Sônia Maria Flôres Gianesella-Galvão*

PRODUÇÃO PRIMÁRIA E SUAS RELAÇÕES COM ALGUNS FATORES FÍSICO-QUÍMICOS EM RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

VOLUME I - TEXTO

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, para obtenção do Grau de Doutor em Ciências

* Prof. Assistente do Departamento de Ecologia Geral do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

São Paulo

1981

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

SÍMBOLOS USADOS NO TEXTO

1 - INTRODUÇÃO..... 1

1.1 - Fundamentos científicos, objetivos gerais e justificativa..... 1

1.2 - Considerações gerais sobre os ambientes.... 6

1.2.1 - Características geológicas, climáticas e vegetais..... 6

1.2.2 - Características particulares e de ordem técnica..... 10

1.3 - Objetivos específicos..... 13

2 - MATERIAL E MÉTODOS..... 15

2.1 - Considerações gerais..... 15

2.2 - Metodologia..... 17

2.2.1 - Radiação solar..... 17

2.2.2 - Hidrologia..... 17

2.2.2.1 - Penetração de luz..... 17

2.2.2.2 - Temperatura da água..... 19

2.2.2.3 - Condutividade..... 19

2.2.2.4 - pH e alcalinidade..... 19

2.2.2.5 - CO_2 livre, HCO_3^-, $CO_3^{=}$ e CO_2 total.. 19

2.2.2.6 - Oxigênio dissolvido..... 20

2.2.2.7 - Nutrientes..... 20

2.2.2.8 - Íons..... 21

2.2.3 - Planctonologia..... 21

2.2.3.1 - Microfitoplâncton..... 21

2.2.3.2 - Clorofila-*a*..... 22

2.2.3.3 - Produção primária..... 23

2.2.3.4 - Taxa de assimilação..... 27

2.2.3.5 - Fracionamento..... 27

2.2.3.6 - Eficiência fotossintética..... 27

2.2.3.7 - Assimilação de CO_2 no escuro..... 28

2.2.4 - Tratamento estatístico..... 28

3 - RESULTADOS..... 29

3.1 - Radiação solar..... 29

3.2 - Hidrologia..... 29

3.2.1 - Penetração de luz e transparência..... 29

3.2.1.1 - Disco de Secchi..... 29

3.2.1.2 - Hidrofotometria..... 30

3.2.2 - Temperatura, oxigênio e condutividade.. 31

3.2.3 - pH, alcalinidade, CO_2 total e outras formas de carbono..... 36

3.2.4 - Íons..... 37

3.2.5 - Nutrientes inorgânicos..... 41

3.3 - Planctonologia..... 47
3.3.1 - Microfitoplâncton..... 47
3.3.2 - Clorofila-*a*..... 49
3.3.3 - Produção primária..... 52
3.3.3.1 - Aspectos gerais..... 52
3.3.3.2 - Aspectos particulares..... 56
3.3.3.2.1 - Americana..... 56
3.3.3.2.2 - Paraibuna..... 57
3.3.3.2.3 - Atibainha..... 60
3.3.3.2.4 - Cachoeira..... 61
3.3.3.2.5 - Jaguari..... 62
3.3.3.2.6 - Santa Branca..... 64
3.3.3.2.7 - Pedro Beicht..... 65
3.3.3.2.8 - Taiaçupeba..... 66
3.3.3.2.9 - Ribeirão do Campo..... 67
3.3.3.2.10- Cabuçu..... 67

4 - DISCUSSÃO

4.1 - Padrões de circulação..... 69
4.2 - Parâmetros físicos e químicos: efeitos do padrão de circulação..... 77
4.3 - Distribuição vertical e variação temporal dos parâmetros biológicos - Aspectos gerais da produtividade primária dos reservatórios 111
4.4 - Relações entre produção primária e fatores físico - químicos e considerações sobre o estado trófico dos reservatórios..... 121

5 - CONCLUSÕES..... 144

5.1 - Conclusões gerais..... 144
5.2 - Conclusões a respeito do estado trófico de cada reservatório..... 147

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 151

RESUMO

Este trabalho é parte de um projeto mais amplo intitulado " Tipologia de Reservatórios do Estado de São Paulo", financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) que compreendeu o estudo de 52 reservatórios.

Neste estudo, quatro amostragens foram realizadas em dez reservatórios, durante o ano de 1979. Sete destes ambientes pertencem à Bacia do Tietê: Americana, Atibainha, Cabuçú, Cachoeira, Pedro Beicht, Ribeirão do Campo e Taiaçupeba; e três à bacia do Rio Paraíba do Sul: Jaguari, Paraibuna e Santa Branca.

Em cada reservatório, foi estabelecida uma estação de coleta, exceto em Paraibuna, onde foram estabelecidas três estações.

A produção primária medida pelo método do ^{14}C, foi determinada de forma a se obter um perfil vertical na zona eufótica, assim como as concentrações de clorofila-*a* . Os dados físico-químicos sobre penetração de luz, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, formas de CO_2, nutrientes e íons em solução foram obtidos ao longo da coluna de água, principalmente na região da zona eufótica.

Os resultados obtidos permitiram a identificação de dois padrões de circulação: monomíctico quente e polimíctico.

As medidas de produção primária mostraram que, de modo geral, os reservatórios são pouco ou medianamente produtivos, (41,4 a 285,8 $mgC.m^{-2}.dia^{-1}$) o que decorre do fato de estarem situados em terrenos pobres, na parte alta das bacias de drenagem. Isto se reflete nos baixos va-

lores de condutividade, alcalinidade e na pobreza especialmente de fosfatos. Em alguns destes reservatórios, também reduz a extensão da zona eufótica, diminuindo a produtividade.

O Reservatório de Americana foi uma exceção por tratar-se de um ambiente que vem sofrendo eutrofização cultural. Em conseqüência, sua produtividade média atingiu 768,2 mgC. $m^{-2}.dia^{-1}$.

Os valores de eficiência fotossintética observados foram baixos, (0,003 a 0,308%) semelhantes à grande maioria dos ambientes aquáticos.

O nanoplâncton foi o principal responsável pela produção primária, o que provavelmente decorre da maior relação superfície/volume apresentada por estes organismos e que permite a melhor exploração de ambientes oligotróficos.

Aparentemente, o fósforo é o principal nutriente limitante na maioria dos ambientes, como sugerida pelas baixas concentrações de fosfato dissolvido e pelas razões extremamente altas de N:P obtidas em diversos reservatórios, particularmente no inverno.

SUMMARY

The present work is part of a larger project entitled "Typology of Reservoirs of the State of São Paulo". It was sponsored by FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - State Foundation for Research Support), and included the study of 52 reservoirs.

For the present study, ten reservois were sampled four times during 1979. Seven of these belong to the Tietê River basin: Americana, Atibainha, Cabuçu, Cachoeira, Pedro Beicht, Ribeirão do Campo and Taiaçupeba; and three to the Paraíba do Sul River basin: Jaguari, Paraibuna and Santa Branca.

One sampling station was selected for each reservoir, except Paraibuna, where three stations were chosen.

Primary production, measured by the ^{14}C method, as well as concentrations of chlorophyll-*a* were determined in selected depths in order to provide a vertical profile of these variables in the euphotic zone. Physico-chemical data such as ligth penetration, temperature, electric conductivity, dissolved oxygen, pH, alkalinity, forms of CO_2, nutrients and ions in solution were obtained along the water column, especially in the euphotic zone.

The results permitted the detection of two circulation patterns: warm monomictic and polymictic.

In a general way, primary production levels were from low to medium (41.4 to 285.8 mg $C.m^{-2}.day^{-1}$), a consequence of most the reservoirs being located in the upper parts of their drainage basins, characterized by poor soils. This is reflected in low values of conductivity, alkalinity and, among the nutrients, of phosphates. On the other hand, in some of the reservoirs low ligth penetration values reduced

the thickeness of the euphotic zone, also lowering productivity.

Americana Reservoir, suffering a process of cultural eutrophication, was an exception, its productivity averaging 768.2 mg $C.m^{-2}.day^{-1}$.

Observed values of photosynthetic efficiency were low (0.003 to 0.308 per cent), as in the great majority of aquatic environments.

The nanoplankton were responsible for most of the primary production, probably due to their higher surface volume ratios, allowing them to exploit more easily oligotrophic environments.

Apparently phosphorus is the chief limiting nutrient in most reservoirs, as suggested by the low values of dissolved phosphates and by the very high N:P ratios observed in several of the reservoirs, particularly in winter.

SÍMBOLOS USADOS NO TEXTO

A = taxa horária de produção por unidade de volume ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$)

ΣA = taxa horária de produção por unidade de área ($mgC.m^{-2}.h^{-1}$)

$\Sigma\Sigma A$ = taxa diária de produção por unidade de área ($mgC.m^{-2}.dia^{-1}$)

A_{max} = taxa de produção máxima na coluna de água ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$)

B = biomassa como clorofila-*a* total em $mg.m^{-3}$

B_a = biomassa como clorofila-*a* ativa (corrigida para feofitina) em $mg.m^{-3}$

ΣB = biomassa por unidade de área dentro da zona eufótica, em $mg.m^{-2}$

A/B = taxa de assimilação em cada ponto da coluna de água em mgC.mg cl-*a*.h^{-1}

$(A/B)_{max}$ = número de assimilação ou maior taxa de assimilação da coluna de água

$\Sigma\Sigma A/_B$ = taxa de assimilação diária ($mgcl\text{-}a^{-1}.dia^{-1}$)

ΣA_e = equivalente de ΣA em $cal.m^{-2}.h^{-1}$

E_{tot} = $\Sigma Ae/_{Ia,i}.100$, eficiência fotossintética total (%)

F = taxa horária de produção por unidade de volume do plâncton < 20 µm (produção fracionada), em $mgC.\ m^{-3}.h^{-1}$

F/A = razão entre taxa de produção do plâncton < 20 µm e do plâncton total (%)

I = radiação total diária ao nível da superfície da água em $kcal.m^{-2}.dia^{-1}$

I_a = radiação fotossiteticamente ativa diária ao nível da superfície da água em $kcal.\ m^{-2}.dia^{-1}$

$I_{a,i}$ = radiação fotossínteticamente ativa no período de incubação, (4 horas) em $kcal.m^{-2}$

$\bar{I}_{a,i}$ = radiação média fotossinteticamente ativa no período de incubação em $kcal.m^{-2}.h^{-1}$ ou $\mu E.m^{-2}.\ s^{-1}$

I_{ot} = radiação fotossinteticamente ativa ao nível da taxa de fotossíntese máxima

ϵ_s = coeficiente de extinção vertical estimado através do disco de Secchi

ϵ_{mim} = menor valor de ϵ no espectro (400 - 700 nm)

Z_{ot} = profundidade da taxa de produção máxima

P = atividade do frasco escuro, em $dpm.h^{-1}$

T = atividade do frasco transparente, em $dpm.h^{-1}$

$P/_T$ = razão entre as atividades do frasco escuro e transparente (%)

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Fundamentos científicos, objetivos gerais e justificativa

A limnologia de ambientes tropicais permaneceu amplamente desconhecida até os anos 20. Rodhe (1974), na abertura da conferência intitulada "The Interaction Between Hidrographic, Physical and Biological Factors in Warm Lakes", realizada em Israel (1973), entatizou os principais aspectos do trabalho pioneiro de Thienemann e Ruttner, em 1928-29; estes autores coletaram grande quantidade de dados e material na Indonésia (Java, Sumatra e Bali) dando um grande impulso na pesquisa ecológica de lagos tropicais.

Tundisi *et al.* (1976), durante o "I Encontro Nacional sobre Limnologia, Piscicultura e Pesca Continetal", fizeram um histórico breve sobre a limnologia nos trópicos e apontaram como uma das principais causas do retardamento ocorrido neste campo, a ausência de grupos permanentes, pois a maioria dos trabalhos resultaram de expedições ou grupos temporários, situação que se reflete até hoje.

No Brasil, segundo estes autores, uma Comissão Técnica de Piscicultura do Nordeste iniciou seus trabalhos já nos anos 30, com Rudolf von Ihering e Pedro Azevedo, sendo que, em São Paulo, trabalhos precursores foram desenvolvidos na mesma época por Kleerekoper.

Tundisi (1976) faz uma análise da limnologia recente no Estado de São Paulo, subdividindo sua evolução em duas etapas: uma inicial, caracterizada por trabalhos de auto-ecologia, descritivos e de interesse mais qualitativo; e uma segunda etapa, em que as pesquisas dão maior ênfase aos estudos sinecológicos, quantitativos e dinâmicos. Neste levantamento, o autor cita os trabalhos mais significativos realizados até 1975.

Rocha (1976), também apresenta extensa revisão bibliográfica sobre trabalhos de limnologia voltados ao saneamento básico no Estado de São Paulo, mas podemos verificar que até então, a maior parte se encontra sob forma de relatórios internos datilografados, de difícil acesso .

De qualquer forma, após esta data, maior número de trabalhos sobre ambientes lóticos (Maier, 1978 ; Maier *et al.*, 1978) e lênticos foi realizado. A maior parte destes foi referente ao Reservatório do Lobo ("Broa") (Marins, 1976; Barbiéri, 1976; Godinho, 1976; Matsumura - Tundisi e Tundisi, 1976; Nakamoto *et al.*, 1976; Rocha, 1978; Rocha *et al.*, 1976: Tundisi, 1977; Hino e Tundisi, 1977; Tundisi *et al.*, 1977; Moraes, 1978; Tundisi *et al.*, 1977, 1978; Roselino, 1979; Henry, 1981, Heredia-Seixas, 1981). Além do Broa , poucos reservatórios, como o de Americana (Carvalho 1975 ; Zago, 1976; Shimizu, 1978, Froehlich *et al.*, 1978), Billings (Kawai *et al.*, 1976; Kawai, 1977; Sendacz, 1978, Xavier , 1979), Ponte Nova (Brasile-Martins e Cipólli, 1977, Cippóli, *et al.*, 1977), Guarapiranga (Rocha, 1976) e Represa do Rio Pardo (Henry, 1977) têm sido estudados de modo sistemático.

Entretanto, a pesquisa limnológica no Estado de São Paulo assume atualmente relevante interesse pois, apesar da ausência de grandes lagos naturais, existem várias represas de grande porte e outras médias e pequenas, de construção relativamente recente, requeridas principalmente pelas necessidades energéticas e hídricas da época atual.

Apesar de constituírem mecanismos reguladores que permitem a máxima utilização dos recursos hídricos, os reservatórios costumam apresentar problemas de importância, advindos das grandes modificações que determinam no ecossistema e que podem afetar variadamente as condições gerais de sua produtividade. O estudo destes ambientes possibilita uma demonstração da evolução hidrológica e biológica dos lagos a partir dos rios.

Estes lagos artificiais apresentam características muito distintas que dependem tanto de seu tamanho, detalhes da construção da barragem, como da própria natureza do ecossistema aquático e terrestre que foram modificados. Bonetto (1976) afirma que se costuma pensar que tais ambientes representam excelente reservatório para uma intensa atividade pesqueira, desportiva e comercial. Entretanto, afirma também que na América do Sul, de modo geral, pouco se logrou até o presente sobre este assunto, e o manejo dos lagos de barragem continua sendo um problema em torno do qual faltam estudos e experiências concretas.

Este trabalho está incluído num amplo projeto coordenado pelo professor J. G. Tundisi, da UFSCar e financiado pela FAPESP, que abrange o estudo dos aspectos físico - químicos e biológicos de 52 reservatórios no Estado de São Paulo e que tem por finalidade primeira a realização de uma tipologia desses ambientes, com objetivos tanto de pesquisa pura em Ecologia, como do ponto de vista de limnologia aplicada.

O trabalho ora apresentado representa parte do estudo de 10 reservatórios que ficaram a cargo do grupo de limnologia do Departamento de Ecologia Geral da Universidade de São Paulo, coordenado pela Profa. M.S. Arcifa: Americana, Atibainha, Cabuçu, Cachoeira, Jaguari, Paraibuna, Pedro Beicht, Ribeirão do Campo, Santa Branca e Taiaçupeba.

Os outros reservatórios foram estudados pelo grupo de limnologia do Departamento de Biologia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e pela Seção de Limnologia do Instituto de Pesca da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo (IP).

O projeto geral e toda a metodologia utilizada foram previamente discutidos por todas as equipes de modo a se conseguir uma padronização nas atividades de campo e la-

boratório e, consequentemente, permitir uma comparação entre os resultados, uma vez que estes deveriam ser submetidos a um tratamento estatístico comum que possibilitasse finalmente a tipificação dos reservatórios.

As etapas de coletas de campo deste projeto foram desenvolvidas durante o ano de 1979.

As principais variáveis medidas em comum por todos os grupos do projeto geral foram:

hidrológicas:

penetração de luz
temperatura da água
material em suspensão
nutrientes inorgânicos: nitratos, nitritos, amônia, fosfatos e silicatos
íons em solução: Na^{+}, K^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}, Mo^{++}, Zn^{++}, Fe^{++}, Hg^{++}, CI^{-}, SO_4^{--}, CO_3^{--}, HCO_3^{-}
pH, CO_2 total, alcalinidade
oxigênio dissolvido
condutividade

biológicas:
clorofila-*a*
produção primária
biomassa do plâncton
composição do fitoplâncton
composição do zooplâncton

A coleta de macrófitas foi efetuada pelos grupos da UFSCar e IP mas não pelo grupo do Departamento de Ecologia da USP, devido ao fato destes organismos não serem encontrados nas margens do corpo central de nenhum dos reservatórios estudados, exceto em Americana, onde sempre se observou a presença de *Eichhornia crassipes*. Entretanto, co-

mo um dos objetivos específicos desse estudo era a avaliação da biomassa de macrófitas e estas são retiradas continuamente das margens pelo serviço de limpeza pública local, os resultados obtidos com a metodologia escolhida seriam viciados. Em conseqüência, não foram coletados também nesse ambiente.

Coletas de material bentônico foram realizadas pelo IP e pelo grupo de limnologia da USP. Este último teve oportunidade de incluir no projeto a coleta de peixes , efetuada com a utilização de redes-de-espera, em maio -junho e dezembro de 1979.

Este trabalho, como indicado pelo título, tratará das relações entre os aspectos físicos-químicos e a produção primária nos reservatórios estudados.

A abordagem escolhida, trata de um tipo de análise episódica, onde procuraremos, a partir dos dados obtidos em cada estação de coleta e nos quatro períodos de amostragem, extrair ao máximo as informações sobre cada ambiente e a partir daí caracterizá-los em relação aos aspectos citados.

Não há muito sentido, neste caso, na elaboração de uma análise ao nível de correlações múltiplas posto que tal análise está sendo realizada para o conjunto de todos os reservatórios estudados no projeto de Tipologia, pelo grupo de estatística da USFCar.

Um segundo aspecto, igualmente importante e decorrente do tipo de análise aqui realizada, trata do levantamento dos principais problemas ou pontos de interesse de cada reservatório, que permitirá um planejamento específico e dirigido para cada um deles nos trabalhos futuros.

1.2 - Considerações gerais sobre os ambientes:

1.2.1 - Características geológicas, climáticas e vegetais:

Os reservatórios estudados estão compreendidos entre as coordenadas 22°42' a 23°44'S e 45°16' a 47°17' W. (Fig. 1).

Os rios formadores pertencem a duas bacias:

Bacia do Rio Tietê

- Ribeirão do Campo
- Taiaçupeba
- Pedro Beicht
- Cabuçu
- Atibainha
- Americana
- Cachoeira

Bacia do Rio Paraíba do Sul

- Paraibuna
- Santa Branca
- Jaguari

De acordo com o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IGG, 1963), a maior parte deles e de suas bacias de drenagem situam-se em terrenos pré-cambrianos. Manchas de afloramentos de rochas intrusivas básicas do Terciário ocorrem na região de Paraibuna e Santa Branca. Em Taiaçupeba existem manchas de argilas terciárias. Americana situa-se em terrenos do Paleozóico-Carbonífero Superior, com manchas de afloramento de rochas intrusivas básicas do terciário. De modo geral, terrenos antigos, pobres em cálcio e magnésio e com solos ácidos (pH 5,5) caracterizam as regiões dos reservatórios (Gargantini *et al.*, 1970).

O Reservatório de Americana, está situado na porção centro-sul da área que Troppmair (1975) define como quinta região ecológica do Estado de São Paulo, que se caracteriza climaticamente pela tropicalidade. De todos os reservatórios, é o que se situa em região mais quente e, segundo a classificação de Gausen, caracterizada pelo clima tropical quente de seca atenuada, com temperatura do mês mais frio maior que 15°C e 3 a 4 meses de seca; esse clima é característico de todo o Brasil Central (IBGE, 1966). Os solos são caracterizados pelo Latosol Vermelho Amarelo e manchas de Latosol Roxo. Ao primeiro está associada a cultura da laranja e ao segundo a cultura da cana. A vegetação primitiva de mata latifoliada tropical desapareceu por completo. O reservatório é rodeado por pastagens e áreas cultivadas principlamente com cana de açúcar (Troppmair, op. cit.).

De todos os reservatórios, Americana é o mais influenciado pela ação do homem, pois o fluxo de esgoto dos Municípios de Valinhos e Campinas, entre outros, tem alterado sensivelmente o ecossistema. Esses aspectos e outros foram abordados por Rocha *et al.*, (1971, 1972), Rocha (1972), Carvalho (1975), Zago (1976), Shimizu (1978), e Froehlich *et al.*, (1978).

