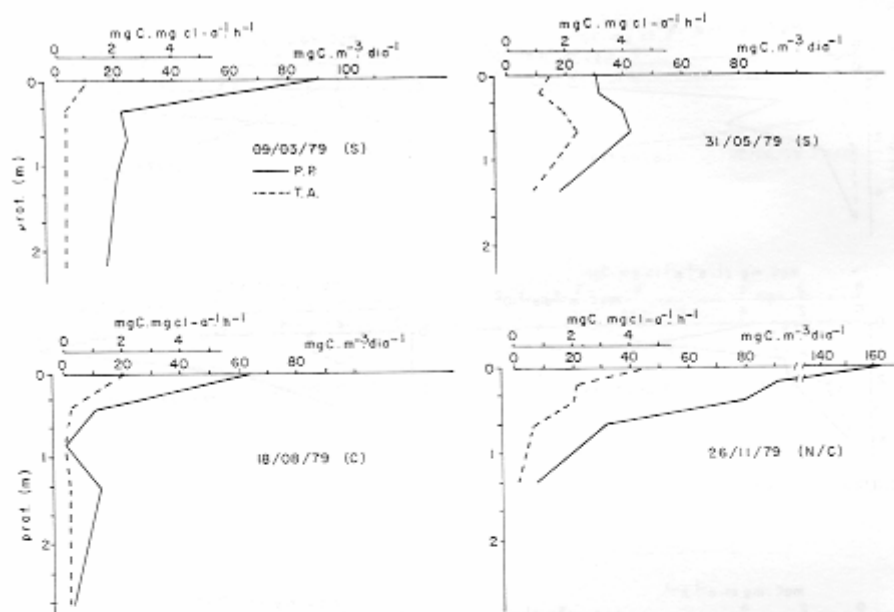


FIGURA 2E. Reservatório Guarapiranga.

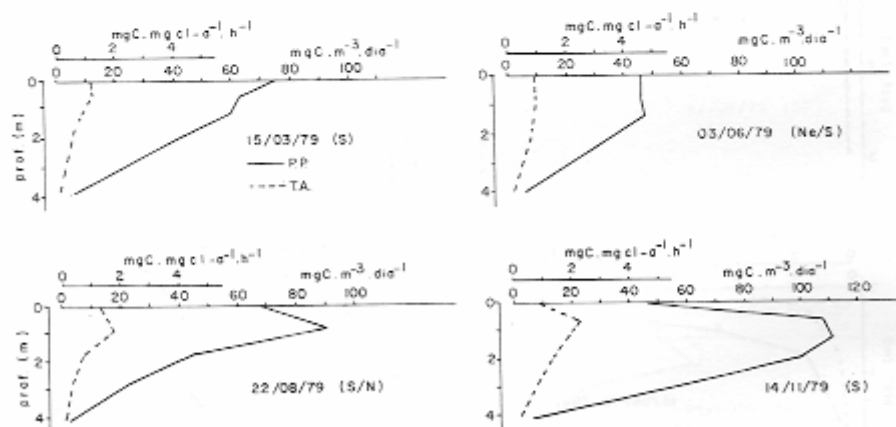


FIGURA 2F. Reservatório Parque Ecológico.