Todos os outros reservatórios estão localizados numa área de transição entre os climas tropical e subtropical e são caracterizados por uma certa instabilidade climática (IBGE, *op cit.*). Estão incluídos na terceira região ecológica, denominada por Troppmair (*op. cit.*) Vale do Paraíba, mas que na realidade inclui, além do próprio vale, três sub-regiões: a encosta da Mantiqueira, a encosta e os planaltos da Serra do Mar e os Campos da Bocaina.

O Vale do Paraíba, como região ecológica, caracteriza-se, no vale, pela tropicalidade mas, nas encostas e planaltos, a altitude exerce influência: a maior umidade

permitiu a existência da mata de encosta e da mata de neblina que, devido ao desmatamento, cederam lugar a pastagens.

Assim, Santa Branca, Cachoeira, Atibainha e Jaguari situam-se em regiões de clima tropical subquente e subseco, cujas características dominantes são: temperatura do mês mais frio entre 15 e 20°C e 1 a 2 meses de seca. Paraibuna situa-se na faixa de clima intermediária entre o tropical subquente e subseco e o tropical brando e subseco, com temperatura do mês mais frio menor que 15°C e 1 a 2 meses de seca (IBGE, op.cit.). A região deste reservatório está submetida, durante a tarde, a ventos diários provenientes do mar, que têm geralmente direção sul.

Estes reservatórios estão inseridos no que Ab'Saber *et al.* (1975) denominam "domínio dos mares de morros" e formam "sistema de lagos longos e sinuosos, inseridos em uma paisagem tropical úmida de planalto das mais típicas que se conhece no mundo tropical". Entre os grupos de solos que ocorrem, (Troppmair, op.cit.) podem ser citados o Podzólico com cascalhos, os Litosóis e os solos de Campos de Jordão. Os dois últimos predominam nos topos da Mantiqueira e Serra do Mar. Apesar de cada grupo apresentar propriedades físicas e químicas próprias, todos têm em comum a pouca profundidade, o que implica que, em situação de desmatamento e uso irracional, ocorram o esgotamento rápido e movimentos coletivos do solo, deixando exposta a rocha nua num processo de recuperação irreversível.

Os Reservatórios de Paraibuna, Santa Branca, e Jaguari são circundados por formações abertas do tipo pastagens e, neste último, ocorrem também manchas de vegetação arbórea.

Cachoeira também se encontra em área de formação aberta mas em região onde a agricultura é praticada.

Atibainha é cercado de vegetação predominantemente arbórea, com áreas de formação aberta; a vegetação arbórea é devida, em parte, ao reflorestamento por coníferas e eucaliptos.

Os Reservatórios de Cabuçu, Pedro Beicht, Ribeirão do Campo e Taiaçupeba, apesar de incluídos na terceira região ecológica, apresentam o clima um pouco diferente, pois se encontram nas bordas do planalto paulistano. São caracterizados por um clima sub-tropical, pois a temperatura do mês mais frio varia entre 10 a 15°C e não há mês de seca (IBGE, op.cit.).

Ribeirão do Campo e Pedro Beicht situam-se dentro de reservas florestais pertecentes à Mata Atlântica, sendo que o primeiro fica perto da escarpa da Serra do Mar e está situado numa área de altas precipitações (3000 mm por ano). Cabuçu também se encontra dentro de uma reserva, mas formada principalmente por coníferas.

O Reservatório de Taiaçupeba se encontra em região onde é praticada a cultura de hortaliças e frutas e seu próprio leito está cobrindo terrenos utilizados anteriormente para horticultura, intensamente adubados. Em conseqüência, está submetida a um processo de eutrofização inicial. Recebe também contribuição de esgotos, mas em escala muito menor que Americana.

Em termos de horas de insolação por ano, podemos agrupar os reservatórios, dependendo da localização geográfica, dentro de regiões delimitadas conforme o sugerido pelo Centro Técnico Promon; estas foram determinadas com base nos dados do Atlas Climatológico do Brasil (Min. da Agricultura), e trabalhos de Cervellini e Salatti (1966), Tubelis *et al.*, (1977) e Nunes *et al.*, (1978),(*in* Prado, 1980). Assim, todos os reservatórios, exceto Americana, estão incluídos na região III, a menos favorecida pela energia solar de todo o Estado. Os valores de in-

solação estão situados entre 1.800 (junto ao litoral) a 2.200 horas por ano. Todavia, a região da capital fica numa porção mais insolada, com mais de 2.300 horas por ano, ou 50% do máximo teórico possível para a região: 4450 horas.

Podemos então considerar que Taiaçupeba, Cabuçu e Pedro Beicht estão situadas nesta porção mais favorecida da região III, devido à sua proximidade da região metropolitana. Ribeirão do Campo, por outro lado, deve apresentar um valor próximo ao limite inferior pois está situado na região de maior pluviosidade do Estado. Esta abordagem é concordante com a análise de Monteiro (1974) que considera a Bacia Paulistana individualizada no Planalto Atlântico, por uma diminuição na pluviosidade em relação às áreas planálticas circunvizinhas.

O Reservatório de Americana, segundo Prado (*op.cit.*), estaria incluído na região II, que é razoavelmente favorecida e apresenta valores entre 2.200 a 2.600 horas/ano, sendo que o próprio reservatório está na porção mais insolada desta região.

1.2.2 - Características particulares e de ordem técnica:

Algumas características desses corpos de água encontram-se na Tabela 1, 2 e Figuras 2 a 11.

O Reservatório de Paraibuna é o maior e o mais profundo. Os Reservatórios de Pedro Beicht, Cabuçu, Americana, Cachoeira e Ribeirão do Campo são relativamente rasos, enquanto os de Jaguari, Atibainha e Santa Branca são os de profundidade intermediária. Taiaçupeba, por ocasião das coletas, estava em fase de preenchimento e foi o reservatório mais raso estudado neste trabalho. No entanto, ainda não atingiu sua capacidade máxima, permanecendo com a mesma cota média observada em 1979.

O Reservatório de Paraibuna é usado para geração de energia elétrica; possui cerca de 90 m de profundidade e foi formada pelo represamento dos Rios Paraibuna e Paraitinga a curta distância de suas confluências para formar o Rio Paraíba do Sul.

O reservatório apresenta dois diques (Fig. 7). A barragem de Paraitinga é provida de uma tulipa (tipo de vertedouro circular com entrada superficial e saída por baixo da barragem), ao nível de 714 m, mas este nível ainda nunca foi atingido; a água para a estação de força provém de uma tomada superior na barragem de Paraibuna. O tempo de retenção é excepcionalmente longo para um reservatório.

O Reservatório de Santa Branca é usado para regular a vazão do Rio Paraíba do Sul. Apresenta descarga pelo fundo e vertedouro livre. Seu tempo de retenção é relativamente curto.

Jaguari é usado para geração de energia e controle de vazão. Tem uma tomada inferior para a casa de força e um vertedouro livre. Também tem um volume de água muito grande e longo tempo de retenção.

Os Reservatórios de Atibainha e Cachoeira, têm por função o suprimento de água da Cidade de São Paulo. Ambos são providos de uma tulipa próxima à barragem com uma saída junto ao fundo para manter uma descarga mínima a juzante. Cachoeira está ligada a Atibainha através de um braço e um túnel lateral através do qual envia para esta 5 $m^3.s^{-1}$ de água. Por sua vez, Atibainha também possui um braço lateral, através do qual envia 9 $m^3.s^{-1}$ ao reservatório de Juqueri (5 $m^3.s^{-1}$ de Cachoeira e 4 $m^3.s^{-1}$ de Atibainha). Assim, durante a estação seca, especialmente, a principal corrente neste reservatório não é em direção à barragem mas sim no sentido deste braço lateral. Num futuro próximo, outros 22 $m^3.s^{-1}$ de água entrarão em Cachoei-

ra provenientes de um reservatório em fase de preenchimento, o que acarretará numa diminuição do tempo de retenção e provavelmente alterará o atual padrão de circulação nos dois reservatórios.

Os Rios Cachoeira e Atibainha se unem para formar o Rio Atibaia, cujo represamento originou Americana . Este reservatório tem por função principal a geração de energia elétrica. Seu tempo de retenção é curto: cerca de 30 dias em média, caindo para 10 dias nos meses chuvosos mas aumentando para 3 a 4 meses durante a estação seca.

Cabuçu é um reservatório pequeno, utilizado no abastecimento de São Paulo e formado pelo represamento do Rio Cabuçu. Conforme um relatório, feito algum tempo após sua conclusão, por Potel (Branco & Rocha, 1977), apresentou impotabilidade permanente logo após seu preenchimento, devido à falta de preparo da área de inundação, sendo necessária sua evacuação. Após alguns anos, suas águas passaram a ser reconhecidas como potáveis, como permanecem até hoje.

O Reservatório de Pedro Beicht e Ribeirão do Campo têm capacidades semelhantes e também são usados para suprimento de água da Cidade de São Paulo. Ambos possuem sistemas de descarga pelo fundo para manutenção de 1 fluxo contínuo durante o ano e vertedouros livres na superfície. Conforme Branco e Rocha (*op. cit.*), o Reservatório de Ribeirão do Campo teve sua área de inundação previamente queimada por ocasião de seu preenchimento. Este procedimento resultou na fertilização do solo, e novo crescimento de vegetação terrestre na área, de forma que, com a elevação da lâmina de água, houve um afogamento desta vegetação, o que tornou o ambiente séptico. Em decorrência disso, foi verificada a formação de lodo orgânico, coloração da água e proliferação de algas (que produzem clorofenois e outros gases que emprestam odor à água), impedindo a utilização da água para o abastecimento por vários meses.

Apesar da ausência de informações sobre as condições do preenchimento da maioria dos reservatórios, pode-se supor que os mais antigos não tiveram suas áreas de inundação previamente limpas, pois este procedimento é um hábito relativamente recente.

1.3 - Objetivos específicos:

Os principais objetivos específicos deste trabalho são:

1 - Determinar a produtividade do fitoplâncton dos reservatórios nas quatro épocas de coletas.

2 - Fazer um levantamento das condições hidrológicas dos ambientes e através da análise destes dados, determinar o padrão de circulação de cada um.

3 - Determinar os parâmetros físico-químicos importantes para a produtividade dos ambientes, através da análise das suas interrelações temporais e na coluna de água.

4 - Determinar a eficiência fotossintética de cada ambiente nas diferentes épocas.

5 - Estimar a produtividade diária para cada ambiente.

6 - Determinar a importância relativa das diferentes frações do fitoplâncton em relação à produção primária total, e a porcentagem de fixação no escuro.

7 - Determinar a biomassa dos produtores primários e a taxa de assimilação por unidade de biomassa.

8 - Tentar determinar as condições tróficas de cada ambiente.

9 - Comparar os ecossistemas entre si e com outros ecossistemas de ambientes tropicais.

10 - Fornecer subsídios para um monitoramento futuro.

11 - Determinar problemas específicos de cada ambiente e possibilitar a elaboração de planos de trabalhos específicos.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Considerações gerais

Os principais aspectos que caracterizam o projeto geral e, consequentemente, este trabalho, são o grande número de reservatórios estudados e a variedade de parâmetros analisados em cada um. Este tipo de abordagem teve como conseqüência a necessidade de restringir-se tanto a freqüência de coletas como o número de estações em cada represa.

Assim, as atividades de campo, foram conduzidas em épocas semelhantes aos dos outros grupos envolvidos no projeto geral: março, maio-junho, agosto e dezembro de 1979. As coletas dos meses de março e dezembro são referidas neste trabalho como coletas de verão, que é caracterizado por temperaturas mais quentes e por ser a época do ano mais chuvosa; as coletas de maio-junho e agosto, são referidas como coletas de inverno, que é caracterizado por temperaturas mais baixas e por uma época mais seca.

Os critérios para a escolha do ponto (estação) de coleta visaram fornecer indicações sobre as transformações ocorridas com o maior volume de água. Por isto, o ponto escolhido situou-se sempre no corpo principal do reservatório, de preferência sobre o antigo leito do rio represado, que corresponde a um dos locais mais profundos. (Fig. de 2 a 11).

Devido à importância do estudo de um perfil da coluna de água, optamos pela coleta em vários níveis numa única estação. Se fossem amostradas outras estações teríamos que declinar da qualidade e precisão do perfil, em benefício de um maior número de pontos de coleta. Entretanto, consideramos um perfil como aspecto fundamental para o conhecimento do padrão de dinâmica do ambiente, o que é imprescindível para a análise e interpretação dos aspectos biológicos.

Entretanto, no Reservatório de Paraibuna, que pos

sui três massas de água aparentemente distintas, foram escolhidas três estações, mas em apenas uma delas foram feitas determinações da produtividade primária.

As coletas, em cada época, foram realizadas em duas etapas de dias consecutivos, separadas por um intervalo de dois dias entre a primeira e segunda etapas. Cada dia foi reservado para a coleta em um reservatório. Em cada etapa, o roteiro foi definido pela proximidade entre os reservatórios.

As coletas foram realizados a bordo de um barco com 7 m de comprimento e provido de um guincho.

As profundidades de coleta para a determinação da produção primária foram estimadas com base nas porcentagens de penetração de luz: 100, 50, 25, 10 e 1% (calculadas a partir da leitura do disco de Secchi). As coletas para análise de clorofila-*a*, pH, alcalinidade e CO_2 total foram feitas nessas mesmas profundidades, e mais uma coleta na zona afótica, quando a mesma existisse, Esta última foi estipulada como 5,0 m abaixo do nível de 1% de penetração de luz.

As amostras de água para análise de nutrientes e íons, durante a coleta de março, foram efetuadas nestes mesmos níveis, mas, a partir de maio-junho, apenas nos níveis de 100%, 25%, 1% e 0,5 m acima do fundo.

Para a temperatura, condutividade e oxigênio dissolvido, entretanto, foi sempre obtido um perfil mais detalhado, principalmente na região da termoclina.

As amostras de água foram coletadas com garrafa tipo Van Dorn, em PVC, com 5 litros de capacidade ou com garrafa de Ruttner, em acrílico, com capacidade de 1 litro.

O material coletado foi transportado ao laboratório em recipientes de polietileno de 10 litros, onde as sub-

amostras foram tratadas conforme a metodologia descrita a seguir.

2.2 - Metodologia

2.2.1 - Radiação Solar:

Foi medida "in situ" nos dois últimos períodos de coleta: agosto e dezembro.

O instrumento utilizado foi um actinógrafo Fuess de registro diário, que forneceu resultados em cal. $cm^{-2}.min^{-1}$ da intensidade de radiação solar global (direta e difusa) incidente numa superfície horizontal.

Os totais horários e diários foram obtidos computando-se as respectivas áreas sob a curva registrada, por gravimetria.

Os valores da radiação fotossinteticamente ativa foram obtidos considerando-se que esta corresponde em média a 46% da radiação total (Vollenweider, 1974).

A partir da equação apresentada por Talling (1957), $I_{ot} = (0,95)(0,46)\ I_o\ .\ \exp.\ (-\epsilon_{min}.z_{ot})$, pode-se obter a radiação disponível na profundidade de (A/B) max.

2.2.2 - Hidrologia

2.2.2.1 - Penetração de luz

As medidas de transparência foram efetuadas com o disco de Secchi sempre na parte da manhã, em torno de 9:00 h, antes de se iniciar a coleta de água.

A penetração de luz também foi determinada com o auxílio do disco de Secchi, que na ausência de equipamento mais preciso pode fornecer resultados aceitáveis, cujas li-

mitações foram discutidas por Vollenweider (1961).

Foram utilizados os seguintes coeficientes para a determinação das profundidades de penetração de luz, com base em Vollenweider (1974):

50%	d. 0,41	
25%	d. 0,82	onde d = profundidade de desaparecimento do disco
10%	d. 1,35	
1%	d. 2,00	

Para o cálculo do coeficiente de extinção, utilizou-se a fórmula de Poole e Atkins (1929):

$$\epsilon_s = \frac{1,7}{d}$$

Em dezembro, com a disponibilidade de um hidrofotômetro, pode-se avaliar a qualidade ótica das águas de cada represa.

O aparelho utilizado foi de marca Khalsico, com fotocélula de selênio, ligado a um microamperímetro. Sobre a fotocélula foram colocados filtros de vidro de espectro de transmissão conhecido. Os filtros utilizados foram o verde (460 - 500 nm). o vermelho (570 - 700 nm) e ultravioleta (340 - 440 nm).

Considerou-se como 100% a radiação incidente sobre o conjunto fotocélula e filtro com um filme de água ou mesmo com um filtro neutro quando o excesso de radiação ultrapassava a escala do microamperímetro. A partir da leitura inicial, foram determinadas as profundidades de 50, 25, 10 e 1% de penetração de luz para cada filtro.

O coeficiente de extinção vertical mínimo (ϵ_{min}) para cada ambiente foi determinado segundo Vollenweider (1974).

2.2.2.2 - Temperatura da água:

Os perfis térmicos foram determinados de 0,5 em 0,5 m com um termistor Hidrocean, modelo Cibele s/02 acoplado a um voltímetro com escala dupla e precisão 0,5°C.

2.2.2.3 - Condutividade:

Foi medida nas profundidades das amostras de oxigênio, com um condutômetro Hidrocean, modelo Antar s/01 com escala quíntupla, em $\mu S.cm^{-1}$, com correção automática para temperatura.

2.2.2.4 - pH e alcalinidade:

O pH e a alcalinidade foram sempre medidos na mesma amostra. Estas foram coletadas com garrafa de Ruttner e recolhidas em frascos com os cuidados necessários para se evitar borbulhamento. Logo que coletadas, as amostras eram imediatamente transportadas para o laboratório de campo onde foram processadas.

O pH foi medido com um pH metro de campo da Metrohm, modelo B - 278 com precisão de 0,1, acoplado a um eletrodo combinado, nas profundidades já mencionadas.

A alcalinidade também foi determinada pelo método potenciométrico atráves da titulação dos cátions com um ácido forte (H_2SO_4 0,1N) até pH 4,35 conforme Mackereth *et al.* (1978). Para a titulação utilizou-se uma microbureta modelo E-457 de 5 ml, com precisão 0,001, marca Metrhom

2.2.2.5 - CO_2 livre, HCO_3^-, CO_3^{--} e CO_2 total:

A partir dos resultados de alcalinidade, pH, condutividade e temperatura podemos calcular as diversas formas de carbono inorgânico e o CO_2 total, utilizando as equações fornecidas em Mackereth *et al.* (op. cit).

2.2.2.6 - Oxigênio dissolvido (O.D.)

O oxigênio dissolvido foi determinado pelo método de Winkler, modificado por Altemberg com o emprego de azida de sódio (Na_3N) (Standard Methods, 1971) que elimina interferências no método quando em presença de concentrações maiores que $0,1\ mg.l^{-1}$ de $N\text{-}NO_2$.

Os perfis de O.D. foram mais detalhados: além das profundidades de coletas do material biológico foram efetuadas amostragens ao nível da termoclina e outras intermediárias até o fundo.

As amostras foram coletadas em frasco ambar com os cuidados recomendados para o método. A análise foi feita sempre com réplicas.

As porcentagens de saturação do oxigênio foram determinadas através das tabelas e equações apresentadas em Golterman (1971), que levam em conta a temperatura e altitude.

2.2.2.7 - Nutrientes

As amostras para determinação de nutrientes, nas profundidades já mencionadas, foram filtradas através de filtros "Millipore" AP 20 de fibra de vidro. As águas destinadas às análises de nitrogênio sob forma de nitrato, nitrito e amônia, de fósforo como ortofosfato e fosfato total e silicato foram conservadas em frascos de polietileno mantidos no gelo, até a volta ao laboratório de São Paulo onde foram colocados no "freezer" a - 20°C. As amostras foram analisadas nos laboratórios da UFSCar.

As análises dos nutrientes, exceto amônia, foram efetuadas conforme descritas em Golterman (1971). A amônia foi determinada pelo método de Koroleff (Grasshoff ,

1976). Todos estes métodos são colorimétricos e as leituras foram feitas em um espectrofotômetro marca Shimadzu modelo UV - 210 A.

2.2.2.8 - Íons

As águas destinadas às análises de outros íons, também foram filtradas como descrito para os nutrientes e conservadas em frascos de polietileno aos quais se adicionou H_2NO_3 até pH < 2,0 conforme recomendação de Krugg *et al.* (1977).

Estes íons foram analisados pelo CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP).

O cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e zinco foram analisados por espectrofometria de plasma (Pongar & Thompson, 1978). O ferro e manganês dosados incluem todos os estados de oxidação presentes na amostra. O sódio e o potássio foram analisados por espectrometria de chama (Perkin - Elmer, 1973). O sulfato foi analisado por turbidimetria de injeção de fluxo (Krugg *et al.*, 1977). É interessante lembrar que o sulfato dosado, quando proveniente de ambientes com H_2S, pode ser parcialmente originário da oxidação do enxofre durante o processo de filtração e manuseio da amostra. As análises de cloreto foram realizadas por calorimetria em injeção de fluxo (Bergamin *et al.*, 1978).

2.2.3 - Planctonologia

2.2.3.1 - Microfitoplâncton

Em cada estação foi realizada uma coleta com bomba de sucção e a água de toda a coluna foi filtrada através de duas redes de plâncton: uma interna, com malha de 53 µm e uma externa com malha de 20 µm. Este material foi fixado com formol a uma concentração final de 4% e analisado posteriormente pela Dra. Helena A. S. L. Pereira, da Faculdade de Hi-

giéne e Saúde Pública, USP.

A fração > 53 µm foi submetida à determinação e contagem de células ao nível de gêneros. Esta foi feita em câmara de Sedgewick-Rafter, com auxílio de um microscópio binocular marca Nikon, modelo S.U. munido de micrômetro ocular de Whipple. O método de contagem empregado foi o de contagem por conjuntos em campo contínuo (Branco, 1971).

A fração entre 20-53 µm foi examinada apenas qualitativamente e apresentou aparência bastante semelhante à > 53 µm, inclusive com cadeias de *Melosira* sp e outras células maiores que 53 µm, o que significa que o impacto da água na rede interna pode ter forçado a abertura das malhas durante a filtração (Pereira, inform. pessoal). Os resultados quantitativos apresentados, portanto, até certo ponto subestimam os números reais.

2.2.3.2 - Clorofila-*a*

O método utilizado durante as quatro séries de coletas foi o espectrofotométrico, conforme descrito em Golterman (1971).

Após a coleta, as amostras foram transportadas para o laboratório e filtradas através de filtros "Millipore" AP20, sob um vácuo de 0,5 atm.cm^{-2}. Foram feitas sempre réplicas para cada profundidade. O volume filtrado variou de 300 a 1.000 ml. Os filtros com o material foram guardados em envelopes dentro de frascos escuros com sílica gel e mantidos no gelo até a chegada ao laboratório em São Paulo, quando foram transferidos para um "freezer" (- 20°C) e estocadas até a ocasião das análises, no máximo 15 dias após as coletas.

A extração foi feita com acetona 90%, durante 24 hs no escuro e em baixa temperatura. As leituras foram reali-

zadas num espectrofotômetro Zeiss PM QII.

A concentração do pigmento foi calculada através da equação apresentada em Golterman (op.cit.).

As determinações da clorofila-*a* realizadas com este método, incluem, além da clorofila-*a* propriamente dita, seus produtos de degradação, principalmente a feofitina-*a* . Neste trabalho, a clorofila-*a* obtida com esta técnica foi referida como clorofila-*a* total (B).

Nas duas últimas séries de coletas foram efetuadas também análises da clorofila-*a*, conforme o método de Lorenzen (1967), (acidificação da amostra), que elimina a interferência da feofitina-*a*. A clorofila-*a* obtida através desta técnica foi referida como clorofila-*a* ativa (B_a).

2.2.3.3 - Produção primária

A produção primária do carbono particulado foi medida pela técnica do ^{14}C (Steemann Nielsen, 1952), descrita por vários autores: Teixeira (1973), Vollenweider (1974), Gargas (1975) entre outros.

Foram tomadas amostras de água nas profundidades já citadas e imediatamente após se procedeu à introdução de 1 ml de solução radiotiva de $NaH^{14}CO_3$ de 10 µCi (New England Nuclear) em cada frasco de incubação (83 ml de volume médio, com variação de 5%).

A incubação foi realizada "in situ" nas profundidades de origem das amostras, com auxílio de suportes horizontais. Para cada profundidade foram incubados 2 frascos: um transparente e um protegido da luz (preto). Nos níveis de 100% e 25% de penetração de luz foi incubado mais um frasco transparente, para medida da produção no material fracionado em rede de 20 µm.

O período de incubação foi de 4 horas, geralmente entre 10:00 e 14:00 hs. Em cada experimento houve um frasco com água de superfície inoculada e filtrada imediatamente, que fornece o "branco", devido a contaminações de origem orgânica que possam ocorrer na ampola (Morris *et al*, 1971).

Após a incubação, as amostras foram mantidas no escuro até o término da filtração, que foi efetuada imediatamente após. A seqüência de filtração seguiu sempre o mesmo padrão: o frasco transparente era filtrado ao mesmo tempo em que o preto correspondente.

Os volumes filtrados variaram entre 10 e 50 ml conforme a quantidade de seston de cada ambiente, sob vácuo de 0,5 atm.cm^{-2}. Os filtros utilizados foram da "Millipore", tipo HA com 25 mm de diâmetro e poro 0,45 µm.

Os filtros secos foram conservados em dessecador com sílica gel, até a ocasião da contagem dos impulsos radioativos.

A medida da radioatividade foi efetuada com um espectrômetro de cintilação líquida marca Beckman LS-100C , na UFSCar.

O líquido cintilador utilizado foi o "Bray" (Bray , 1960) cuja composição é a seguinte: 4g de PPO (2,5 difeniloxazol), 200 mg de POPOP (1,4 bis- 2- (4 metil 5 feniloxazol), 60 g de naftaleno, 100 ml de metanol absoluto, 20 ml de etileno glicol e dioxano para 1.000 ml, (conforme recomendado por Ward & Nakanishi, 1971). A solução é preparada na véspera de sua utilização devido à lenta dissolução do POPOP.

A determinação da atividade específica de cada lote de ampolas foi feita diluindo-se uma ampola em 10 ml de solução Bray. A seguir, sub-amostras de 1 ml desta solu—

ção foram transferidas para frascos de cintilação contendo 9 ml de solução Bray.

As amostras propriamente ditas foram colocadas nos frascos de cintilação, aos quais se adicionou 10 ml de solução Bray.

A atividade absoluta das amostras em número de desintegrações por minuto, foi calculada por padrão externo , com um desvio padrão de 0,5% e com uma eficiência de 92-95 % do aparelho.

A produção primária em $mgC.m^{-3}.h^{-1}$(A) foi calculada através da equação (Gargas 1975):

$$mgC.m^{-3}\ h^{-1} = \frac{IPMi}{IPM_t} \cdot C_i\ mg/l\ K_1 .\ K_2 .\ K_3\ 1,05 .\ 1,06$$

onde

Ipm_i = atividade amostra (transparente - preto)

Ipm_t = atividade específica da ampola.

C_i = mgC inorg/l na amostra

K_1 = correção para volume filtrado

K_2 = correção para tempo de incubação

K_3 = fator de trasnformação de unidade de volume (de mg/l em mg/m^3

1,05 = correção para a discriminação isotópica.

1,06 = correção para estimar produção bruta considerando-se a respiração do C recém assimilado.

A produção em $mgC.m^{-2}.h^{-1}$ (ΣA) foi estimada com base na determinação geométrica das áreas sob os perfis de produção (Gargas, op. cit.).

A produção em $mgC.m^{-2}.dia^{-1}$ ($\Sigma\Sigma A$) foi estimada assumindo-se valores de 10 horas de iluminação durante o inverno e 11:30 horas para o verão.

Como já referido, a matéria orgânica excretada pelo fitoplâncton não foi medida, pois não parece de importância significativa para um trabalho desta natureza. Entretanto, outros problemas da técnica de produção primária foram considerados cuidadosamente e minimizados quando possível. Um dos mais sérios é o do confinamento das amostras durante o período de incubação, o que altera as condições naturais das populações; outro diz respeito ao manuseio do material que pode causar danos às células e perdas do carbono fixado (Arthur & Rigler, 1967); a fixação do carbono no escuro também é outro aspecto que merece a atenção. Os cuidados tomados em relação a estes problemas foram os seguintes:

i) realizar as incubações "in situ", o que mantém as amostras sob iluminação natural, temperatura ambiente e submetidas a movimentos semelhantes aos das populações livres.

ii) durante a coleta e incubação, as amostras não tiveram contato com partes metálicas do equipamento para evitar o efeito tóxico que estas costumam produzir.

iii) tentou-se evitar ao máximo os choques de luz, colocando-se a água coletada em recipientes opacos e depois no escuro até o início da incubação.

iv) os frascos utilizados para as incubações foram de vidro "Pyrex", de boa qualidade, de forma a interferir ao mínimo sobre a qualidade da luz.

v) as filtrações foram efetuadas sob pressão de 0,5 $atm.cm^{-2}$ para evitar a quebra de células com

a conseqüente perda de material fixado.

vi) a fixação instantânea de carbono no escuro também foi determinada, para se evitar a super-estimativa dos valores do escuro em termos absolutos.

2.2.3.4 - Taxa de assimilação

É definida como a taxa de produção por unidade de pigmento fotossintético (A/B). Foi calculada com base nos resultados de clorofila obtidos pelos dois métodos realizados.

O número de assimilação foi considerado como a maior razão entre taxa de produção e biomassa na coluna de água $(A/B)_{max}$ e não como a razão ao nível da taxa máxima de produção (Amax/B), posto que este valor nem sempre corresponde ao maior valor de assimilação da coluna de água.

2.2.3.5 - Fracionamento

A produção fracionada (F) foi calculada em termos de porcentagem em relação à produção total (A).

2.2.3.6 - Eficiência fotossintética

A eficiência fotossintética total (E_{tot}) foi calculada de acordo com Tilzer *et al.*, (1975), onde E_{tot} é igual à razão entre o equivalente calórico da fotossíntese integral (ΣA) e a radiação incidente (I.). Foi calculada em relação ao período de incubação e estimada em relação ao valor diário. Para isso, assumiu-se que 1mgC é equivalente a 9,4 cal. (Rodhe, 1958), e que a energia fotossinteticamente ativa corresponde a 46% do total da radiação incidente (Vollenweider, 1974).

2.2.3.7 - Assimilição do CO_2 no escuro

Para facilidade de comparação, os valores em dpm do frasco escuro foram corrigidos em relação ao volume , numa base de 30 ml, posto que Guerletti (1968) observou uma perfeita relação linear entre volume filtrado e fixação no escuro.

2.2.4 - Tratamento estatístico

Foram efetuados testes de hipótese e analisadas as relações (correlações) entre diversos parâmetros estudados.

Para tanto, houve necessidade de se supor satisfeitas algumas das condições necessárias à aplicação dos testes, que não puderam ser verificadas com os dados obtidos, como, por exemplo, a normalidade da distribuição das variáveis.

3 - RESULTADOS

3.1 - Radiação solar

Os resultados das medidas da radiação total que atinge a superfície da água, assim como da radiação fotossinteticamente ativa, estimada a partir daquelas, são apresentadas na Tabela 3. Através desta observa-se que a radiação durante o período de incubação (entre 10:00-14:00h) correspondeu em média a 50% da radiação diária e foi bastante variável. Graças a estas medidas os resultados de produção primária puderam ser melhor interpretados e houve possibilidade de se estimar a eficiência fotossintética do fitoplâncton nessas ocasiões.

Durante a coleta de dezembro, com a disponibilidade de hidrofotômetro, foi possível determinar os ϵ_{min} para cada ambiente, o que permitiu a determinação de I_{ot}, ou seja, a radiação ao nível de A_{max} (Tab. 4). Estes valores apresentaram uma amplitude bastante grande: 7 a 273 kcal . m^{-2} . h^{-1}. A partir destes dados foi possível estimar um valor aproximado para o "limiar de inibição" (Lewis, 1974): 134 kcal . m^{-2} . h^{-1}.

3.2 - Hidrologia

3.2.1 - Penetração de luz e transparência

3.2.1.1 - Disco de Secchi

Os valores de leitura do disco de Secchi, nas diferentes épocas de coleta, estão na Tabela 5 e podem ser visualizados também nas Figuras 12 a 21.

As profundidades correspondentes aos diferentes níveis de penetração de luz, calculadas com base no disco de Secchi, são apresentadas nas Tabelas 22*a*-*j*.

A zona eufótica de menor extensão foi estimada no Reservatório de Paraibuna, durante a coleta de agosto (2,20 m) e a maior em Jaguari, na mesma época (13,80 m).

De um modo geral, a transparência foi mais baixa no verão (estação chuvosa), mas existiram exceções que serão discutidas posteriormente.

Os coeficientes de extinção vertical obtidos com este instrumento são apresentados na Tabela 6.

3.2.1.2 - Hidrofotometria

As medidas obtidas em dezembro permitiram uma tentativa de agrupamento dos reservatórios, baseada na qualidade ótica de suas águas.

Os coeficientes de extinção mínima de cada ambiente são apresentados na Tabela 7, assim como o intervalo de comprimento de onda de maior penetração de luz.

Os coeficientes de extinção na faixa do ultra - violeta também são apresentados (Tab. 8). A importância destes valores é devida à relação existente entre matéria orgânica dissolvida e absorção da luz ultra-violeta. Os coeficientes mais baixos (< 3,83) foram verificados nos reservatórios de Atibainha, Cabuçu, Jaguari e Pedro Beicht . Todos os outros apresentaram coeficientes altos (> 6,57).

A comparação entre os coeficientes de extinção obtidos com hidrofotômetro e disco de Secchi mostra que, na maioria dos ambientes, este aparelho permitiu uma estimativa aceitável da extinção da luz, mas em alguns, como Cabuçu, o valor obtido foi bem diferente (aproximadamente o dobro).

3.2.2 - Temperatura, Oxigênio e Condutividade

Os perfis de temperatura (Figs 12-21) revelaram condições desde circulação total freqüente até condições de forte estratificação, passando pelos graus intermediários. As situações de isotermia foram mais evidentes quando as coletas foram precedidas por frentes frias, como aconteceu em Pedro Beicht, Americana, Cabuçu e Jaguari, em maio-junho. As vezes, a massa de água apresentou estratificação química mas com uma termoclina não muito nítida (Cachoeira, em maio, Estação Félix Guisard, em agosto, etc). Nestes casos, a estratificação é evidenciada pela distribuição do O.D. na coluna de água.

As temperaturas, no verão, variaram de 22,8 a 31,8° C na superfície e de 16 a 25,3°C no fundo. A maior diferença entre superfície e fundo foi de 13,0°C, em Jaguari.

No inverno, as temperaturas estiveram entre 16,5 e 23,5°C na superfície e entre 15,0 e 23,5°C no fundo. Nessa época, a maior diferença entre superfície e fundo foi de 6,0°C, em Paraibuna (Estação Paraitinga). Como se pode observar, as temperaturas do hipolímnio variam muito pouco entre verão e inverno, estando em média, em torno de 20,4°C.

O oxigênio dissolvido (em porcentagem de saturação) e os valores de condutividade também são apresentados nas Figs 12-21. O OD se apresentou geralmente estratificado. Altos valores de porcentagem de saturação foram sempre observados na superfície ou próximo dela. Os mais altos ocorreram nos Reservatórios de Americana e Santa Branca, em março (120-150%) e Cachoeira, em junho (140%). Os mais baixos valores do epilímnio foram verificados em Paraibuna (Estação Paraibuna e Paraitinga) em agosto (50%), logo após a circulação.

Em várias ocasiões foi dectado H_2S olfativamente.

A condutividade no epilímnio dos reservatórios (Tab. 9) situou-se em geral entre 25-60 $\mu S.cm^{-1}$, exceto em Americana, que apresentou valores entre 120-200 $\mu S.cm^{-1}$, com uma tendência para elevação durante a estação seca. Os Reservatórios de Pedro Beicht e Ribeirão do Campo mostraram sempre uma condutividade muito baixa, em torno de 14 $\mu S.cm^{-1}$. No hipolímnio dos reservatórios com estratificação prolongada, foram abservados até 120 $\mu S.cm^{-1}$ (Atibainha) durante a fase de estagnação.

Uma análise destes três parâmetros permitiu a classificação dos reservatórios em dois tipos básicos (Hutchinson, 1957): polimícticos e monomícticos quentes.

A este último tipo pertencem Paraibuna, Atibainha e Cachoeira, cuja circulação total ocorreu no inverno. O período de circulação foi bastante curto, sendo a estratificação evidenciada pelo espesso hipolímnio, muitas vezes com H_2S persistente durante a maior parte do ano (Figs 13, 15, 17*a*,*b*,c).

Durante o período de circulação, a massa de água se torna praticamente homogênea. Muitas vezes as coletas não coincidiram com o período de circulação total mas, quando esta já havia ocorrido, os principais indícios tendo sido a distribuição homogênea da condutividade e ausência de H_2S, mesmo que tanto a termoclina como a oxiclina já estivessem se reestabelecendo.

Nos reservatórios polimícticos (que incluem os outros sete), os períodos de estratificação são curtos e geralmente irregulares, se bem que possam ocorrer até mesmo com freqüência diária.

Entre os reservatórios monomícticos, o de Paraibuna (Figs 17*a*,*b*,c) foi o que apresentou estratificação mais estável. Neste reservatório, a temoclina, em março, esteve

bem acentuada nas três estações de coleta, acontecendo o mesmo com as curvas de condutividade e OD. O H_2S esteve presente em cerca de 4/5 da coluna de água, o que indica que o reservatório estava estratificado já há bastante tempo.

Embora tenham ocorrido algumas variações no aspecto e gradiente da termoclina em maio, mais acentuadas na Estação Félix Guisard, o reservatório circulou somente no inverno, como se pôde verificar pelos perfis de agosto.

Nesta ocasião, existem evidências de uma circulação recente: a camada de H_2S bastante espessa nas coletas anteriores, desapareceu, ocorrendo uma diminuição no OD na coluna de água das três estações. A distribuição vertical da condutividade esteve praticamente homogênea nas Estações Paraibuna e Félix Guisard. Na Estação Paraitinga observou-se um aumento da condutividade entre 30 e 50 m, a qual se mantém em dezembro. Essa camada é desprovida de OD, que existe nas camadas mais profundas.

Em dezembro, o reservatório já estava reestratificado, mas com baixos teores de OD no hipolímnio nas Estações Paraitinga e Félix Guisard, enquanto na Estação Paraibuna, o OD já se extinguira. Durante esta coleta, foi possível verificar a ação de fortes ventos que antecederam uma tempestade de verão, sem contudo desfazer a forte estratificação (Fig. 17*a*).

Atibainha (Fig. 13) também apresentou estratificação bastante estável. Em maio, a estratificação térmica e de OD permitem a existência de uma camada hipolimnética, com H_2S, ocupando pouco mais da metade da coluna de água. Como Paraibuna, esse reservatório circulou durante o inverno, provocando o desaparecimento do H_2S, ocorrência de OD até o fundo e uma distribuição homogênea da condutividade em toda a coluna de água. Em dezembro, a estratificação já es-

tava bem restabelecida, novamente com espessa camada de H_2S. Tanto em fevereiro como em maio, é digna de nota a queda brusca do OD na oxiclina.

Cachoeira (Fig. 15), embora mais raso que os dois reservatórios precedentes, também se comportou como monomíctico, pois estratificou por um período prolongado, circulando durante o inverno. A camada anóxica é, porém, bem menos espessa e o H_2S ocorre apenas nos poucos metros logo acima do fundo. Uma circulação parcial (atelomixia) foi registrada em maio, quando a camada isotérmica do epilímnio atingiu 7 metros, porém, sem que a estratificação se desfizesse. A diferença de temperatura entre epi e hipolímnio, nessa ocasião, era de apenas 1°C, o que sugere que circulação total possa ter ocorrido com as próximas frentes frias. Em agosto a estratificação já estava restabelecida mas a ausência de H_2S, a condutividade homogênea e a presença de OD em toda a coluna de água, são indícios seguros de circulação anterior. Em dezembro, embora o nível do reservatório tenha baixado muito, a camada anóxica se manteve.

Jaguari (Fig. 16) apresentou uma certa tendência à monomixia, como pôde ser verificado pela forte estratificação a que esteve submetido em março, com H_2S presente numa camada de espessura razoável. Entretanto, a condutividade não esteve muito diferente entre epi e hipolímnio, sugerindo que a estratificação não era muito antiga. Em maio, o ambiente já apresentou profunda alteração na estrutura térmica e, em agosto, havia evidência de reestratificação. Em dezembro, os valores de condutividade no epi e hipolímnio eram semelhantes, exceto por um aumento na região central, devida a correntes de densidade, o que também sugere estratificação recente. Estes dados indicam períodos de circulação entre agosto e dezembro, o que permite a sua classificação como polimíctico.

Santa Branca (Fig. 20) também apresentou certa

estabilidade na estrutura térmica durante o verão, mas os perfis de condutividade sugerem polimixia. Entre maio e agosto, o reservatório teve seu nível reduzido para cerca da metade do normal para controlar a vazão do Rio Paraíba do Sul.

De qualquer maneira, estes dois ambientes apresentam um comportamento atípico, que não pôde ser bem definido durante este trabalho.

Todos os outros reservatórios apresentaram-se como polimícticos típicos com maior freqüência de misturas.

Pedro Beicht, por exemplo, (Fig. 18) não apresentou evidência de estratificação. Sua condutividade se manteve praticamente invariável durante todo o ano e o OD esteve em níveis sempre altos até o fundo.

Ribeirão do Campo (Fig. 19), com capacidade e profundidade semelhantes ao anterior, apresentou-se estratificado durante a coleta de março. Nesta ocasião, o OD junto ao fundo atingiu o valor mínimo observado nesse ambiente. A condutividade, assim como no caso anterior, se manteve constante durante o ano.

Taiaçupeba (Fig. 21) apresentou sempre altos teores de OD até o fundo (mínimo de 70% de saturação), pois devido à pouca profundidade, a zona eufótica atingiu sempre o substrato.