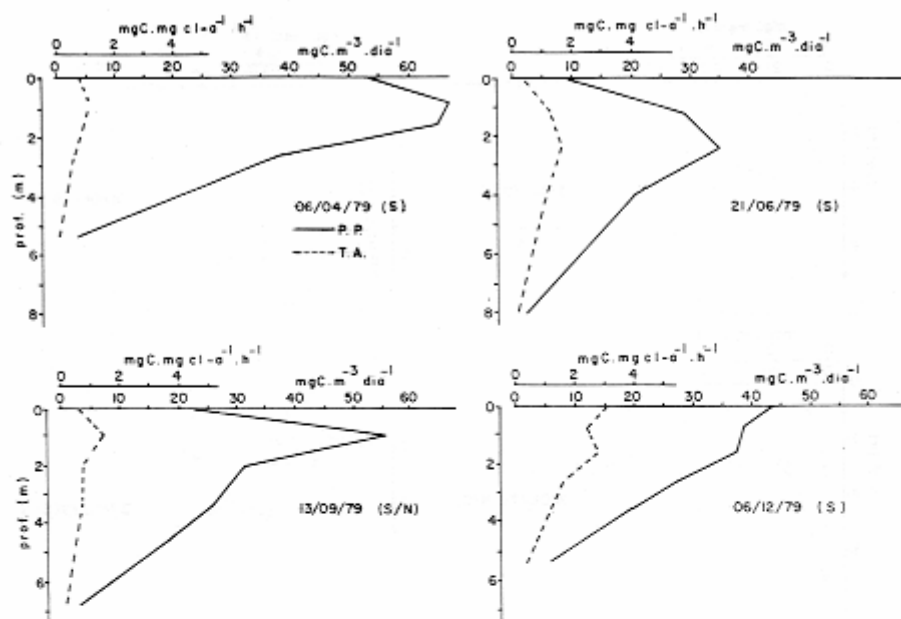


FIGURA 2G. Reservatório Itaipuaranga.

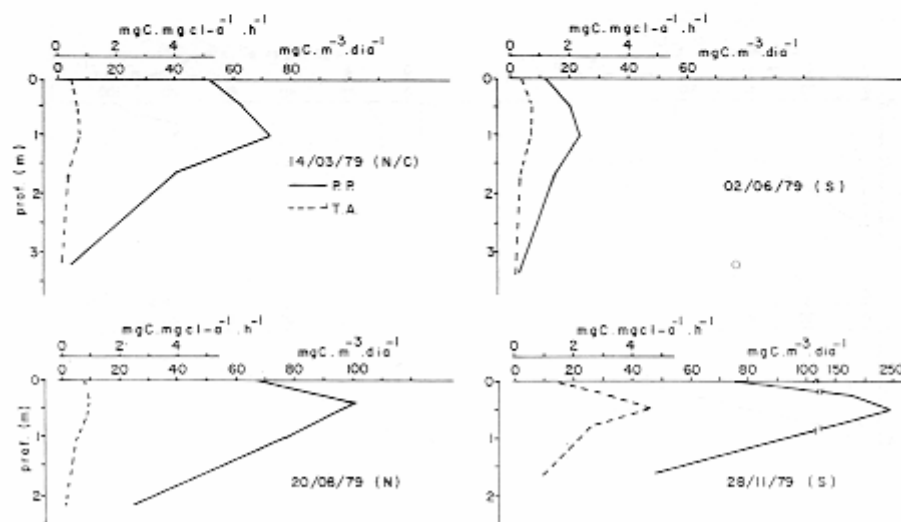


FIGURA 2H. Reservatório Águas Claras.

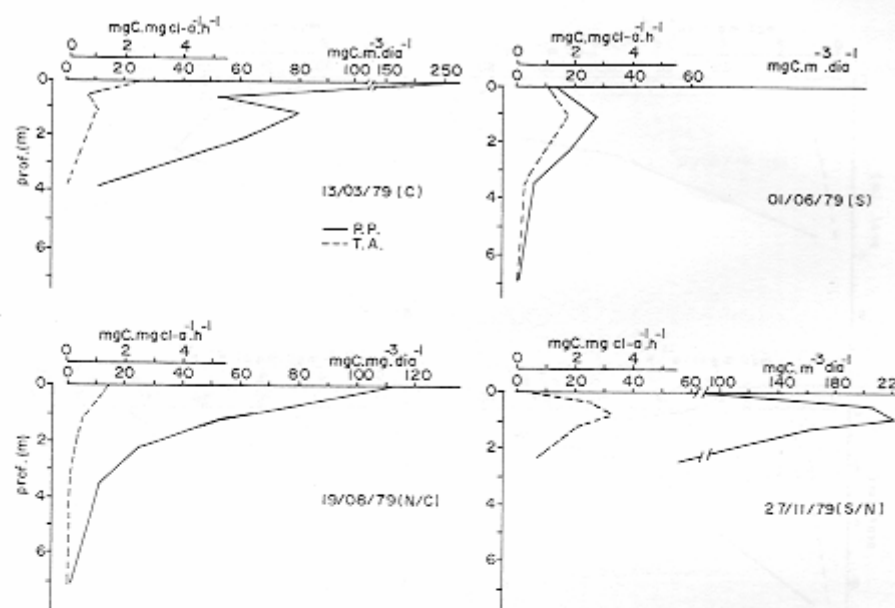


FIGURA 2I. Reservatório Juqueri.