Cabuçu (Fig. 15) apresenta também alguma estratificação no verão, mas sua pequena profundidade não permite a formação de um hipolímnio estável por longos períodos. Sua condutividade é média-baixa mas sofreu um aumento significativo durante a estação seca. O OD, apesar da estratifi-

cação, não apresentou menos que 30% de saturação junto ao fundo.

Americana (Fig. 12) já fora definido como polimíctico por Froehlich *et al.* (1978). Evidências de circulação podem ser observadas durante a coleta de maio (isotermia da coluna de água) e dezembro (desaparecimento da camada de H_2S). Por situar-se em região mais quente, Americana apresentou as temperaturas mais altas da coluna de água durante todo o período de estudo. Apesar de polimíctico, apresentou sempre ausência de OD junto ao fundo. Até mesmo em março, com isotermia da coluna de água. Por outro lado, as porcentagens de saturação de oxigênio foram as mais elevadas dentre todos os reservatórios, apesar das altas temperaturas observadas. A condutividade também foi a mais elevada, sendo mais alta até mesmo que a dos hipolímnios dos reservatórios monomícticos.

3.2.3 - pH, alcalinidade, CO_2 total e outras formas de carbono

As Tabelas 10*a-d* apresentam a variação do pH e alcalinidade nas diferentes épocas do ano.

Em quase todos os ambientes, o pH esteve em torno da neutralidade. A alcalinidade apresentou valores entre 0,150 e 0,350 meq.l^{-1} na maioria dos reservatórios, o que seria de se esperar, em vista da pobreza em cálcio encontrada neses ambientes. Valores mais altos foram encontrados apenas em Americana. Neste reservatório a alcalinidade esteve entre 0,720 e 1,142 meq.l^{-1} e o pH variou de 6,9 a 8,2, o que concorda com seus valores mais altos de condutividade e especialmente dos íons cálcio e sódio.

Ao contrário, os Reservatórios de Pedro Beicht e Ribeirão do Campo apresentaram as alcalinidades mais baixas (em torno de 0,050 meq. l^{-1}) e os pHs entre 5,0 e 6,7, o

que condiz também com a pobreza em íons observada nesses ambientes (condutividade média ≅ 14 $\mu s.cm^{-1}$).

A distribuição do CO_2 total e das outras formas de carbono é apresentada nas Tabelas 11*a-j*. Apesar da ausência de dados nas regiões mais profundas de vários reservatórios, salientou-se a tendência ao aumento da concentração do CO_2 total em direção ao fundo, que é ainda mais acentuada se considerarmos o CO_2 livre. As formas HCO_3^- e CO_2 livre são as mais comuns, devido à baixa alcalinidade dos reservatórios estudados. O CO_3^{--} geralmente foi encontrado em quantidades menores que 0,15 $mg.l^{-1}$, exceto em Americana (0,26 $mg.l^{-1}$ em dezembro) e Cachoeira (0,81 $mg.l^{-1}$ em agosto), mas mesmo nestes reservatórios a sua quantidade foi insignificante em relação às outras duas formas.

3.2.4 - Íons

A distribuição vertical das concentrações iônicas nas quatro séries de coletas encontra-se nas Tabelas 11*a-e*, exceto de carbonatos e bicarbonatos que são apresentadas nas Tabelas 10*a-j*.

O Reservatório de Americana destacou-se dos demais pelas concentrações de íons bastante elevadas, o que é refletido no alto valor de condutividade apresentado por este ambiente (Tab. 9).

Taiaçupeba também apresentou concentrações iônicas elevadas, embora inferiores às de Americana.

Os outros reservatórios apresentaram valores intermediários, sendo que os mais pobres foram Ribeirão do Campo e Pedro Beicht.

As concentrações de ferro dissolvido geralmente não

foram altas na coluna de água em todos os reservatórios. Valores um pouco mais altos foram observados em Paraibuna , Atibainha e Americana e coincidiram com níveis de baixas concentrações ou ausência de OD. Quando o hipolímnio continha H_2S, baixos valores de ferro foram observados.

Quando às proporções catiônicas, observamos que , em todos os reservatórios (Tab. 13), o sódio foi o cátion dominante, exceto numa ocasião, na Estação Paraibuna, em que o ferro apresentou as concentrações mais elevadas. O segundo cátion em importância foi o cálcio ou potássio seguidos pelo magnésio.

Com relação às proporções aniônicas, o ânion mais importante foi o bicabornato, seguido por sulfato e cloreto respectivamente, exceto em Taiaçupeba, onde os dois últimos se apresentaram invertidos.

O Reservatório de Americana foi o mais rico em relação à maioria dos íons: sódio, cálcio, potássio, magnésio, bicarbonato, sulfato e cloreto. Pedro Beicht e Ribeirão do Campo apresentaram as concentrações mais baixas de sódio, cálcio, potássio, magnésio e bicarbonato.

O cobre esteve abaixo do nível de sensibilidade da técnica em todas as coletas. O zinco somente apareceu em quantidades detectáveis em Taiaçupeba, durante a coleta de agosto.

Em nenhum reservatório foi feita dosagem de íons próximo ao fundo durante a primeira coleta.

Nesta ocasião, na Estação Paraibuna do Reservatório de Paraibuna, (Tab. 12g) verifica-se que o ferro esteve baixo no epilímnio mas sofreu um pequeno aumento a 15 m. coincidindo com uma queda acentuada no OD e ausência de H_2S. O mesmo ocorre com relação ao manganês. Os outros

íons se encontraram homogeneamente distribuídos no epilímnio.

Fenômenos semelhantes ocorrem nas outras duas estações de coleta desse reservatório, na coleta de março.

Em maio, na Estação Paraibuna, novamente não há dados próximos ao fundo e o epilímnio se encontra homogêneo, com baixos teores de ferro e manganês. Nas Estações Félix Guisard e Paraitinga, em presença de H_2S, não foi detectado o ferro junto ao fundo, mas verifica-se um aumento nas concentrações de manganês, cálcio, potássio, magnésio e sulfatos.

Durante a coleta de agosto, após a circulação do reservatório, todos os íons se encontravam distribuídos homogeneamente na coluna de água e o ferro, manganês e sulfato apresentaram um aumento grande em relação às suas concentrações habituais na zona eufótica.

Em dezembro, as três estações do reservatório encontravam-se estratificadas (mas ainda sem H_2S no hipolímnio e, novamente, estes mesmos íons estavam mais concentrados junto ao fundo, na Estação Paraibuna. Na Estação Félix Guisard e Paraitinga, apenas o manganês já se apresentava mais concentrado.

O Reservatório de Cachoeira (Tab. 12*d*) mostrou situação muito semelhante à de Paraibuna, nas duas primeiras e na última coleta, com um aumento na concentração de ferro, ao nível da profundidade afótica, coincidindo com baixas porcentagens de saturação de OD. O sulfato, em maio, estava bastante concentrado junto ao fundo. Entretanto, em agosto, as concentrações de ferro e sulfato baixaram em toda a coluna de água.

Atibainha (Tab. 12*b*) também mostra um comportamento semelhante a Paraibuna durante a primeira, segunda e

última coletas. Em agosto, entretanto, o reservatório apresentou uma distribuição homogênea de todos os nutrientes, exceto manganês, cuja concentração junto ao fundo já estava mais elevada. Além disso, nesta ocasião, o ferro se apresentou como traços em toda a coluna de água.

Santa Branca, (Tab. 12*k*), a juzante de Paraibuna, também apresentou um aumento nas concentrações de ferro, em agosto. É interessante notar que, em maio, apesar de o reservatório aparentemente não ter sofrido circulação total, os teores de sulfato são altos no epilímnio.

Em Jaguari (Tab. 12*d*) não foram observadas altas concentrações de ferro ou manganês. Como no caso dos reservatórios anteriores, durante a coleta de março, foi verificado um leve aumento destes elementos ao nível da profundidade "afótica", onde já se observavam baixas porcentagens de saturação de OD. Em maio, um pequeno aumento também foi detectado junto ao fundo, onde as concentrações de OD eram suficientemente baixas para permitir a solubilização destes elementos. Já em agosto, as concentrações foram baixas em toda a coluna de água. O sulfato, cloreto e sódio apresentaram as concentrações mais altas junto ao fundo. Em dezembro, o sulfato estava homogeneamente distribuído, assim como os outros íons, mas o ferro, manganês, sódio, potássio e cloretos apresentaram valores mais altos próximo ao fundo.

Pedro Beicht (Tab. 12*i*), reservatório tipicamente polimíctico, apresentou apenas traços da maioria dos íons. Aqueles que estiveram acima do limite de detecção dos métodos apresentaram sempre distribuição homogênea.

Cabuçu (Tab. 12c), também apresentou baixas concentrações da maioria dos íons. O ferro apresentou leves aumentos apenas no hipolímnio, em março e dezembro, sob concentrações mais baixas de OD. O sulfato, entretanto ,

apresentou um aumento considerável de maio para agosto, que correspondeu a um aumento na condutividade total, nessa ocasião. Os teores de magnésio nesse reservatório foram os mais altos observados, excetuando-se Americana.

Com relação ao ferro, os Reservatórios de Ribeirão do Campo e Taiaçupeba (Tabs 12*j* e *ℓ*) apresentam um fato em comum: em ambos as concentrações são médias, apesar das altas porcentagens de saturação de oxigênio apresentadas.

Em Ribeirão do Campo os íons se apresentam, de modo geral, em quantidades muito baixas, mas existem quantidades relativamente altas de sulfato e, principalmente, sódio e cloreto.

Taiaçupeba, como comentado anteriormente, apresentou concetrações iônicas elevadas devido, principalmente, ao sódio, cálcio, bicarbonato, sulfato e cloreto e com distribuição sempre homogêna.

Em Americana (Tab. 12*a*), apesar da polimixia, o OD esteve sempre ausente junto ao fundo, mesmo em situações de isotermia, como em maio. Em conseqüência, a distribuição do ferro esteve sempre condicionada à estratificação do OD. Os outros íons apresentaram pouca ou nenhuma estratificação. Durante a coleta de agosto verificou-se um aumento bastante grande nas concentrações de sódio, sulfato e cloreto que corresponderam a um aumento na condutividade total.

3.2.5 - Nutrientes Inorgânicos

Os resultados de nutrientes são apresentados nas Tabela 14*a*-*ℓ*. Um exame destes resultados mostra que as diferentes formas de nitrogênio apresentaram grande variabilidade, tanto em termos temporais como na coluna de água . O $N\text{-}NO_3$ esteve entre 0,0 e 2591,9 $\mu g.l^{-1}$; o $N\text{-}NO_2$ variou de 0,0 a 26,5 $\mu g.l^{-1}$ e o $N\text{-}NH_3$ esteve entre 0 e 1302 $\mu g.l^{-1}$.

Em todos os reservatórios as concentrações do nitrogênio inorgânico dissolvido, dentro da zona trofogênica, foram mais baixas durante a primeira coleta.

O Reservatório de Americana se destacou por apresentar as concentrações mais altas em relação a todos os nutrientes, principalmente amônia e nitrito (Tab. 14*a*). A amônia apresentou sempre um aumento em direção ao hipolímnio anaeróbico, inversamente ao nitrato e nitrito. As concentrações mais baixas de amônia e nitrato foram abservadas em março, mas o nitrito se manteve elevado. Apesar de, nessa ocasião, não existirem dados próximos ao fundo, percebe-se a tendência ao acúmulo de amônia já a 7,0 m.

Em maio, verifica-se um aumento nas concentrações de todas as formas de nitrogênio; a amônia atinge mais de 1000 μg $N\text{-}NH_3.l^{-1}$ na superfície, apesar da saturação de OD ser da ordem de 70%.

Em agosto, o $N\text{-}NO_2$ e $N\text{-}NO_3$ apresentaram concentrações mais elevadas até cerca de 1,6 m, caindo em direção ao fundo. O $N\text{-}NH_3$, ao contrário, aumentou suas concentrações abaixo desta profundidade, sob baixas porcentagens de saturação de OD. Na coleta de dezembro, uma camada oxigenada mais espessa reproduziu a situação anterior até uma maior profundidade.

Dos reservatórios considerados como monomícticos, o que apresentou concentrações mais altas de amônia e nitrito foi Atibainha (Tab. 14*b*). Durante a primeira coleta, não foram obtidas amostras próximas do fundo (em ambiente anóxico) e, no epilímnio, os teores estavam baixos. O nitrato, nesta ocasião, apresentou uma queda ao nível de 10,0 m em relação às concentrações da zona eufótica.

Em maio, entretanto, foram detectadas 2056 μg $N\text{-}NH_3.l^{-1}$ e 14,7 μg $N\text{-}NO_2.l^{-1}$ próximo ao fundo, em pre—

sença de H_2S. Mas mesmo no epilímnio observou-se um aumento nas concentrações tanto de amônia como de nitrato.

Em agosto, a distribuição da amônia é relativamente homogênea e suas concentrações são altas em toda a coluna de água (da ordem de 500 μg $N\text{-}NH_3.l^{-1}$). O nitrato, apesar de estar presente em altas concentrações, tendeu a diminuir em direção ao fundo.

Durante a coleta de dezembro, com uma estraficação acentuada no ambiente, novamente se observa o declínio do nitrato em direção ao fundo e o comportamento inverso da amônia.

Cachoeira (Tab. 14*d*) repetiu, de modo geral, a situação de Atibainha, com um aumento de nitrogênio dissolvido durante o inverno. No entanto, se apresentou mais pobre que o anterior e o nitrogênio dissolvido, neste caso, foi encontrado principalmente sob forma de nitrato e não amônia. Em dezembro, estes dois nutrientes se encontravam em baixas concentrações na zona eufótica mas, a 7,0 m, sofreram um aumento, coincidente com a ausência de OD.

Outro reservatório monomíctico, Paraibuna (Tab.14 *f,g,h*), não teve um comportamento homogêneo nos três pontos de coleta, sendo a Estação Félix Guisard um pouco diferente das outras duas. Tanto na Estação Paraibuna como Paraitinga, foram observados altos valores principalmente de nitrato, no epilímnio, geralmente durante a estratificação. O nitrito se manteve sempre baixo.

Na Estação Paraibuna, em março, a amônia esteve baixa no epilímnio, que esteve oxigenado, mas sofreu um aumento a 15,0 m, correspondente a uma queda acentuada do OD e do teor de nitrato. Em maio, houve um aumento da concentração de nitrato no epilímnio (máximo de 788 $\mu g.l^{-1}$), formando um gradiente decrescente em direção ao hipolímnio .

A amônia apresentou distribuição homogênea e concentração um pouco mais elevada que em março. Logo após a circulação, em agosto, ocorreu uma queda na concentração de nitratos, coincidente com uma queda na saturação de OD na coluna de água. A amônia apresentou-se em concentrações bastante altas (em torno de 500 μg $N\text{-}NH_3.l^{-1}$) e praticamente homogênea nos níveis amostrados. Em dezembro, com a estratificação restabelecida, novamente se observou a tendência da amônia aumentando em direção ao fundo, de modo inverso ao que ocorreu com o nitrato.

Na Estação Paraitinga, a situação foi bastante semelhante nas três primeiras coletas. Na última, entretanto, mesmo com a estratificação bem estabelecida, não se verificou aumento de amônia próximo ao fundo, e o nitrato ainda esteve presente em concentração elevada nesta profundidade.

A Estação Félix Guisard apresentou, de modo geral, teores mais baixos que as outras duas em relação às formas de nitrogênio analisadas. Assim, as concentrações elevadas de nitrato, que ocorreram nas Estações Paraibuna e Paraitinga em março, não se verificaram neste caso (máximo de 17,4 μg $N\text{-}NO_3.l^{-1}$). Em maio, houve um aumento dos teores de nitrato, enquanto a amônia esteve quase ausente no epilímnio. Junto ao fundo, na ausência de OD, a situação foi inversa. Durante a coleta de agosto, a amônia esteve distribuida homogeneamente, assim como o nitrato, ocorrendo oxigênio em toda a coluna de água. Em dezembro, a estratificação térmica já estava instalada por ocasião da coleta, mas, junto ao fundo, o nitrato ainda esteve relativamente alto (110,6 μg $N\text{-}NO_3.l^{-1}$) e a amônia atingiu (97 μg $N\text{-}NH_3.l^{-1}$).

Santa Branca (Tab. 14*k*) apresentou valores médios de nitrogênio total durante todo o ano. Em maio, no entanto, ocorreu um valor estranhamente alto de nitrato junto

à superfície, de difícil explicação. As concentrações mais altas de amônia neste reservatório ocorreram no inverno, em agosto, e as mais altas de nitrato, em toda a coluna de água, foram observadas em dezembro, quando a estratificação já estava restabelecida.

Jaguari (Tab. 14*e*) apresentou concentrações médias de nitrato e amônia, exceto no epilímnio, no final do verão, quando estas foram muito baixas. As concentrações mais altas de amônia ocorreram em maio, após um período de circulação. O nitrato também estava mais alto nesta ocasião, e se manteve alto até a coleta de agosto, pelo menos.

O Reservatório de Cabuçu (Tab. 14*c*), polimíctico, se apresentou bastante pobre em relação às formas de nitrogênio analisadas. A amônia aparece sempre mais concentrada próxima ao fundo, apesar do oxigênio existir sempre em porcentagem de saturação elevada.

O Reservatório de Ribeirão do Campo, (Tab. 14 *j*) apesar de sua baixa condutividade e pobreza de íons, apresentou resultados de nitrogênio inorgânico dissolvido que podem ser considerados médio-altos em relação aos outros reservatórios estudados, sendo mais altos até mesmo que Americana. As concentrações mais elevadas foram observadas em maio, com maior valor junto ao fundo. Exceto nessa ocasião, os nutrientes se distribuíram homogeneamente na coluna de água.

O Reservatório de Pedro Beicht (Tab. 14*i*) apresentou grande variação nos valores de nitrato, tanto na distribuição temporal, como vertical, com tendência a valores mais altos no inverno. A amônia apresentou pouca variação e esteve sempre em baixas concentrações.

Taiaçupeba (Tab. 14*ℓ*) apresentou, de modo geral ,

baixas concentrações de nitrogênio. Entretanto, em maio, apresentou um valor inexplicavelmente alto na superfície.

Com relação ao silicato, a variação observada nos reservatórios foi de 0,00 a 4,54 $mg.l^{-1}$. Em alguns, houve grande variabilidade temporal; Taiaçupeba e Ribeirão do Campo (Tabs 14*ℓ* e 14*j*), por exemplo, apresentaram um aumento considerável das duas primeiras para as duas últimas coletas. Também em Atibainha, Cachoeira e Paraibuna(monomícticos) (Tabs 14*b,d,f,g,h*) ocorreu uma queda acentuada no inverno, em comparação ao final do verão.

Com relação à distribuição vertical, a variabilidade não parece relacionada com a estratificação, visto que não apresentou tendências definidas na coluna de água.

O fósforo total dissolvido foi geralmente menor que 10 $\mu gP\text{-}PO_4.l^{-1}$ dentro da zona eufótica dos reservatórios estudados. Entretanto, em Americana (Tab. 14*a*) esteve entre 27 e 94 $\mu g\ P\text{-}PO_4.l^{-1}$, sendo que, no hipolímnio, em agosto, atingiu 129 $P\text{-}PO_4\ \mu g.l^{-1}$. Em Jaguari (Tab. 14*e*), numa única ocasião (dezembro), ocorreram concentrações que atingiram 524 $\mu g\ P\text{-}PO_4.l^{-1}$. No Reservatório de Pedro Beicht, (Tab. 14*i*) durante a coleta de junho, foi observado junto ao fundo um valor bastante alto e de difícil explicação com os dados disponíveis.

Com relação à distribuição vertical, apenas no Reservatório de Americana (Tab. 14*a*) se observou uma tendência ao acúmulo de fosfatos em direção ao fundo, verificada durante as coletas de maio e agosto (nessa última com H_2S presente). Neste reservatório, o fosfato orgânico foi sempre a maior fração no epilímnio, ocorrendo o inverso com o fósforo inorgânico, fato que evidencia relações deste nutriente com concentrações de OD. Mesmo nos reservatórios monomícticos não foi observada uma tendência a acúmulos de fósforo no hipolímnio.

Com relação à variação temporal, Cachoeira (Tab. 14*d*) mostrou um pequeno aumento nas concentrações de agosto, após a circulação; Jaguari, conforme já comentado, sofreu um aumento durante a coleta de dezembro e Americana apresentou flutuações no decorrer do ano. As variações observadas nos outros reservatórios não foram significativas.

As razões N:P são apresentadas na Tab. 15. Houve uma grande variabilidade nos resultados, pois as razões estiveram entre 0,4 (Taiaçupeba) e 689,1 (Paraibuna).

As razões mais baixas ocorreram nos Reservatórios de Taiaçupeba e Pedro Beicht e as mais altas em Atibainha, Jaguari, Paraibuna, Ribeirão do Campo e Santa Branca.

De uma maneira geral, houve uma tendência para razões mais altas durante a época do inverno, se bem que nos Reservatórios de Paraibuna e Santa Branca, tenham sido observadas altas razões também no início do verão.