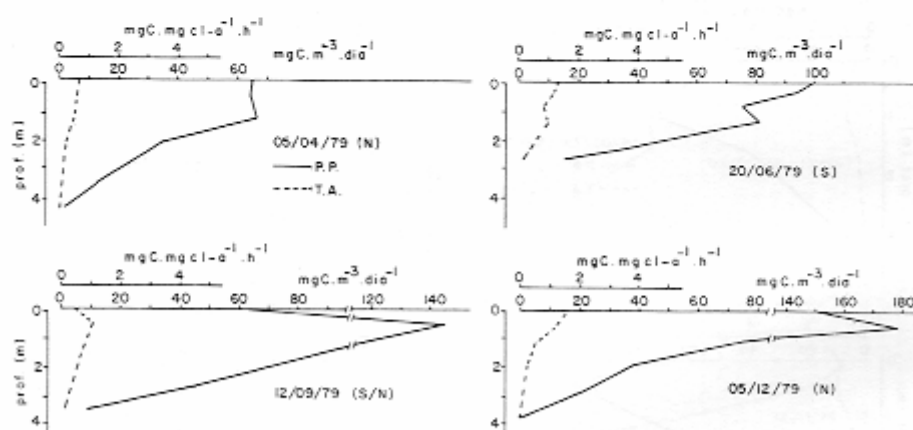


FIGURA 2J. Reservatório Batista.

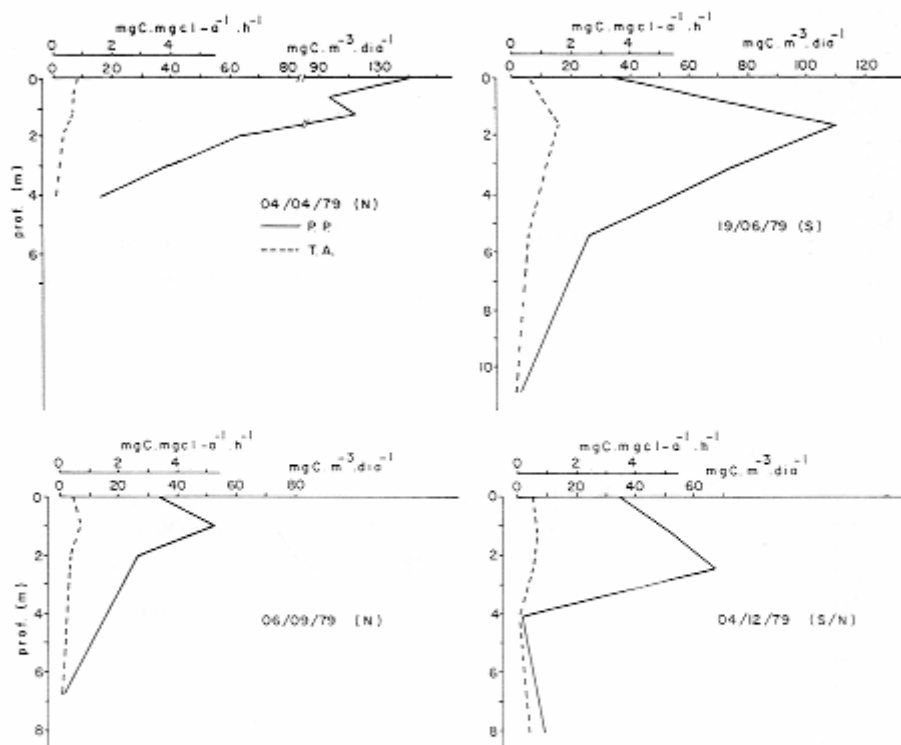
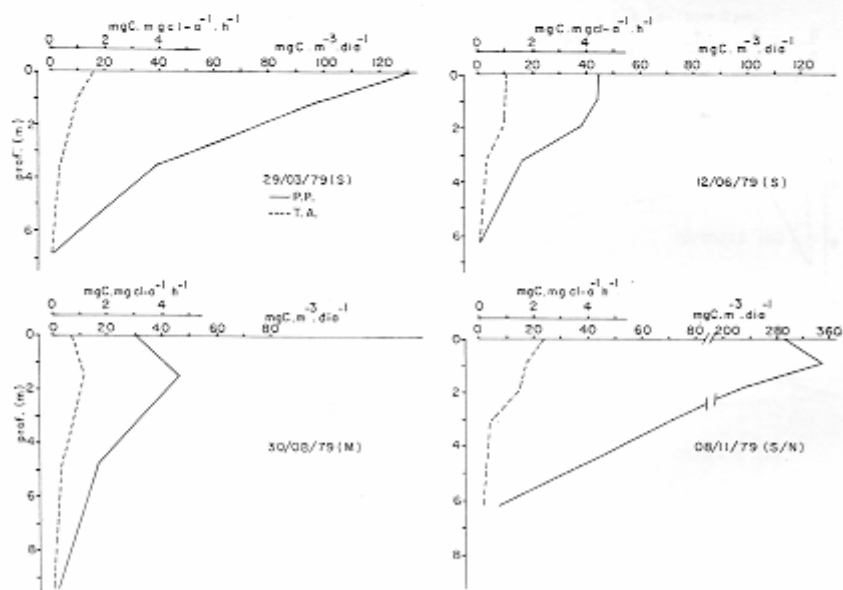
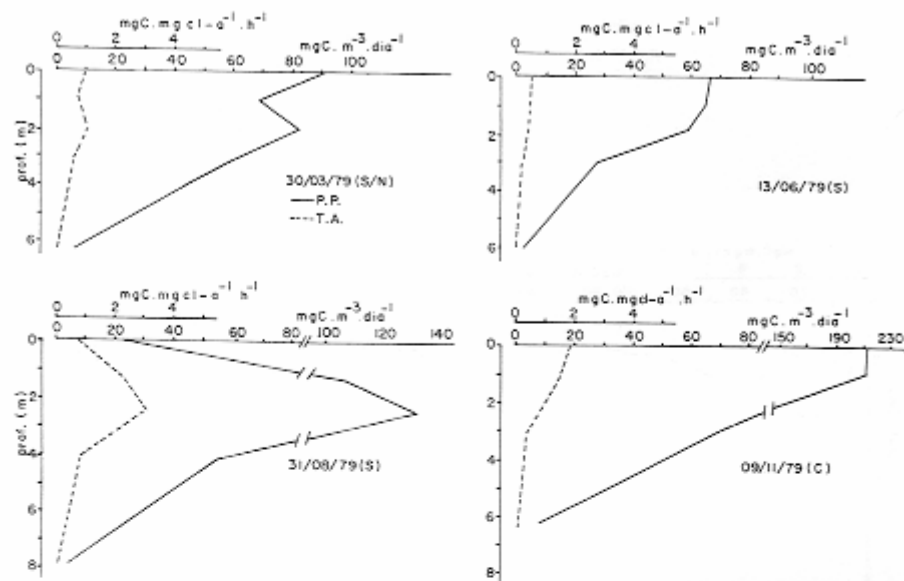


FIGURA 2L. Reservatório São José.



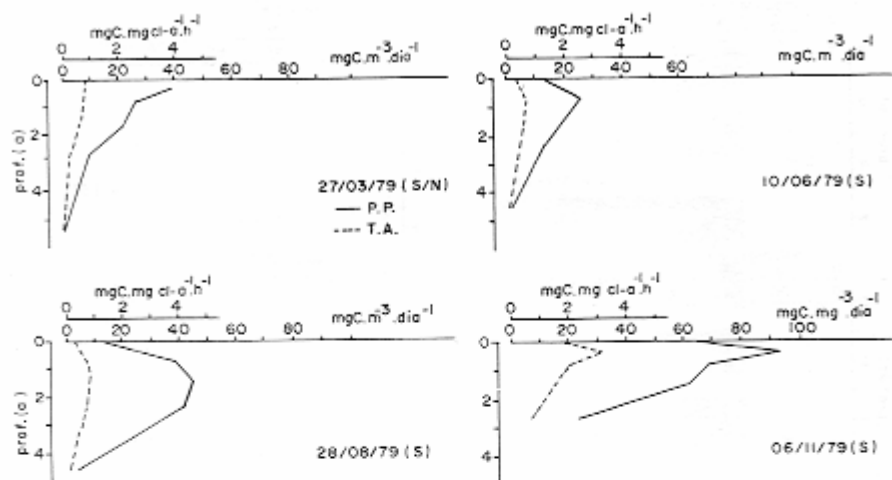


FIGURA 20. Reservatório Alecrim.