3.3 - Planctonologia

3.3.1 - Microfitoplâncton:

Na primeira série de coletas as divisões que apresentaram gêneros com maior número de ocorrências foram:

Chlorophyta: *Staurastrum* (9)
Pyrrofita : *Peridinium* (8)
Chrysophyta : *Melosira* (7)

Na segunda série, destacaram-se:

Chlorophyta: *Staurastrum* (12), *Scenedesmus* (10), *Chlamydomonas* (10), *Pediastrum* (9), *Arthrodesmus* (7).

Chrysophyta: *Cyclotella* (11), *Melosira* (9)
Pyrrophyta: *Glenodinium* (7)

Na terceira série, a ocorrência de Chlorophyta foi menor que nas anteriores e o gênero de maior ocorrência (*Staurastrum*), foi substituído. A ocorrência de Pyrrophyta aumentou.

Crysophyta: *Melosira* (11), *Cyclotella* (10)

Pyrrophyta: *Peridinium* (11)

Chlorophyta: *Botryococcus* (7)

Na quarta série, as Chlorophyta voltam a ter destaque:

Chlorophyta: *Staurastrum* (12), *Scenedesmus* (9), *Pediastrum* (9)

Phyrophyta: *Peridinium* (11), *Glenodinium* (7)

Chrysophyta: *Melosira* (10), *Cyclotella* (10)

Os gêneros mais abundantes na coluna de água, em termos de porcentagem (considerados aqueles que representaram 10% ou mais do total do microplâncton) são apresentados na Tabela 16. Pode-se observar que os gêneros *Mougeotia* e *Melosira* apresentaram uma certa tendência a desenvolver florescimentos.

O total de células por litro, apresentado na mesma tabela, variou de 8, na Estação Paraitinga em agosto, a 815.510 cel/ℓ, em Taiaçupeba, na coleta de maio (*Mougeotia*, 99,6%). Entretanto, nesta ocasião as células apresentaram uma aparência anormal: muito finas e pouco coradas (Pereira, comunicação pessoal), sugerindo um florescimento em degeneração ou mau estado fisiológivo das células. A maioria dos outros resultados, entretanto, esteve entre 500 - 50.000 cel/ℓ.

3.3.2 - Clorofila-*a*

Os resultados das análises da clorofila-*a* total (B), em todos os níveis amostrados e em cada reservatório, são apresentados na Tabela 17*a*-*ℓ*. Na Tabela 18, podem ser observadas as concetrações médias do pigmento dentro da zona eufótica ($\bar{B}$). Na Figura 22, são apresentados os valores médios de $\bar{B}$ e os valores máximos e mínimos obtidos. Através desta figura, verifica-se que existe um gradiente suave de concentrações entre os reservatórios.

As concentrações médias mais altas ocorreram nos Reservatórios de Americana, Cachoeira, Taiaçupeba e Pedro Beicht (em ordem decrescente). O gradiente entre os reservatórios com concentrações mais baixas é menos nítido.

A Tabela 19 apresenta a ΣB. A Figura 23, construída do mesmo modo que a anterior, agora considerando ΣB, permite uma ordenação semelhante para os reservatórios. Os mais ricos em clorofila-*a* foram novamente os quatro reservatórios citados, apesar de que Taiaçupeba, por ser ainda muito raso, apresentou valor menor que Pedro Beicht.

Aparentemente, há uma tendência para os reservatórios polimícticos apresentarem valores mais baixos de ΣB durante o inverno (Fig. 24*a*-*b*). Dentre os monomícticos, ou com tendência à monomixia, esta redução foi observada nos Reservatórios de Paraibuna e Santa Branca.

Com relação à distribuição vertical de B (Fig. 25 *a*-*ℓ*), verifica-se que, em alguns reservatórios, esta foi bastante heterogênea, como por exemplo, em Americana, Cachoeira e Taiaçupeba. Além disso, nestes casos, os picos de biomassa se apresentaram quase sempre na região subsuperficial. De um modo geral, nestes ambientes foram também observados os maiores valores de B. Os reservatórios com distribuição heterogênea geralmente apresentaram descontinui—

dades térmicas dentro da zona eufótica, o que acentua a delimitação de camadas, com a conseqüente estratificação do fitoplâncton e da clorofila-*a*.

Outros reservatórios, com distribuição mais homogênea, apresentaram a termoclina abaixo da zona eufótica, como por exemplo Atibainha (março e maio), Jaguari (março), Paraibuna (Estação Félix Guisard, março, maio e agosto; Estação Paraibuna, março e maio e Estação Paraitinga, março e maio), ou então estratificação térmica pouco acentuada ou inexistente, como Cabuçu (maio, agosto e dezembro), Jaguari (maio), Paraibuna (Estação Paraibuna, agosto), Pedro Beicht (todas as coletas), Ribeirão do Campo (maio e agosto) e Santa Branca (maio).

Em dezembro, apesar da estratificação estar instalada na maioria dos reservatórios, nem sempre a clorofila-*a* se distribui heterogeneamente, como em Atibainha, Jaguari, Paraibuna, (Estação Paraibuna e Paraitinga) e Ribeirão do Campo.

Os resultados da clorofila-*a* ativa (B_a) são apresentados na Tabela 20.

Na Tabela 21 estes resultados são convertidos para unidade de área (ΣB_a) e são apresentadas também as porcentagens de clorofila ativa em relação à total. Estas porcentagens apresentaram uma grande variabilidade, de 41,5 a 113,2%, estando a média em torno de 71,0%.

Entretanto, considerando-se cada coleta, a variabilidade não foi acentuada, de forma que o perfil de B_a geralmente acompanha o de B.

Os parâmetros em cuja estimativa devem ser levados em conta os dados de clorofila, (tais como taxa de assimilação), foram calculados com base nas duas formas, para efeito de comparação com outros trabalhos.

A relação entre o coeficiente de extinção vertical mínimo (ϵ_{mim}) e a concentração média de clorofila-*a* na zona eufótica é mostrada na Fig. 26. A equação para esta regressão é $\epsilon_{mim} = 0,038B + 0,58$ (r = 0,75 p

As relações $[P\text{-}PO_4]/\bar{B}$ estão representadas na Figura 27*a*. Estes pontos, excluindo-se o valor aberrante observado em Jaguari (dezembro), sugerem uma relação não linear, do tipo $y = ax^b$. A Figura 27*b* foi construída com os valores de $[P\text{-}PO_4]$ e $\bar{B}$ transformados para logarítmo de base 10.

Através do teste aplicado a esta curva, verificou-se que existe correlação entre estas duas variáveis (r=0,616 com $p < 0,05$) e a equação é:

$$\log \bar{B} = 0,647 \log [P\text{-}PO_4] + 0,411$$

Nas Figuras 28, 29, 30 e 31 estão representadas as relações entre $[NO_3+NO_2+NH_3)]/\bar{B}$, $[N\text{-}NO_3]/\bar{B}$, $[N\text{-}NH_3]/\bar{B}$ e $[N\text{-}NO_2]/\bar{B}$ respectivamente. O teste aplicado a estas relações mostrou ausência de linearidade e as figuras, exceto a 29, não sugeriram outro tipo de curva.

Na Figura 29, a curva sugerida foi feita com traço livre, mas não tem sentido biológico. Na Figura 32, estes mesmos pontos foram representados em escala monolog, e evidencia-se a forma sinoidal da curva, com uma tendência a valores baixos de $\bar{B}$ em concentrações menores que $\cong 20 \mu g\ l^{-1}$ $N\text{-}NO_3$. Na Figura 33 foram representados os valores de $\bar{B}$ em função da razão N:P. Com traço livre foram englobados todos os pontos a fim de se evidenciar o padrão de variabilidade desta relação. A maior variabilidade é encontrada nas razões em torno de 7.

3.3.3 - Produção primária

3.3.3.1 - Aspectos gerais:

Os resultados das medidas da taxa de produção primária (A) em todos os níveis amostrados, são apresentados nas Tabelas 22*a-j*. A taxa de produção por unidade de superfície (ΣA) é apresentada na Tabela 23.

Na Figura 34 são apresentados os valores médios de A obtidos nos níveis de produção máxima (A_{max}), nas quatro coletas e em cada reservatório. Através desta figura, verificamos que Americana apresenta taxas bem elevadas em relação a todos os outros, e que Santa Branca, Jaguari e Paraibuna, além de apresentarem as taxas mais baixas, mostraram também a menor variação entre as medidas das diversas ocasiões.

A análise dos valores de ΣA apresenta resultados semelhantes (Fig. 35). Verifica-se que, ao contrário do que ocorre com os dados de clorofila-*a*, não existe propriamente um gradiente entre os diversos ambientes. Neste caso, podem ser divididos em dois grupos: produtivos (Americana) e pouco produtivos (todos os outros).

A Tabela 24 mostra a produção diária por unidade de superfície (ΣΣA) e a Figura 36 apresenta a variação destes valores durante o ano. Como se pode observar, houve uma queda na produtividade durante o inverno, se bem que com algumas exceções. O resultado mais elevado foi registrado em Americana, em dezembro (1058 mg $C.m^{-2}.dia^{-1}$) e o mais baixo, em Paraibuna, em agosto (7,9 mg $C.m^{-2}.dia^{-1}$).

Nas Figuras 37*a-j* são apresentados os perfis de produção do fitoplâncton, assim como os de taxa de assimilação, calculados com base em B e B_a.

choeira. Com relação ao picos de produção máxima, a maioria

dos perfis apresentou um único pico, mas, ocasionalmente, foram observados perfis dicotômicos. Este tipo de curva ocorreu nos reservatórios pequenos e médios. Em alguns casos, como Americana, Cachoeira e Jaguari, a dicotomia aparece associada a forte estratificação térmica, de condutividade ou de distribuição da biomassa, mas no caso dos reservatórios menores estas relações não são evidentes.

Cerca de 38% dos perfis de taxa de produção obtidos durante este trabalho apresentaram o padrão típico de perfil, com o máximo numa profundidade subsuperficial.

Entretanto, a forma de curva mais comumente observada durante este trabalho (62% dos perfis), apresentou máximos superficiais. Cerca da metade destes resultados foram obtidos em dias bem ensolarados, quando seria de se esperar uma inibição junto à superfície.

Através da análise dos perfis de A/B, verificamos que 70% dos perfis apresentaram máximos superficiais, dos quais mais da metade ocorreram com céu limpo ou pouco nublado.

A análise dos perfis de A/B_a apresentou resultados semelhantes: 70% dos perfis com máximos superficiais, e destes 40%, com altas radiações.

Na Tabela 25 são apresentados apenas os números de assimilação (A_{max}/B). Estes valores foram geralmente baixos (algumas vezes devido à radiação muito baixa), sendo que o mais alto foi 8,0 mgC.mgcl-a.h^{-1}, obtido em Ribeirão do Campo, em dezembro.

Valores altos de A_{max}/B foram observados ocasionalmente em ambientes menos produtivos (Ribeirão do Campo, em agosto e dezembro, Cabuçu, em agosto), assim como baixos valores também puderam ser observados em ambientes mais produtivos (Cachoeira, em maio, Pedro Beicht, em março e agosto).

Na Tabela 26 são apresentados os valores de $\Sigma\Sigma A/\Sigma B$.

A medida da produção primária na fração <20μm do fitoplâncton (F) (Tab. 25) apresentou resultados que variaram de 9 a 100% em relação ao total (A) (Tab. 27).

Das 62 amostras obtidas, apenas 11 (17%) o microplâncton foi responsável por mais de 50% da produção primária total.

Não ficou claro se existe uma relação entre altas razões F/A e oligotrofia nos reservatórios estudados. Na série de coletas do início do verão, em dezembro, houve uma tendência de razões mais elevadas entre F/A.

Os resultados de eficiência fotossintética (E_{tot}) são apresentados na Tabela 28. E_{tot} variou de 0,003 a 0,308%. Os dois valores mais baixos ocorreram em Paraibuna e Santa Branca, em agosto (0,003 e 0,013% respectivamente), e os mais altos ocorreram em Americana e Pedro Beicht, em dezembro (0,308 e 0,233% respectivamente).

A relação entre a produção primária (ΣA) com a radiação fotossinteticamente ativa (Ia,i) é mostrada na Figura 38. Pelo valor de r determinado (0,370), verifica-se que não houve correlação ($p>0,05$) entre as duas variáveis. Também não houve correlação entre ΣA e ΣB_a ($r = 0,436$ e $p>0,05$) (Fig. 39).

Entretanto, a análise conjunta destas três variáveis ($E_{tot} = \Sigma Ac/\bar{I}a,i$) (Fig. 40), mostrou correlação, com um valor de r bem mais alto (0,625) e $p<0,01$.

Em vista da variabilidade dos valores de ΣA ser ampliada em função da radiação, não foram considerados as relações produção/nutrientes mas apenas as relações clorofila-*a*/nutrientes.

Na Tabela 29, são mostradas as relações entre frascos transparentes (T) e opacos ("pretos" - P) em porcentagens de dpm. As porcentagens mais altas são encontradas sempre nos níveis inferiores de penetração de luz. Em alguns casos esta porcentagem foi maior que 100%, mas isto sempre ocorreu em situações em que a fixação no claro foi muito baixa, e a produção foi considerada zero. Nestes casos, as variações entre frasco transparente e "preto" poderiam ser consideradas como dentro do erro do próprio método.

Nos reservatórios estudados, as porcentagens obtidas ao nível do pico de produção máxima, tiveram uma amplitude bastante grande. Os valores mais elevados foram obtidos em dois ambientes distintos: Paraibuna e Pedro Beicht.

Com relação aos valores absolutos, estes deveriam ser corrigidos pelo valor do branco. Entretanto, o branco foi determinado apenas com água da superfície e, devido a variações do seston na coluna de água, o valor absoluto corrigido apresentou, muitas vezes, resultados negativos para as outras profundidades. Em conseqüência, não serão discutidos neste trabalho.

3.3.3.2 - Aspectos particulares

3.3.3.2.1 - Americana

Americana apresentou sempre produção primária elevada, sendo que um certo declínio ocorreu no inverno (Fig. 36). Durante a coleta de março, a taxa de produção primária foi a mais alta observada de todos os quarenta perfis de produção obtidos: atinge 160,34 mgC. $m^{-3}.h^{-1}$. Este valor foi obtido na superfície, mesmo sob alta insolação (céu pouco nublado). Apesar das concentrações da clorofila-*a* aumentarem nos níveis inferiores (Fig. 25*a*), houve uma queda acentuada da taxa de produção logo abaixo da superfície. Como um dos principais componentes do fitoplâncton nessa ocasião foi o gênero *Anabaena*, é possível que tenha havido um acúmulo de células deste gênero junto à superfície, devido às suas organelas de flutuação. Neste caso, as células aí presentes seriam jovens, em melhor estado fisiológico e com os vacúolos cheios de gás.

Observa-se que, numa situação propícia à permanência do fitoplâncton numa camada estreita de epilímnio (existência de organismo com organelas de flutuação e presença de estratificação térmica acentuada), ocorreu um alto valor de taxa assimilação superficial. A ΣA foi a mais alta observada (Tab. 24).

Em maio, observa-se máximo superficial de produção, mesmo com sol, mas a taxa de assimilação indica inibição neste nível. Apesar da coluna de água isotérmica, a distribuição da clorofila-*a* foi bastante heterogênea. Estas flutuações ao longo da coluna de água sugerem a presença de agregados fitoplanctônicos em diferentes profundidades, como sugeridos por Lewis (1974) no Lago Lanao. O valor alto da da produção primária junto à superfície é provavelmente, devido a um acúmulo de fitoplâncton nesse nível, como se observa pelo perfil de taxa de

As células do gênero *Peridinium*, também presentes, podem apresentar fototactismo mas, neste caso, não haveria reflexo na taxa de produção, devido às suas características predominantemente heterotróficas.

A inibição observada no perfil de A/B deve-se à presença de plâncton de fundo (de sombra) levado à superfície pela circulação recente do ambiente (isotérmico). A produção por unidade de área foi alta, o que foi propiciado, principalmente, pela maior transparência da água, já que a taxa de assimilação esteve mais baixa que em março.

Em agosto, o perfil de produção primária, assim como de taxa de assimilação, apresentaram máximos superficiais, mesmo com altas radiações no período de incubação (Tab. 3). Apesar da taxa de fotossíntese elevada na superfície, houve uma queda acentuada já a 0,8 m (50% de penetração de luz). Neste caso, o epilímnio propriamente dito ocupa uma região bem estreita (cerca de 2 m) e a região da termoclina situa-se aproximadamente entre 2 e 7 m. A ΣA foi a mais baixa das quatro coletas realizadas. Os valores de B_a não representaram altas porcentagens em relação a B (Tab. 21). O fracionamento (Tab. 27) indicou que, o microplâncton foi responsável pela maior parte da produção primária. A fração > 50 µm foi constituída principalmente por células do gênero *Coelastrum*, que representou cerca de 78% do total do microplâncton da coluna de água, caracterizando um florescimento dessa alga. Este florescimento deveria encontrar-se em pleno desenvolvimento como demonstrado pela alta razão B_a/B (80,6%).

Apesar do reservatório se apresentar estratifica-

do durante essa coleta, novas frentes frias, ainda freqüentes nessa época, provavelmente devem ter provocado sua circulação ainda várias vezes, até o verão.

Em dezembro, o perfil de produção apresentou-se dicotomizado apesar das concentrações relativamente homogêneas de clorofila-*a*. Também não se observou inibição superfical, apesar das altas radiações. A razão B_a/B foi alta (87,6%) e o fracionamento apresentou resultados diferentes a 100 e 25% de penetração de luz, sugerindo composição diferente do plâncton nas duas profundidades, que poderia apresentar também diferenças no potencial fotossintético. Variações pronunciadas da condutividade sugerem a ocorrência de movimentos horinzontais da água. Isto implica também em diferenças no potencial nutricional das águas de diferentes profundidades. A 25% de penetração de luz a importância do microplâncton foi maior na produção primária do que a 100%. Nesta ocasião, os principais gêneros do microplâncton presentes na coluna de água foram *Cryptomonas*, *Coelastrum*, *Staurastrum* e *Peridinium*. A presença de *Cryptomonas* pode ter sido também outra causa da dicotomia no perfil de produção, devido à capacidade destas algas de migrarem a procura de um nível ótimo de iluminação. A ΣA foi a mais elevada de todos os experimentos realizados (92,1 $mgC.m^{-2}.h^{-1}$) mas é provável que tenha sido limitada pela turbidez da água.

3.3.3.2.2 - Paraibuna

No Reservatório de Paraibuna foi observado o menor valor de ΣA:(0,8 $mgC.m^{-2}.h^{-1}$). de todos os experimentos.

Na coleta de março, durante a estratificação, a transparência da água na Estação Paraibuna foi a mais alta de todo o ano. O perfil de produção primária (Fig. 37f) apresentou um pico subsuperficial, apesar do tempo nublado e da clorofila-*a* homogeneamente distribuída. O comportamen-

to do fitoplâncton nesta ocasião, como plâncton de sombra, é coerente com a profundidade relativamente grande do epilímnio e com a circulação que está ocorrendo dentro dessa camada (isotérmica) que possibilita o acesso à superfície do fitoplâncton das profundidades próximas à termoclina . O microplâncton apresentou uma contribuição razoável para a produção primária total (32%).

Apesar da ausência de medidas de produção nas outras estações, pode-se supor que, na Estação Paraitinga, esta fosse semelhante à da Estação Paraibuna devido à semelhança na estrutura térmica, nos valores de penetração de luz, biomassa e nutrientes dissolvidos. O mesmo já não se pode afirmar sobre a Estação Félix Guisard, que se comportou um pouco diferente, pois nessa ocasião apresentou teores baixos de nitrogênio e penetração de luz mais baixa.

Na coleta de maio observou-se um abaixamento da termoclina (atelomixia). Entretanto, os nutrientes introduzidos na zona eufótica apresentaram novamente uma razão muito elevada entre N/P, e os baixos teores de fósforo devem ser a causa da pequena biomassa de clorofila-*a*. O perfil deste pigmento apresenta distribuição homogênea nas três estações de coleta, devido a homogeneidade térmica do epilímnio. O valor do fracionamento é praticamente idêntico nos dois níveis amostrados. Nesta segunda coleta não houve inibição superfial mas o céu se encontrava nublado. O perfil de produção não apresentou um máximo muito distinto.

Em agosto, após a circulação, houve uma queda acentuada na transparência e foram obtidas as taxas mais baixas de produção primária. A clorofila-*a*, distribuída homogeneamente na zona eufótica, também apresentou valores baixos. A razão F/A foi elevada nos dois níveis amostrados.

Na coleta de dezembro, as taxas de produção primá

ria continuaram baixas nesse ambiente. A razão B_a/B foi relativamente alta (84,4%), assim como a contribuição do nanoplâncton na produção primária total (78,6%).

Foi observado um comportamento de plâncton de sol, com máximo superficial de taxa de assimilação, novamente sob condições de estratificação térmica acentuada.

3.3.3.2.3 - Atibainha

O perfil de produção de Atibainha (Fig. 18b), por ocasião da primeira coleta, apresentou inibição superficial mesmo com céu nublado, o que indica um comportamento de plâncton de sombra. A ΣA foi relativamente alta na ocasião, apesar das baixas concentrações de nutrientes no epilímnio. A biomassa foi a mais baixa observada nesse reservatório, o que é condizente com os teores mais baixos de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, encontrados.