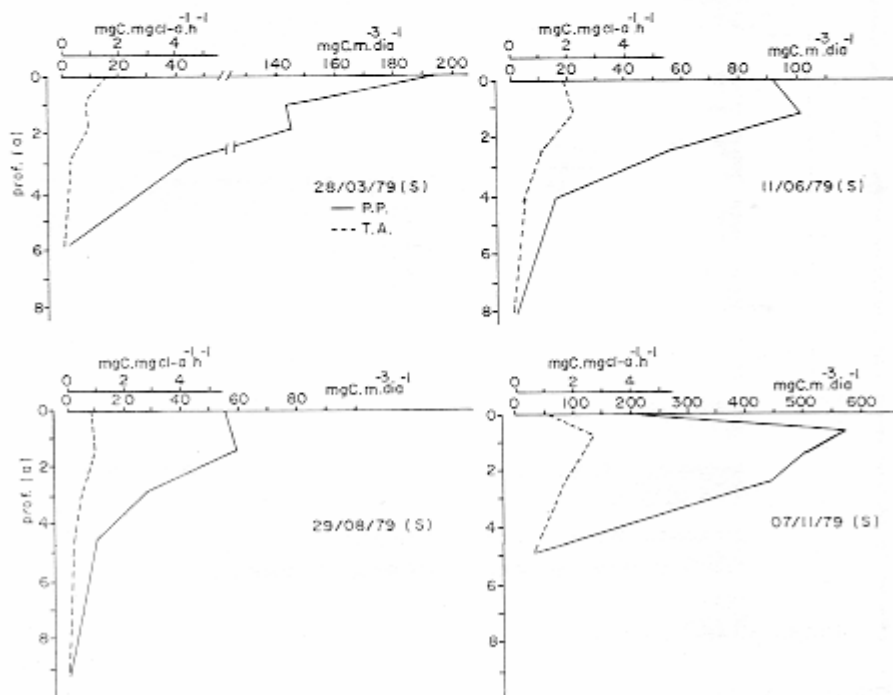


FIGURA 2P. Reservatório Serraria.

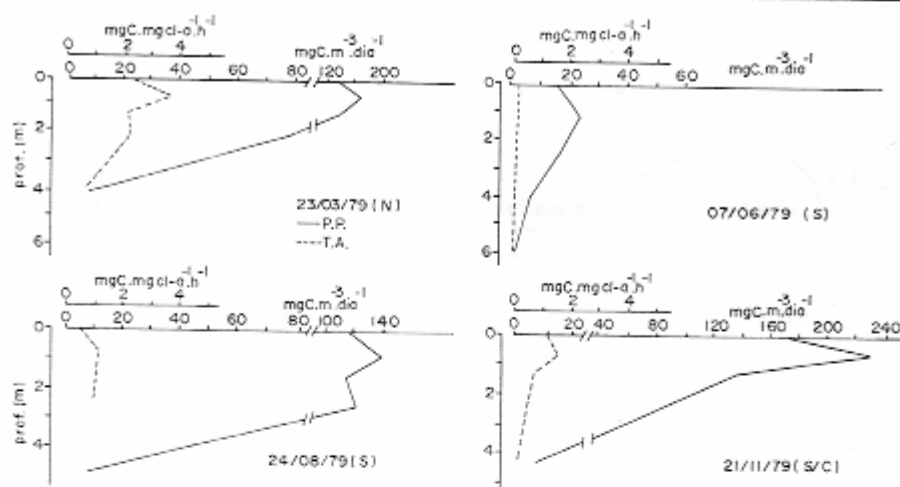


FIGURA 2Q. Reservatório Itapeva.