Em maio, o abaixamento da termoclina deve ter permitido um novo aporte de nutrientes para o epilímnio. Em conseqüência, pode-se notar o aumento na concentração de clorofila-*a*. A ΣA, entretanto, foi menor que em março, devido aos efeitos limitantes da turbidez da água, maior nesta ocasião. Novamente observou-se inibição superficial. A relação F/A a 25% de penetração de luz indicou que o microplâncton foi a fração mais importante na produção primária. O microplâncton da coluna de água foi constituído principalmente pelos gêneros *Chlamidomonas* e *Pediastrum*.

Em agosto, a ΣA foi muito semelhante à de maio, apesar da transparência maior e biomassa fitoplanctônica (em termos de clorofila-*a*) semelhante. Além disso, a porcentagem de pigmento ativo foi muito alta (89,2%). A termoclina, nessa ocasião, já estava restabelecida e limitava um epilímnio pouco profundo. Foi observado máximo superficial de ta

xa de assimilação, mas a radiação no período de incubação não foi muito elevada (Tab. 3).

Na coleta de dezembro foi observada a maior produtividade por unidade de área deste reservatório. O perfil de taxa de assimilação apresentou máximo superficial. Este fato coincidiu novamente com uma situação de epilímnio estreito. O resultado do fracionamento indica que o microplâncton foi responsável por uma razoável parcela da produção total (Tab. 27). Os gêneros *Aphanocapsa* e *Mougeotia* representaram quase que 90% do plâncton de rede.

.3.3.2.4 - Cachoeira

No Reservatório de Cachoeira, a taxa de produção (Fig. 18c), em março, chegou a ultrapassar 17 mgC m^{-3}. h^{-1} e praticamente não houve inibição superficial (pequena inibição em termos de taxa de assimilação) (Fig. 37*d*), com o céu parcialmente nublado durante a incubação. A ΣA foi bastante alta e B apresentou valores médio-altos, apesar dos baixos teores de nutrientes dissolvidos no epilímnio. A colaboração do microplâncton na produtividade primária na superfície foi maior que a 25% de penetração de luz. Esta variação ao longo da coluna de água concorda com a estratificação e distribuição heterogênea da clorofila. A abundância de organismos do gênero *Cryptomonas*, que podem migrar à procura de seu ótimo de luz, pode ser a causa desta variação.

Em maio houve uma introdução de nutrientes na zona trofogênica (aumento do N dissolvido) resultando num aumento de B. Apesar da isotermia do epilímnio, a clorofila-*a* se encontra distribuída de modo bastante irregular. Isto concorda com os resultados tão diferentes do fracionamento da produção primária nos dois níveis amostrados (Tab. 27), e podem explicar a dicotomia do perfil obtido, devido ao potencial fotossintético diferente, produzido pela diferente composi

ção das populações.

A produção do microplâncton foi alta nessa ocasião. Os gêneros mais abundantes foram *Staurastrum* e *Chlamidomonas*, sendo que este último pode migrar a procura de melhores condições luminosas. O perfil de produção apresentou um pico de produção na superfície, cujo valor atingiu 11,85 $mgC^{-3}h.^{-1}$. O perfil de taxa de assimilação não apresentou inibição superficial, mas quando comparado com o de março, verifica-se que estas taxas foram bem mais baixas.

Em agosto, foi observada uma distribuição bastante irregular da clorofila-*a*, sendo que o perfil de produção acompanhou os picos daquela. A porcentagem de B_a/B foi alta nessa ocasião (80,4%), indicando um bom estado fisiológico do fitoplâncton; isto pode estar sendo favorecido pela presença de nutrientes, principalmente fosfatos, que aparecem em teores mais altos nessa ocasião. A ΣA foi a mais baixa das quatro coletas mas a radiação não foi muito alta e nem chegou a produzir inibição superficial. Nesta ocasião pôde ser constatado um florescimento de *Mougeotia*.

Em dezembro, houve uma queda na transparência da água. A produção primária esteve alta, com um pico subsuperficial. A radiação no período de incubação foi a mais alta observada, provocando esta inibição junto à superfície. A distribuição vertical da clorofila-*a* foi bastante irregular. O grande florescimento de *Mougeotia* provavelmente já se encontrava em declínio pois, apesar do "standing-stock" ainda elevado, a clorofila-*a* ativa, representou cerca de metade da clorofila total e o resultado do fracionamento da produção primária indica uma importância maior do nanoplâncton na produtividade.

3.3.3.2.5 - Jaguari

No Reservatório de Jaguari (Fig. 37*e*), em março, o perfil de produção apresenta-se dicotômico, com uma que—

da ao nível de 50% de penetração de luz, correspondendo às quedas de condutividade e concentração de OD. Estas descontinuidades são decorrentes de movimentos horizontais da água. A ausência de inibição superficial observada pode ser uma imagem relativa devido aos diferentes potenciais de produção das camadas de água, como é sugerido pelos resultados tanto de fracionamento, como das medidas de OD e condutividade. Estas diferenças podem ser decorrentes de diferenças na composição do fitoplâncton de cada camada. O fracionamento indicou um importância maior do nanoplâncton. A produção por unidade de área foi média.

Em maio, o perfil de produção apresentou valores mais baixos na superfície, mas o perfil de taxa de assimilação apresentou máximo superficial. A ΣA foi semelhante a março, apesar da transparência maior, mas nesta ocasião o céu esteve nublado. A distribuição homogênea da clorofila-*a* e o comportamento de plâncton de sombra observado , são característicos de situações de pós-circulação.

Durante a coleta de agosto, a ΣA representou menos da metade em relação aos meses anteriores, apesar da transparência ter sido a maior observada (Tab. 21). A relação B_a/B foi relativamente alta. A radiação não esteve alta neste período, o que permitiu um máximo superficial no perfil de produção. O fracionamento da produção a 25% de penetração de luz indicou o nanoplâncton como o responsável por praticamente toda a produtividade no ambiente.

Em dezembro, a produção primária foi a mais alta observada nesse reservatório. Apesar da termoclina bem estabelecida, havia nutrientes disponíveis e o fosfato inorgânico foi detectado em níveis muito elevados e incomuns. A concentração de clorofila-*a*, entretanto, esteve baixa e mesmo o aumento da taxa de produção não foi proporcional ao aumento do fosfato. O fracionamento indicou novamente uma importância maior do nanoplâncton na produção total e a cloro

fila ativa correspondeu a quase 100% da clorofila total.

3.3.3.2.6 - Santa Branca

O Reservatório de Santa Branca nunca apresentou valores muito altos de produção primária (Tab. 22*i*) ou de clorofila-*a* (Fig. 17*k*). Nas quatro coletas realizadas sempre se observou ausência de inibição superficial, tanto nos perfis de produção como de taxa de assimilação. Em três coletas pôde-se verificar forte estratificação térmica superficial (Fig. 20). Um pequeno declínio na taxa de produção foi observado durante o inverno, em agosto. Nas quatro coletas o fracionamento indicou que o nanoplâncton foi a fração mais importante para a produção primária do ambiente.

Em março, ocorreram máximos superficiais de produção e de taxa de assimilação apesar da insolação ser alta.

Em maio, o perfil de produção apresentou um pico subsuperficial, apesar da homogeneidade na distribuição da clorofila-*a* e o fracionamento também indicou uma certa homogeneidade nos resultados das duas profundidades amostradas. O nanoplâncton representou a parcela mais produtiva.

Na coleta de agosto, foi observada a menor produção primária, com tempo parcialmente nublado (Tab. 3). A clorofila-*a* foi baixa, assim como a relação B_a/B.

Em dezembro, apesar da biomassa em termos de clorofila-*a* não ser elevada, houve uma boa eficiência de assimilação. Nesta ocasião, a relação B_a/B foi um pouco mais alta e a produtividade por unidade de área foi a mais elevada neste ambiente.

3.3.3.2.7 - Pedro Beicht

No Reservatório de Pedro Beicht, em março, a distribuição da clorofila na água (Fig. 25*i*) esteve quase homogênea e com valores relativamente altos. O perfil de produção apresentou-se dicotômico devido a um efeito do acúmulo de biomassa na superfície, como pode ser verificado pelo perfil de taxa de assimilação. Este apresenta um pico subsuperficial, como seria esperado sob altas radiações. O acúmulo de clorofila-*a* foi ocasionado por células do nanoplâncton, como indicado pelo resultado de fracionamento. A ΣA foi a mais elevada dentre todas as coletas deste reservatório, atingindo o valor de 33,1 $mgC.m^{-2}.dia^{-1}$.

Em junho, ocorreram máximos superficiais dos perfis de produção e de taxa de assimilação. A contribuição do microplâncton foi maior nesta ocasião, sendo que os organismos mais abundantes desta fração foram do gênero *Melosira* e *Staurastrum*. A clorofila-*a* apresentou distribuição quase homogênea e concentração mais elevada que em março. A taxa de produção mais elevada na superfície se reflete na maior concentração de OD e mesmo numa pequena queda da condutividade neste nível.

Em agosto, o perfil de produção apresentou pico subsuperficial, sob radiação elevada. A biomassa foi um pouco mais baixa que nas coletas anteriores, assim como a produtividade. O valor do fracionamento a 25% de penetração de luz é bastante baixo, mas pode ser devido a um acúmulo do microplâncton neste nível. A análise da clorofila-*a* ativa indicou altas porcentagens em relação ao total.

Em dezembro foi observada a mais alta biomassa em termos de clorofila-*a* . A razão B_a/B apresentou novamente altas porcentagens e a produção primária não apresentou ini

bição superficial à radiação extremamente baixa, a qual certamente atuou como limitante para a produtividade nessa ocasião. Mesmo assim, na superfície foi observada uma taxa de quase 6,38 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$. Nesta ocasião, novamente o nanoplâncton representou a fração mais significativa na produção do fitoplâncton.

3.3.3.2.8 - Taiaçupeba

O Reservatório de Taiaçupeba (Fig. 37*j*), apresentou produção primária média nas quatro coletas realizadas. Entretanto, foram realizadas sempre sob tempo nublado (março, maio e dezembro) ou parcialmente nublado (agosto). O microplâncton representou uma fração considerável da produção primária (Tab. 27), em todas as coletas. Máximo superficial foi observado apenas em março, tanto no perfil de taxa de produção como de taxa de assimilação.

Em maio, o perfil de produção apresenta um formato dicotômico acompanhando os picos de distribuição da clorofila-*a*.

Na coleta de agosto, observa-se uma taxa de produção bastante alta a 10% de penetração de luz (próximo ao fundo), devido a um aumento da concentração de clorofila-*a* nesta profundidade (Fig. 17*ℓ*). A relação B_a/B esteve alta, ao contrário do que ocorreu na coleta de dezembro. Apesar disto, em dezembro a ΣA foi a mais alta das quatro coletas realizadas e o perfil de produção apresentou uma queda acentuada nas taxas a 25 e 10% de penetração de luz.

3.3.3.2.9 - Ribeirão do Campo

O Reservatório de Ribeirão do Campo, durante a primeira coleta, apresentou ΣA muito baixa, com tempo bastante nublado e chuvoso. O perfil de produção (Fig. 37h) apresenta o máximo junto à superfície, como seria esperado. O microplâncton foi a fração cuja contribuição à produção primária foi maior e esteve constituído basicamente pelos gêneros *Melosira* *Pediastrum*, (sendo os demais muito raros).

Na coleta de maio, com uma biomassa fitoplânctonica, em termos de clorofila-*a*, muito baixa, a produção foi baixa também, apesar da maior insolação e maior penetração de luz. Houve inibição superficial tanto das taxas de produção como de assimilação, e o ambiente se encontrava praticamente isotérmico. Nesta ocasião a fração mais importante na produção primária foi o nanoplâncton.

Em agosto, com ambiente estratificado, a clorofila-*a* continuou em baixas concentrações. Sob céu nublado e radiação baixa durante a incubação, o perfil de produção apresentou novamente um máximo superficial. A clorofila-*a* presente foi constituída apenas por clorofila-*a* ativa (Tab. 20). A contribuição do microplâncton não foi significativa tanto nessa coleta como em dezembro. Nesta ocasião, a taxa de assimilação foi a mais alta observada. Novamente verificou-se um máximo superficial de produção primária sob situação de estratificação, mesmo com radiação elevada.

3.3.3.2.10 - Cabuçu

O Reservatório de Cabuçu (Fig. 37c) apresentou sempre máximo de produção superficial, sendo que, em março e agosto, mesmo com alta insolação.

Em março, a ΣA foi a mais alta observada no ambiente e o nanoplâncton contribuiu com a parcela princi—

pal (Tab. 27). A taxa de produção ainda elevada a 1% de penetração de luz se deve a um acúmulo de clorofila-*a* nesta profundidade.

Durante a segunda coleta, o ambiente esteve quase isotérmico. A concentraçaõ de nitrato e amônia foi mais alta e a biomassa em termos de clorofila-*a* também. O perfil de produção apresentou um máximo pouco distinto; entretanto, o tempo esteve nublado e até chuvoso durante a incubação. Em conseqüência, observa -se uma leve tendência de máximo de produção junto à superfície. A ΣA foi a mais baixa observada e o microplâncton, constituído principalmente pelos gêneros *Mougeotia* e *Staurastrum*, foi responsável pela maior contribuição.

Durante a coleta de agosto, havia certa estratificação e a penetração de luz foi das mais altas observadas. Apesar dos níveis de nutrientes continuarem semelhantes a maio, a clorofila-*a* diminuiu bastante. A taxa de produção junto à superfície foi a mais alta, apesar da radiação média-alta no período de incubação. O fenomeno ocorreu em presença de uma leve estratificação, que delimitava um epilímnio de cerca de 4 m. Na superfície, houve certa contribuição do microplâncton na produção primária e, ao nível de 25% de penetração de luz, esta participação foi praticamente nula. As relações B_a/B foram médias em todos os níveis amostrados (Tab. 20).

Em dezembro, apesar da radiação muito alta, não chegou a haver inibição superficial na taxa de produção ou na taxa de assimilação. Novamente foi observada estratificação térmica, mesmo que pouco acentuada e, também neste caso, houve uma diferença na participação relativa ente nano e microplâncton na superfície e a 25% de penetração de luz, com uma concentração do nanoplâncton nesta profundidade. Novamente a relação B_a/B não foi alta.

4 - DISCUSSÃO

4.1 - Padrões de circulação:

Nos lagos monomícticos quentes, o desenvolvimento da estratificação de verão é promovido pelo aumento da radiação solar. A circulação ocorre de modo mais ou menos contínuo do outono até a primavera.

Os Reservatórios de Paraibuna, Atibainha e Cachoeira, apresentaram características de ambientes monomícticos, apesar de que classificaçãoes definitivas demandariam maior número de coletas por ano e vários anos de observação.

Reservatórios do tipo monomíctico quente são bastante característicos (mas não exclusivos) de regiões subtropicais, tais como certas áreas Austrália, da Nova Zelândia e da Tasmânia (Bayly & Williams, 1973).

Vários fatores contribuem para o estabelecimento deste padrão nos reservatórios estudados. Estão situados em faixa de transição climática, de tropical para subtropical, com diferenças mais nítidas entre inverno e verão. Assim sendo, durante o inverno, com temperaturas relativamente mais baixas, ocorre a desestabilização da estratificação anterior. Durante o início da época mais quente, o aquecimento das camadas superficiais isola o hipolímnio, o qual, segundo Beadle (1974), tende a manter as temperaturas médias do inverno anterior.

A temperatura dos hipolímnios de lagos é função da latitude e da altitude em que se encontram. A temperatura média do hipolímnio dos reservatórios estudados é cerca de 15°C mais elevada do que em lagos temperados, e o consumo de oxigênio cerca de 3-4 vezes mais rápido, de acordo com a relação de van't Hoff.

Ruttner (1931) estudando 15 lagos tipicamente tropicais em Java, Sumatra e Bali observou que as temperaturas do hipolímnio estiveram entre 20,1° e 27,0° e a diferença entre superfície e fundo não excedeu 5,5°C.

Os reservatórios estudados, estão situados em latitudes um pouco superiores e altitudes inferiores às dos lagos de Ruttner. As temperaturas do hipolímnio estiveram entre 15,0 e 25,0°C, por tanto um pouco mais baixas, como seria esperado. As diferenças entre superfície e fundo também foram um pouco maiores.

Outro aspecto importante é que estes reservatórios se encontram no interior de bacias fechadas, isto é, circundadas por morros. Isto irá influir na efetividade da ação dos ventos como agente promotor de circulação. A própria profundidade, com massas de água de diferentes densidades aumenta a resistência contra a ação dos ventos, permitindo um longo período de estratificação.

No Reservatório de Paraibuna, o tempo de retenção excepcionalmente longo, aliado ao fato da tomada de água ser relativamente alta, contribuem para a estabilidade térmica do sistema.

Neste reservatório, ocorre um abaixamento da termoclina entre a primeira e a segunda coletas. Entre estes dois períodos, a termoclina deve ser ter sofido oscilações, mas a amplitude das mesmas não deve ter sido muito grande, como é evidenciada pela espessa camada de H_2S persistente. A posição da fronteira de anoxia é determinada por um balanço entre a taxa pela qual ela tende a ser erodida pela turbulência e misturada com águas oxigenadas do epilímnio e a taxa pela qual o oxigênio está sendo consumido pela decomposição de matéria orgânica. De qualquer forma, a tendência destas oscilações é em direção ao abaixamento da termoclina e oxiclina pelo resfriamento do epilímnio

causado pelas primeiras frentes frias que começam a surgir nessa ocasião.

A queda na concentração de OD observada durante a coleta de agosto em toda a coluna de água, principalmente nas Estações Paraibuna e Paraitinga, pode ser explicada por uma diluição do oxigênio, existente anteriormente no epilímnio, por toda a massa de água. Além disso, parte desse OD deve ter sido consumido na oxidação do H_2S.

A mortandade de peixes mencionada por pescadores nessa época, provavelmente foi causada pela emergência das águas estagnadas do hipolímnio durante a circulação, que apresentavam baixas concentrações de OD e talvez liberação de H_2S. Ruttner (*op. cit.*) relatou mortandades de peixes freqüentes em lagos profundos do leste da África e Indonésia e Beadle (*op. cit.*), relacionou estes fatos com fenômenos semelhantes, provocados por tempestades ou talvez por ondas internas (seiches), que levam águas anóxicas a níveis onde podem sofrer misturas com águas da superfície.

Durante o inverno, a queda da temperatura da água superfial facilita a ação dos ventos. As estratificações neste período são fenômenos de ciclo diário, formadas pelo aquecimento diurno e destruídas durante a madrugada pela irradiação do calor.

Durante o verão também podem ocorrer estratificações superficiais mas as transformações diárias que ocorrem neste caso, não chegam a afetar a termoclina principal.

Em lagos tropicais a definição de termoclina não é simples como em lagos temperados. Como a densidade da água diminui cada vez mais rapidamente com o aumento da temperatura a partir de 4°C, num lago tropical um gradiente de menos de um grau por metro é suficiente para manter a estabilidade. Por outro lado, uma leve queda na tempera—

tura pode provocar o gradiente reverso, desfazendo a estratificação e provocando uma instabilidade maior num lago tropical do que num lago temperado. Diversos autores, como Baxter *et al.*, (1965), Talling (1969), Lewis (1973) e Rodhe (1974) discutem esse problema. Viner (*op. cit.*) considera diferenças de 0,5°C entre epi e hipolímnio para o lago Volta; Rodhe (1974) cita diferenças muito menores que um grau, sem estabelecer um valor. Lewis (1973) sugere que é importante considerar a persistência da diferença de temperatura e sua capacidade em isolar as massas de água efetivamente. Esta condição pode ser verificada através da estratificação acentuada nas condições químicas, principalmente pela distribuição da condutividade e do oxigênio dissolvido.

Ganf & Horne (1975) salientaram que as regiões tropicais apresentam grande variedade de sistemas aquáticos e que, dependendo das características locais, o comprimento do ciclo limnológico predominante pode ser governado pelo período de uma mudança estacional (p. ex: Lago Victória, Talling, 1966) ou por um regime diário, quando o ciclo é de aproximadamente 24h (Lago George, Viner & Smith, 1973). No caso do Lago George, os autores observaram que as variações diárias são mais importantes que as sazonais devido à pouca profundidade e aos fortes ventos locais que induzem a uma circulação quase que diária da coluna de água.

Segundo estes autores, como nas regiões tropicais as estações do ano não são claramente distintas, os ciclos limnológicos, que são determinados pelo regime de iluminação, temperatura, precipitação e concentração de nutrientes, também não são tão definidos, apresentando longas estações de crescimento e valores de radiação e temperatura geralmente acima dos níveis limitantes.

Dentre os reservatórios estudados, a maioria apresenta padrões de circulação determinados por variações sazonais, mas como será discutido é provável que em alguns reservatórios ocorram modificações dominadas por variações diá-

rias, embora não haja dados de períodos de 24 horas de observações.

Nos Reservatórios de Atibainha e Cachoeira, os fatores que contribuem para a monomixia são semelhantes aos de Paraibuna. Apesar de menos profundos, os dois apresentam a tomada de água próxima à superfície através de uma "tulipa" junto à barragem e um vertedouro próximo ao fundo apenas para garantir um fluxo mínimo a juzante. As altas concentrações de O.D observadas após a circulação em Cachoeira, se devem à pequena profundidade do hipolímnio, o que permite uma diluição menor do O.D presente no epilímnio pelo volume total de água, de modo inverso ao que ocorre em Paraibuna. O tempo de retenção deste reservatório não é muito longo mas é suficiente para manter a estratificação por um longo período, pelo menos no corpo central, onde se localiza a estação de coleta.