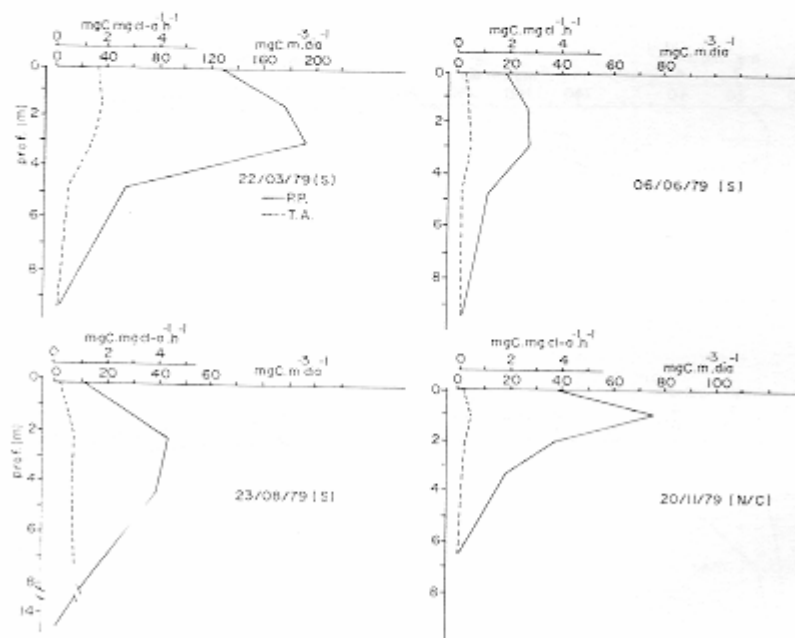


FIGURA 2R. Reservatório Funil.

FIGURAS 2A-R – Perfis verticais de produção primária (P.P. =  $\text{mgC. m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) e de taxa de assimilação (T.A. =  $\text{mgC. mgC}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) na zona eufótica, acompanhados de indicações sobre o tempo durante a incubação (S = sol, N = nublado, C = chuva, Ne = neblina), nos quatro períodos e nos reservatórios considerados.

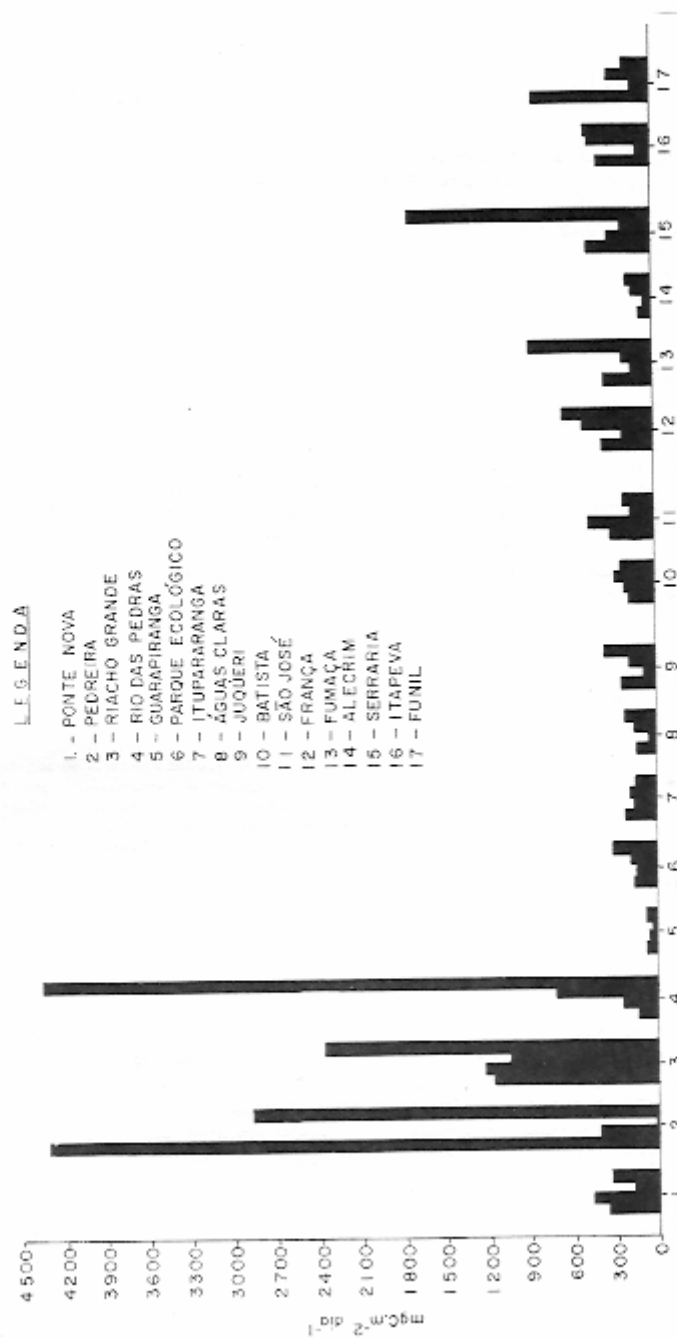


FIGURA 3 - Representação gráfica dos valores de produção primária ( $\text{mg.C.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), nos reservatórios, nas 4 períodos considerados.