Principalmente durante a estação seca, a corrente principal no reservatório não é em direção à barragem e sim ao braço lateral que o liga a Atibainha. Em conseqüência, este fato deve estar contribuindo para a estabilidade térmica do corpo central. No futuro, este reservatório irá receber um fluxo de água muito grande, o que irá reduzir ainda mais seu tempo de retenção e provavelmente alterar o padrão de circulação, tanto deste reservatório como de Atibainha.

Dois outros reservatórios, Jaguari e Santa Branca, apresentaram diversas características que podem favorecer a monomixia, tais como suas grandes profundidades e bacias relativamente protegidas. A análise do comportamento dos íons e nutrientes na coluna de água traduz um comportamento semelhante ao dos reservatórios anteriores. Entretanto, ambos são reservatórios de controle de vazão, o que justifica a dificuldade de interpretação dos seus padrões de circulação dentro de tipos característicos.

Santa Branca, atualmente, tem por finalidade apenas o controle do nível do Rio Paraíba do Sul, a juzante de Paraibuna e Paraitinga; em conseqüência, seu próprio nível flutua bastante durante o ano e seu tempo de retenção é relativamente curto (Tab. 2). Parece apresentar uma tendência à monomixia mas, as variações de nível a que está submetida, seu fluxo rápido, aliado à saída inferior da água provocam instabilidade térmica.

O Reservatório de Jaguari, utilizado para geração de energia elétrica e controle de vazão, também possui uma tomada de água inferior para as turbinas e um vertedouro livre. Este reservatório, bastante grande, tem um longo tempo de retenção e mostra também um tendência à monomixia, evidenciada pela longa estratificação de verão que permitiu a produção de espessa camada de H_2S (março). Mas também apresentou instabilidade térmica pois logo com as primeiras frentes frias (maio), o reservatório já havia circulado integralmente (ausência de H_2S).

As flutuações na condutividade apresentadas por este reservatório e por Santa Branca em algumas ocasiões (correntes de densidade), são típicas de misturas horizontais e geralmente ocorrem em situação de forte estratificação vertical, quando a mistura neste sentido é dificultada pelas diferenças de densidade. Entretanto, mesmo no epilímnio isotérmico de Jaguari, em março, verifica-se o predomínio das misturas horizontais.

Estes reservatórios necessitam de um acompanhamento mais intensivo e prolongado para uma melhor compreensão de seu regime de vazão e circulação.

Ao contrário dos anteriores, os reservatórios polimícticos estudados são bem mais rasos e situam-se em locais menos protegidos da ação dos ventos. Em reservatórios muito rasos, como é o caso de Taiaçupeba, não existe uma

camada de água abaixo daquela que sofre uma estratificação diária pelo aquecimento do sol. Em conseqüência, a estratificação não é suficiente para resistir aos ventos normais. Neste caso o reservatório pode apresentar um ciclo limnológico diário, como é o caso do Lago George (Viner & Smith, 1973). Por outro lado, pode permanecer estratificado durante períodos quentes e sem ventos.

Outro reservatório que está submetido a misturas freqüêntes é Ribeirão do Campo. Neste ambiente, as altas precipitações a que está submetido (encontra-se na região de maior pluviosidade do Estado) devem exercer importante papel na sua circulação, além de colaborar para manter baixas as concentrações de íons.

Também em Pedro Beicht e Cabuçu podem ocorrer períodos de estratificação durante o verão, mas suas pequenas profundidades não permitem a formação de um hipolímnio estável e a termoclina pode ser destruída por tempestades que são comuns nessa época do ano.

No Reservatório de Americana, Froehlich *et al.* (1978) mostraram que a instabilidade da estratificação devia-se principalmente à influência das "frentes frias" no inverno e ao aumento do afluxo das águas do rio, no verão . Os autores verificam que uma termoclina mais nítida e um período mais estável de estratificação ocorreriam na estação seca, quando as "frentes" fossem menos freqüêntes e menos intensas e o tempo de retenção fosse maior. A influência das "frentes frias" descrita em Americana por Froehlich *et al.*, (op. cit), foi, no presente trabalho, detectada em algumas ocasiões.

A ausência de oxigênio junto ao fundo, mesmo em situações de isotermia, se deve ao estado de eutrofização deste ambiente, o que provoca a contínua deposição de seston no substrato. Em conseqüência, há um grande consumo do OD

presente em processos de oxidação biológica ou química.

Carvalho, (1975) observou que num período de 5 anos (1969-1974) as médias anuais de DBO em amostras de água da superfície desse reservatório cresceram continuamente, e que, várias vezes, o DBO_{5d} 20°C foi maior que 5,0 $mg.l^{-1}$, limite máximo aceitável para águas de abastecimento (Rocha *et al.*, 1972).

Certamente, tanto os processos químicos como biológicos foram favorecidos pelas altas temperaturas da água junto ao fundo. Este estado de eutrofização propicia uma alta produtividade primária (como de fato foi constatado através de experimentos com ^{14}C), a qual é responsável pelos elevados teores de OD na superfície. A eutrofização do reservatório também é refletida na condutividade elevada, que sofre um aumento ainda maior pela concentração, durante a estação seca (agosto).

4.2 - Parâmetros físicos e químicos: efeitos do padrão de circulação.

O padrão de circulação dos reservatórios atuará diretamente sobre uma série de fenômenos físico-químicos que, por sua vez, interferem nos processos fisiológicos das comunidades, particularmente nos processos de produção.

Com relação à luz, a sua penetração na água depende, além da atenuação pela própria água, de substâncias coloridas em solução ou de partículas em suspensão (Hutchinson, 1957). Estas, podem ser constituídas de material vivo e não vivo. Dentre aqueles, o fitoplâncton é a fração de maior importância.

O material não vivo pode ser proveniente do material carreado pela bacia de drenagem. Este tipo de atenuação, portanto, ocorre tipicamente durante a estação chuvosa e parece ser o caso dos Reservatórios de Americana, Cabuçu, Jaguari e Ribeirão do Campo, pelos resultados das leitura do disco de Secchi. Entretanto, a análise da relação entre o coeficiente de extinção vertical mínimo (ϵ_{mim}) e a concentração de clorofila-*a* na zona eufótica apresentou um valor de r alto, o que sugere que a biomassa em termos de clorofila-*a* (que também é mais alta no verão) é um importante fator determinante da extinçaõ da luz na água, nesta época do ano.

O material não vivo, em outras ocasiões, pode ser proveniente também da ressuspensão de material do fundo, provocada pela ação dos ventos. Ganf (1974) observou este fenômeno no Lago George. Este lago possui menos de 3,0 m de profundidade e, portanto, é bastante semelhante ao Reservatório de Taiaçupeba. Devido à pouca profundidade, o substrato, nestes ambientes, está sujeito à ação diária dos ventos.

A ressuspensão do material de fundo pode ocorrer também durante a circulação de inverno, permitida pela isotermia da coluna de água que facilita a ação dos ventos . Esta parece ser a causa da queda de penetração de luz nas Estações Paraibuna e Paraitinga em agosto.

Aparentemente, mesmo uma atelomixia pode provocar uma queda na transparência, devido à ressuspensão do sedimento das margens. Este é o caso dos Reservatórios de Atibainha e Cachoeira, em maio, após as primeiras frentes frias. A penetração de luz em agosto, após a circulação, não foi muito pequena nestes reservatórios porque a circulação não era recente, ambos já se encontrando estratificados novamente.

Os outros reservatórios (Pedro Beicht e Santa Branca) não apresentaram padrões típicos, e a causa principal da queda na penetração de luz não ficou evidente, sendo, provavelmente, devida a uma combinação dos fatores citados.

Com relação ao pH e à alcalinidade , não foram medidos no hipolímnio dos reservatórios mais profundos.

O pH é amplamente utilizado como uma característica geral da água. Segundo Mackereth *et al.*, (1978), seu valor a esse respeito pode ser ampliado se conhecermos também a alcalinidade, posto que o pH de equilíbrio ar - água irá crescer com o aumento da alcalinidade. Para estes autores, a alcalinidade é, talvez, a medida que isoladamente fornece o maior número de informações sobre o ambiente, pois está diretamente relacionada a características gerais importantes, como conteúdo iônico total (e portanto condutividade), concentração de cálcio (exceto em águas com alcalinidade > 5 meq/l) e pH. Os valores deste último, em amostras em equilíbrio com o ar, são provavelmente próximos a 7, para uma alcalinidade de 0,1 meq/l, e aumentam cerca de 1 unidade de pH para cada 10 vezes o aumento da alcali-

nidade (Mackereth *et al.*, *op. cit.*). A variabilidade natural do conteúdo de CO_2 livre, no entanto, produz desvios consideráveis sobre esta relação ideal. Assim, um alto pH pode indicar uma alta alcalinidade, considerável depleção de CO_2 por fotossíntese, ou ambos.

No caso de Americana, por exemplo, os valores mais baixos de alcalinidade ocorreram em maio, quando o pH esteve próximo da neutralidade em toda a coluna de água. Nesta ocasião, o CO_2 livre junto à superfície foi o mais alto observado, correspondendo a uma inibição da produção primária neste nível. Inversamente, valores mais baixos deste gás ocorreram na superfície, em março, agosto e dezembro, coincidindo com picos de produção primária e indicando depleção de CO_2 pela atividade fotossintética.

Nesta situação o equilíbrio da reação do sistema CO_2 é deslocado:

$$H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons 2H^+ + CO_3^{--}$$

com conseqüente aumento do CO_3^{2-}. Este, portanto, terá sempre um comportamento inverso ao do CO_2 livre.

Entretanto, como as águas dos reservatórios estudados são pouco alcalinas, existe menor tendência à dissociação do CO_2. Por isto, muitas vezes o CO_3^{2-} ocorre em quantidades insignificantes, como por exemplo, em Ribeirão do Campo, onde praticamente todo o CO_2 disponível encontra-se sob forma de CO_2 livre.

Nesta situação, mesmo uma pequena quantidade de H_2CO_3 dissociado pode provocar um abaixamento do pH.

A tendência ao aumento do CO_2 livre em direção ao fundo sugere também a ocorrência de atividade bacteriana que, agindo na interface água-sedimento, provoca alterações

no sistema CO_2. Entretanto, não se sabe ao certo quanto do fitoplâncton é mineralizado no hipolímnio. Ohle (1962, 1964, 1968 *in* Golterman, 1975) sugere que 90% da matéria orgânica morta seja oxidada já no epilímnio, mas existem poucas evidências experimentais desse fato. De qualquer forma, as elevadas temperaturas do hipolímnio nos reservatórios devem contribuir para que parte da oxidação ocorra mesmo antes do material em suspensão atingir o substrato.

Estas atividades devem ser muito importantes no Reservatório de Paraibuna. Infelizmente não foram feitas medidas de alcalinidade e CO_2 no hipolímnio durante o período de estagnação. Entretanto, após a circulação, em agosto, a elevada quantidade de CO_2 livre no epilímnio indica a produção deste gás em grande quantidade. Estes fatos, aliados à produção de H_2S e baixa produtividade primária, sugerem a importância que a atividade heterotrófica deve exercer nesse ambiente. Estes resultados, portanto, são importantíssimos no delineamento de um novo projeto de pesquisa que vise dar continuidade aos estudos neste reservatório.

O Reservatório de Ribeirão do Campo também apresentou CO_2 livre em altas concentrações, principalmente nas três últimas coletas. É interessante notar que, apesar das concentrações relativamente baixas de HCO_3^-, em comparação com Paraibuna por exemplo, o pH neste ambiente se apresentou sempre mais ácido, devido à baixa alcalinidade de suas águas e à pequena taxa de produção primária.

É possível que a presença de ácidos orgânicos também esteja contribuindo para esta situação, Wilson (1979) verificou que a matéria húmica não apresenta boas qualidades como tampão em ambientes aquáticos, mesmo quando presentes em altas concentrações (10 $mgC.h^{-1}$). No caso dos reservatórios aqui estudados, a matéria húmica não foi dosada mas a coloração marrom das águas de Ribeirão do Campo e

Paraibuna (em algumas profundidades) sugere a presença de tais substâncias. Além disso, este autor constatou a interferência provocada nas determinações titrimétricas de carbono inorgânicos em águas naturais, provocando uma superestimativa do carbono inorgânico, podendo afetar as estimativas da produção primária.

Pedro Beicht apresenta alcalinidade e condutividade muito semelhantes a Ribeirão do Campo, Entretanto, neste ambiente não foram observadas altas concentrações de CO_2 livre. No entanto, sua produtividade foi bem mais elevada que a do anterior e podemos considerar que esteja ocorrendo um consumo maior de CO_2 livre relativamente a Ribeirão do Campo, pois mesmo os pHs, neste caso, estão cerca de uma unidade mais elevados. Devido à condutividade extremamante baixa deste ambiente e, consequentemente, seu fraco tamponamento, é provável que o pH deste reservatório sofra grandes flutuações diárias em função da fotossíntese (que é elevada) e respiração dos organismos. Este também é um aspecto interessante e que deverá ser estudado futuramente.

O Reservatório de Cachoeira apresentou o mais elevado pH durante a coleta de agosto, atingindo 9,1 ao nível de 0,8 m. Ao mesmo tempo o CO_2 livre apresentou a concentração mais baixa observada, evidenciando alta atividade fotossintética e levando a um novo equilíbrio do sistema CO_2, em direção ao CO_3^{2-}.

Com relação aos outros reservatórios, os pHs são mais próximos da neutralidade, apesar de se encontrarem em bacias formadas por solos ácidos, como dito anteriormente, e que são a causa principal de suas baixas alcalinidades.

A composição das águas de rios e lagos naturais depende de uma variedade de fatores geológicos, físicos, químicos e biológicos, tais como a composição da água da chuva

na bacia, o tipo e composição das formações geológicas no ambiente, as trocas que ocorrem entre a água e os solos ou os sedimentos orgânicos e inorgânicos, através ou sobre os quais a água está fluindo, e das propriedades quelantes e solubilizadoras dos produtos de origem biológica (Visser , 1974). No caso dos lagos artificiais, podemos supor que os mesmos fatores estejam influindo, se bem que sua dinâmica coloquem-nos em situação intermediária entre um rio e um lago natural.

Assim, o padrão de circulação dos reservatórios exerce muita influência sobre o comportamento dos íons presentes. A existência de hipolímnios anóxicos, muitas vezes com H_2S, pode provocar transformações bioquímicas com a formação de compostos solúveis ou insolúveis. Essas transformações são mais efetivas principalmente com relação ao ferro, manganês, sulfato e bicarbonato.

O ferro é encontrado sob forma solúvel (reduzida) apenas em águas neutras ou ácidas (pH abaixo de 7,7), pobres em oxigênio, como o hipolímnio de lagos estratificados antes da formação de H_2S (Cole, 1979). Quando ocorre a formação deste gás, entretanto, há produção de ferro insolúvel, na forma de FeS. No caso de não haver formação do gás, o ferro também precipita durante os períodos de circulação da água , quando o oxigênio é introduzido e oxida o Fe^{++} a Fe^{+++}.

O manganês é um metal que pode ser encontrado em quatro estados de valência na natureza. As formas mais solúveis são sempre as mais reduzidas e, portanto, apresentam um comportamento semelhante ao do ferro. Entretanto , os limites de solubilidade são diferentes, podendo-se encontrar manganês, na forma solúvel, em águas com níveis um pouco mais altos de OD (Cole, *op. cit.*) .

Em conseqüência, um ambiente que sofre uma circulação anual, o manganês pode ser encontrado em solução mais

cedo do que o ferro, logo no início da estagnação, e até mais tarde do que este, depois do início da circulação. Além disso, durante a época em que há produção do H_2S, o manganês reage com este gás, produzindo MnS, mas este sal é solúvel, ao contrário do FeS.

Este comportamento é concordante com os resultados obtidos nas Estações de Paraitinga e Félix Guisard, em maio, e Atibainha, em maio e dezembro, que apresentaram altas concentrações de manganês junto ao fundo, a despeito da presença de H_2S.

As concentrações mais elevadas de manganês em Paraibuna, durante a coleta de agosto, podem ser explicadas pelos mesmos processos que permitiram os altos valores de ferro dissolvidos nessa ocasião.

No caso dos reservatórios polimícticos, onde são menos freqüêntes os baixos teores de OD, o manganês é encontrado normalmente em baixas concentrações.

Com relação ao ferro, os aumentos observados durante a primeira coleta, em vários reservatórios, ao nível da termoclina, coicidentes com baixas concentrações de OD e ausência de H_2S, provavelmente ocorrem devido à redução e solubilização de fases férricas suspensas, como sugerido por Lahan (1977) para explicar fenômenos semelhantes no topo hipolímnio do Lago Clear. Nessas situações, seria de se esperar que, junto ao fundo, as concentrações tornassem a cair devido à presença de H_2S. E é realmente o que se observa na coleta de maio, nos reservatórios monomícticos , quando se obteve dados dessa profundidade.

Os altos teores de ferro observados no epilímnio de Paraibuna, após a circulação, podem ocorrer devido a vários fatores: em primeiro lugar, o ambiente realmente é rico com relação a esse elemento (Tabs 12*f*,*g* e *h*), o que não parece ser o caso de outros reservatórios; além disso, nessa

ocasião ocorrem fenômenos que favorecem a solubilização deste elemento: há uma queda nas concentrações de oxigênio (já discutida) e pH; é possível também, que o ferro esteja sendo mantido na água sob forma quelada (Nakata & Kwabara, 1977), pois apesar de não terem sido feitas dosagens de ácidos húmicos, a coloração da água filtrada e as grandes quantidades de sulfato observadas nesse reservatório nessa ocasião, indicam a presença de matéria orgânica dissolvida, que poderia atuar como quelante. A própria turbidez observada, principalmente na Estação Paraibuna, não permitia uma fotossíntese eficiente que provocasse a produção de OD e elevação do pH. Na Estação Félix Guisard a situação foi menos acentuada porque este ponto apresentava maior penetração de luz, concentrações mais altas de OD e pH mais elevado; na Estação Paraitinga a situação foi intermediária. Este gradiente de situações sugere também que a circulação tenha ocorrido há mais tempo em Félix Guisard (menos profunda), posteriormente em Paraitinga e finalmente em Paraibuna.

No Reservatório de Atibainha, a ausência de ferro após a circulação parece que se deve mais à pobreza real deste íon no ambiente (Tab. 12*b*) do que a outras condições, pois mesmo junto ao fundo, em agosto, com ausência de OD e H_2S não foi detectado ferro.

Em Cachoeira, esta já não é a causa das baixas concentrações de ferro após a circulação. Nesta época havia cerca de 50% de saturação de oxigênio, mesmo junto ao fundo. Além disso foram observadas elevações das concentrações de ferro ao nível do topo do hipolímnio, em março e maio, indicando que este elemento está presente no sistema.

Também no caso do Reservatório de Pedro Beicht não se pode afirmar que o ambiente seja pobre em ferro, devido ao fato de que, em todas as ocasiões, altas porcentagens de saturação de OD tenham sido observadas até próximo do fundo.

Santa Branca, assim como Paraibuna, também apresenta teores de ferro elevados após a circulação, juntamente com pH mais baixo, o que permite a solubilização deste elemento a partir de formas férricas contidas no sedimento. Entretanto, também nesse caso, é provável que existam quelantes no ambiente, em vista das altas porcentagens de saturação de oxigênio na ocasião, favoráveis à precipitação do ferro. Estes quelantes poderiam, em parte, ser provenientes do próprio Reservatório de Paraibuna.

Também em Ribeirão do Campo é provável que os quelantes estejam exercendo importante papel no metabolismo do ambiente. A presença de tais substâncias é sugerida de várias maneiras: as águas apresentaram sempre uma forte coloração castanha mesmo após filtradas e, como o reservatório é circundado por matas, isto sugere a presença de matéria orgânica que estaria sendo lixiviada das margens pela ação das chuvas freqüentes; a alcalinidade esteve sempre muito baixa e a pobreza de nutrientes (principalmente fósforo) resulta geralmente numa baixa produtividade, o que contribui para manter o pH da água abaixo da neutralidade; os altos teores de sulfato observados, em conseqüência, devem ser provenientes principalmente de matéria orgânica alóctone.

Nestas condições, o ferro, apesar de existir em baixas concentrações, pode permanecer em solução, como ocorre no Lago Shinsei (Nakata & Kuwabara, *op.cit.*). Visser (1974) cita também que, em ambientes tropicais, a matéria orgânica dissolvida pode ser responsável pela pobreza em cálcio das águas, devido a seus poderes de troca iônica.

No Reservatório de Taiaçupeba, as quantidades de ferro dissolvido também não são muito altas mas, mesmo assim, são aparentemente inexplicáveis, em vista das porcentagens de saturação de OD e pH observados, sempre favoráveis à precipitação. A possibilidade da existência de

ácidos húmicos atuando como quelantes não deve ser descartada neste ambiente: os teores de sulfatos são relativamente altos e podem ser decorrentes da oxidação da matéria orgânica vegetal previamente existente e recoberta durante o preenchimento, ou mesmo de fontes poluidoras.

Em Americana, como o ambiente é bastante eutrofizado, o OD diminui rapidamente no fundo, nos períodos em que estratificada, possibilitando a ressolubilização do Fe^{++}, o que se torna evidente pelo aumento das concentrações do mesmo logo acima da interface água-sedimento, que foi observado em todas as coletas.

Com relação aos outros íons estudados, são dignos de nota os teores elevados de sódio e cloreto observados em Americana e Ribeirão do Campo, se bem que de origem bastante diferente. Em Americana, devem-se à introdução do NaCl proveniente dos resíduos domésticos das cidades a montante no Rio Atibaia e, em Ribeirão do Campo devem-se aos aerossóis de origem marinha, que carreiam o NaCl até o topo da Serra do Mar, num processo semelhante ao que ocorre nos lagos da Austrália (Bayly & Willians, 1975).

Outros íons estudados devem ser cuidadosamente analisados principalmente com relação às suas proporções.

A maior parte das regiões temperadas apresenta o cálcio e o bicarbonato como íons dominantes nas proporções entre cátions e ânions (Wetzel, 1975):

Cátions: $Ca > Mg \geq Na > K$

Ânions : $CO_3^* > SO_4 > Cl$

Na Austrália, em algumas regiões estas proporções apresentavam desvios principalmente em relação ao Na e Cl, devido às bacias de drenagem percorrerem rochas ígneas (Williams & Wan, 1972):

* CO_3 representando HCO_3^- e CO_3^{--}

Cátions: Ca>Na>Mg>K

Ânions : $Cl \geq SO_4 > CO_3$

Nestes casos, a salinidade é geralmente menor que 50 $mg.\ell^{-1}$ e há uma tendência à diminuição de carbonatos e aumento dos haletos.

Visser (1974) apresenta a composição de trinta e três grupos de lagos e rios da África, geoquimicamente relacionados. Dentre estes, os dados de condutividade média disponíveis variam de 22,1 $\mu mho.cm^{-1}$ ($=\mu S.cm^{-1}$) no Rio Konkoure e afluentes (Guiné) a 97.066 $\mu mho.cm^{-1}$ nos lagos salinos do leste africano, no Quênia e Tanzânia.

Um dos lagos que mais se aproxima, em termos de condutividade, a vários dos reservatórios deste trabalho é o Lago Nabugabo (Uganda) com condutividade de 25$\mu mho.cm^{-1}$. Seus teores (em ppm) de Na(2,0), k(2,6), NH_4(0,1), Ca(0,5), Mg(0,1), Mn(0,0), Fe(0,1), Al(0,0), Cl(0,8), NO_3(0,3), e SO_4(1,7) são próximos aos de vários reservatórios (p. ex.: Ribeirão do Campo), mas seu pH é ainda mais baixo: 4,7 . Além disso, suas proporções iônicas também são semelhantes, com concentrações relativamente baixas de cálcio.

Vários destes lagos apresentam condutividade e pH próximos aos de Americana: Lago George (172 $\mu mho.cm^{-1}$ e pH 9,0) e vários outros de origem vulcânica no leste africano (Uganda) (182,1 $\mu mho.\ cm^{-1}$ e pH 8,0). Entretanto , as proporções catiônicas nestes casos apresentam Ca>Na > $Mg \geq K$.

O Lago Victoria (Uganda) com condutividade de 96,8 $\mu mho.cm^{-1}$ e pH 7,8, apresenta maior teor de sódio do que de cálcio e pode ser considerado intermediário entre Taiaçupeba e Americana.

A maioria das águas nesses ambientes é rica em

magnésio e muito pobre em manganês, que só aparece como traços; a maioria apresenta também valores de ferro semelhante aos obtidos neste trabalho. As proporções aniônicas também são geralmente semelhantes.

Americana apresenta a concentração absoluta de cálcio mais alta, devido principalmente ao fato de estar situada em região de rochas básicas, mais ricas neste elemento, e do rio represado percorrer áreas agrícolas, que contribuem com cálcio proveniente das calagens para correção do solo. No entanto, mesmo neste reservatório, a proporção catiônica é dominada pelo sódio, devido à poluição orgânica a que está submetido.

Silva (1980), estudou quatro lagos da região do Pantanal do Mato Grosso e verificou que suas condutividades variaram entre 4,8 e 36,4 $\mu S.cm^{-1}$ nos meses de seca e cheia. O autor apresenta também uma tabela com dados comparativos de outras regiões tropicais, inclusive do Amazonas (Lagos Cristalino, Tarumã Mirim, Jacaretinga, Castanho e Redondo que apresentam condutividade entre 4,1 e 62,2 $\mu S.cm^{-1}$) e de Minas Gerais (Lago D. Helvécio, Lagoa Bonita e Carioca e Represa Belgo-Mineira com condutividade entre 23,9 e 170,35 $\mu S.cm^{-1}$).

Nos lagos estudados no Pantanal, as concentrações de cátions obtidas seguem as proporções:

$K \geq Na > Ca > Mg$: Recreio

$Na > Ca > Mg > K$: Buritizal

$Na > Ca = K > Mg$: Chacororé

$Na \geq Ca > K > Mg$: Sá-Mariana

Portanto, em três lagos do Pantanal as proporções são semelhantes às obtidas nos reservatórios deste trabalho.

No Lago D. Helvécio, Pontes (1980) (Tab. 30) também obteve o sódio como o cátion dominante, seguido do potássio, com o cálcio como terceiro ou quarto cátion em importância.

Barbosa & Tundisi (1980) obtiveram proporções semelhantes na Lagoa Carioca, apesar de que Tundisi *et al.*, (1978*b*) tivessem observado o cálcio como cátion dominante na região do Vale do Rio Doce.

Em 1977, Tundisi observou diferenças muito pequenas entre os diversos íons no Reservatórios do Lobo, em Itirapina SP.

Entretanto, lagos da região Amazônica, como o Lago do Castanho (Schmidt, 1973), apresentaram o cálcio como o íon existente em maior concentração.

Estes fatos sugerem que, pelo menos na região centro-sudeste(São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul), o predomínio de sódio na proporção entre os cátions é comum e, quando comparados com os lagos da África (Visser, *op.cit.*), verifica-se que isto se deve mais às baixas concentrações de cálcio do que a um aumento relativo nas de sódio, o que deve estar refletindo, basicamente, as condições edáficas das bacias.

As proporções aniônicas, ao contrário, estiveram dentro do esperado, de um modo geral.

Analisando-se as formas de carbono inorgânico, verifica-se que este se encontra principalmente sob a forma de bicarbonato. Os carbonatos, quando presentes, foram detectados principalmente no epilímnio dos reservatórios, devido aos processos de fotossíntese que retiram o CO_2 da água, aumentando o pH e deslocando o equilíbrio da reação em direção ao carbonato. No hipolímnio, em presença de á-

cido carbônico a reação é deslocada em sentido inverso.

O sulfato é outro dos íons mais importantes nos corpos de água. Neste estudo, o sulfato dosado incluiu sulfatos e enxofre proveniente das formas mais reduzidas: SO_3^{--}, SO_2^{--} e S^{--}, esta última principalmente sob forma de H_2S, quando este gás estava presente na água. Portanto, nos reservatórios de Paraibuna, Atibainha e Cachoeira, o aumento do teor de sulfato no fundo, nos períodos de estagnação, são indicadores da presença de H_2S, detectado também olfativamente.

Em Paraibuna, por exemplo, o H_2S foi encontrado ocupando até 4/5 da coluna de água e uma ocorrência tão grande desse gás dificilmente poderia ser explicada como devida apenas à decomposição de matéria orgância autóctone. A maior parte provavelmente é originária da decomposição da vegetação terrestre encoberta pelas águas durante o preenchimento do reservatório, ou pela redução de sulfatos inorgânicos presentes no sedimento. Como o preenchimento havia se completado há apenas 4 anos, é possível que a quantidade de H_2S decresça com o tempo, como ocorreu no reservatório Kariba (Beadle, 1974). As concentrações relativamente altas de sulfato junto ao fundo, em maio, são devidas, pelo menos em parte, ao enxofre oxidado durante a estocagem e manuseio da amostra antes da análise, enquanto que, em dezembro, os valores do fundo se referem às formas oxidadas de enxofre, pois nenhum H_2S foi detectado no hipolímnio. Por outro lado, durante os períodos de circulação , o enxofre também se encontrou realmente oxidado, e apresentou distribuição homogênea na coluna de água. Em Americana, o sulfato encontrado é decorrente principalmente da decomposição e oxidação de matéria orgânica, que existe em grande quantidade nesse ambiente, tanto de origem autóctone como alóctone. É provável que, em Taiaçupeba, o sulfato também seja de origem orgânica alóctone. Nos outros reservatórios, o sulfato dosado também significou sulfato de origem inorgânica, mas as concentrações totais não foram dignas de nota.

A contribuição do homem para a aceleração do processo de eutrofização leva a situações como a do Reservatório de Americana, onde as concentrações iônicas, de modo geral, são as mais elevadas. A influência dos esgostos domésticos é notória nos elevados valores de sódio, cloro e sulfato e também dos nutrientes inorgânicos (nitrogênio e fósforo).

Estes micro nutrientes também estão submetidos a variações temporais e de distribuição vertical, em função do tipo de circulação do ambiente.

Com relação ao nitrogênio, pode-se afirmar que já são bem conhecidas as várias etapas do seu ciclo, quanto aos aspectos qualitativos. Entretanto, o mesmo não pode ser dito a respeito das taxas dos processos de transformação, principalmente os que ocorreram na interface água-sedimento e que envolvem um ativo metabolismo bacteriano.

Wetzel (1975) fornece os intervalos de concentração esperados em águas superficiais não poluídas para as diferentes formas de nitrogênio. Assim, $N\text{-}NH_3$ pode variar de 0 a 5 mg/l, (apesar de geralmente ser bem inferior a este extremo) ou pode alcançar mais de 10 mg/l nos hipolímnios anóxicos de lagos eutróficos. As concentrações de $N\text{-}NO_2$ são bem inferiores, na faixa entre 0 a 0,01 mg/l. O $N\text{-}NO_3$ varia de 0 a quase 10 mg/l em águas não poluídas e apresenta grande variação sazonal e espacial. O nitrogênio particulado, que não foi dosado neste trabalho, pode ser até uma vez e meia maior que o total do nitrogênio dissolvido.

De um modo geral, os teores de nitrogênio sob forma de nitrato, nitrito e amônia estiveram bem abaixo dos limites superiores fornecidos por Wetzel (*op.cit.*). O Reservatório de Americana, entretanto, apresentou concentração média de nitrito acima do limite indicado por este autor para águas não poluídas.

O nitrito é um produto intermediário nos processos de nitrificação e desnitrificação realizados por bactérias (principalmente *Nitrobacter*) e pelo próprio fitoplâncton, o qual também pode ser responsável por parte da redução de nitrato a nitrito, como é conhecido em *Chlorella* (Hutchinson, 1957). Sendo compostos intermediários e instáveis, os nitritos indicam um processo atual de degradação de compostos nitrogenados. No Reservatório de Americana, é bem evidenciado o o gradiente apresentado por este nutriente , com tendência a valores mais baixos próximo ao fundo, acompanhando o gradiente de OD.

Nos outros reservatórios, as concentrações de nitrito foram bem inferiores e comparáveis às observadas por outros autores em outras regiões do Brasil mais ou menos próximos dos reservatórios estudados (Tab. 31). Valores altos e esporádicos, como o detectado em Jaguari, em março, podem ocorrer mesmo em ambientes oligotróficos, como observado por Pontes (1980) no Lago D. Helvécio, onde o limite superior foi um dado esporádico, a maioria sendo menor que 1,0 µg $N\text{-}NO_2.l^{-1}$.

A amônia é produzida por praticamente todas as bactérias heterotróficas durante a decomposição da matéria orgânica. Além disso, verificou-se que o zooplâncton pode colaborar significativamente com a produção de amônia através da excreção. Johanes (1968) sugere que este seja um mecanismo dominante em águas superficiais e relata trabalhos anteriores indicando uma liberação de nitrogênio dissolvido e fósforo igual ao conteúdo total destes nutrientes no corpo dos organismos, em 20 a 200 horas.

Um outro mecanismo de amonificação citado por este autor é a autólise após a morte das células, que pode ser responsável por 30 a 50% dos nutrientes liberados da matéria orgânica animal ou vegetal.

No entanto, nos sedimentos e no hipolímnio anóxico dos lagos, a regeneração de nutrientes por bactérias e fungos são os processos dominantes.

A distribuição da amônia é bastante variável temporal e espacialmente, o que foi observado durante este trabalho. Sua distribuição regional também é bastante variável; quando os reservatórios são comparados entre si, verificamos que existe uma grande variação dos valores máximos de amônia (Tab. 32). Os valores máximo e mínimo observados por Silva (1980) nos lagos do Pantanal (mesma tabela), aproximam-se dos observados nos Reservatórios de Pedro Beicht e Taiaçupeba e são bastante baixos quando comparados aos outros. A grande flutuação temporal observada deve-se, principalmente, à dinâmica de circulação de cada ambiente.

Com relação ao nitrato, sua produção decorre dos processos de oxidação da amônia, realizados por bactérias autótrofas aeróbicas; a oxidação da amônia por fungos e bactérias heterótrofas pode ocorrer, mas em taxas muito lentas e o papel destes organismos na nitrificação dos ambientes aquáticos não é perfeitamente compreendido (Brezonik, 1972). Vários reservatórios (Atibainha, Ribeirão do Campo, Paraibuna, Cachoeira e Sta Branca) apresentaram concentrações bastante elevadas de nitrato quando comparados com outros lagos ou reservatórios do Brasil (Tab. 33).

No Reservatório de Americana, os teores de nitrato e amônia, durante a coleta de março, foram os mais baixos observados nesse ambiente. Nesta ocasião foram observadas as mais altas concentrações de clorofila-*a* e taxas de produção primária, o que sugere que os nutrientes se encontram na fração particulada e não propriamente ausentes do epilímnio. É provável que situação semelhante tenha ocorrido em muitos dos outros reservatórios, já que todos apresentaram as mais baixas concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido nessa primeira coleta e muitos apresentaram altas concentrações de clorofila-*a* e altas taxas de produção primária, sugerindo elevada taxa de assimilação nessa ocasião. Este fato deve ser decorrente principalmente das temperaturas mais altas, atuando sobre o metabolismo geral do fitoplâncton. Brezonik (op.cit) verificou que, de fato, não existem correlações entre concentrações de amônia e nitrato e taxas de assimilação. Por outro lado, a absorção de nitrato é dependente de ação da enzima nitrato-redutase (Eppley *et al*, 1969) portanto, dependente da temperatura.

A elevação dos teores de amônia ocorrida no Reservatório de Americana, em maio, pode ser decorrente da decomposição, tanto da matéria orgânica produzida no ambiente, como de origem alóctone, aliada às condições anaeróbicas junto ao sedimento, que pemitem a liberação da amônia adsorvida para a água. Entretanto, estes teores de amônia podem ter

baixado em pouco tempo pois, nessa ocasião, dois terços da coluna de água já apresentavam cerca de 70% de saturação de oxigênio e temperatura homogênea, o que indica que uma circulação total poderia ocorrer facilmente, permitindo a nitrifição da amônia.

Em agosto fica evidenciada uma atividade de nitrificação, tanto pelo aumento das concentrações de nitrato nas camadas superiores da zona eufótica como pelos altos valores de nitrito; em dezembro a situação é semelhante em toda a zona eufótica.

Americana, apesar de polimíctico, apresentou sempre anoxia junto ao fundo, devido ao alto grau de eutrofização a que está submetida. Em consequência, a distribuição vertical dos nutrientes é bastante semelhante à de lagos monomícticos típicos.

Uma comparação dos resultados de nutrientes deste trabalho (dissolvidos) pode ser feita com os resultados obtidos por Zago (1976) em amostras não filtradas de superfície, durante três anos consecutivos (maio/69 a abril/72). A amônia, naquela ocasião, apresentou uma média de 239 $\mu g.l^{-1}$ e, atualmente, apenas a dissolvida situa-se ao nível de 730 $\mu g.l^{-1}$. Por outro lado, o nitrato, naquela ocasião, apresentou uma média de 362 $\mu g.l^{-1}$ e atualmente, a média do nitrato dissolvido foi 78 $\mu g.l^{-1}$. Neste caso, a comparação é mais difícil por não termos o valor total. Também para o nitrito, Zago (*op.cit.*) emcontrou um aumento muito grande no ano intermediário, que elevou a média para 142 $\mu g.l^{-1}$ enquanto neste trabalho a média esteve em torno de 20 $\mu g.l^{-1}$. As quantidades cada vez maiores de amônia indicam que, além do aumento do teor de matéria orgânica, houve aumento no consumo de oxigênio, o que dificulta a nitrificação da amônia.

De qualquer forma, seria de interesse um monitoramento frequente nesse ambiente em termos de nitrogênio total.

No Reservatório de Atibainha, o aumento nas concentrações de nitrato, entre a primeira e segunda coletas, ocorreu paralelamente a um abaixamento da termoclina, fato que pode permitir a introdução de amônia no epilímnio (mais oxigenado) e consequentemente sua nitrificação. Com a circulação, em agosto, o processo se repetiu, mas em toda a coluna de água, provocando um aumento no teor de nitratos. Fenômenos semelhantes ocorreram nos outros dois reservatórios monomícticos. Nas coletas de agosto, nas Est. Paraibuna e Paraitinga, entretanto, a circulação parece ter sido bem recente, o que explicaria os teores ainda baixos de nitrato. De acordo com Chen *et al* (1972, *in* Wetzel, 1975) a concentração mínima de O.D para que ocorra a nitrificação é de 0,3mg/l, valor que está abaixo das concentrações observadas em todas estas situações.

Na Est. Paraitinga, em dezembro, não ocorreu um aumento da concentração de amônia junto ao fundo, apesar do ambiente se encontrar estratificado. O teor de O.D. neste nível era menor que 2,0 $mg.l^{-1}$ e segundo Mortimer (1971), já poderia ocorrer liberação de amônia pelo sedimento.

A Est. Félix Guisard apresentou os teores mais baixos de nitrogênio em todas as coletas. Entretanto a biomassa fitoplanctônica em termos de clorofila-*a* foi a mais alta das três estações, o que sugere que tenha havido maior consumo e os nutrientes estejam contidos principalmente na biomassa. Em maio, o abaixamento da termoclina deve ter permitido a introdução de amônia no epilímnio. Entretanto, a atelomixia deve ter ocorrido já há algum tempo, seguida de pois o nitrato já se apresenta alto.

É interessante observar que a análise dos nutrientes (no caso, o nitrogênio) assim como dos íons, auxilia, muitas vezes, a confirmação dos padrões de circulação propostos para os reservatórios. Por exemplo: entre a primeira e segunda coletas em Atibainha, um valor tão elevado de amônia junto ao substrato somente poderia ser explicado por um longo período de estratificação.

O Reservatório de Cachoeira, assim como Atibainha, não apresenta elevação das concentrações de amônia após a circulação, em agosto, e esta situação ocorre por vários motivos: em primeiro lugar, a concentração de amônia próximo ao fundo durante a estratificação não foi muito alta em comparação aos outros reservatórios monomicticos; em segundo lugar, a relação entre volume do hipolímnio e volume do epilímnio é menor quando comparada à do Reservatório de Paraibuna; e em terceiro lugar a circulação não parece muito recente, devido aos altos teores de nitrato já presentes na zona trofogênica.

Os valores pouco elevados de concentração de amônia no hipolímnio de Paraibuna, mesmo em períodos de forte estratificação, são aparentemente incoerentes em função da grande quantidade de nitrato presente na superfície. Entretanto, na realidade, se estimarmos a quantidade de amônia por unidade de área existente no hipolímnio, obteremos um valor bastante próximo ao determinado para o Reservatório de Americana, reconhecidamente eutrófico.

O Reservatório de Santa Branca, apresentou teores de nitrogênio inorgânico dissolvido semelhantes a Paraibuna. A atividade de nitrificação mais intensa ocorreu no período de agosto a dezembro e pôde-se desenvolver até junto ao fundo devido à presença de O.D. a cerca de 20% de saturação nesta profundidade.

Ribeirão do Campo, apesar da extrema pobreza de íons, apresentou valores de nitrato relativamente altos e de difícil explicação com os dados disponíveis. Mesmo o número de cianofíceas do microplâncton foi baixo para justificar a presença das concentrações observadas, se bem que não se tenha analisado o nanoplâncton.

Estudos realizados por Brezonick & Harper (1969), tanto em laboratório como em alguns ambientes, mostraram que uma fixação significativa de nitrogênio não ocorre nescessariamente apenas pela ação de cianofíceas, na zona eufótica. Estes autores relataram fixação de nitrogênio em regiões anóxicas e afóticas de dois lagos distróficos: Mary e Mize (EUA). Neste último encontraram uma taxa muito elevada de fixação: 300 $\mu g\ N.m^{-3}.h^{-1}$, na região do hipolímnio. A fixação ocorreu num período curto, durante a estratificação de verão e foi devida principalmente a uma bactéria heteretrófica: *Clostridium* sp.

É possível que processos semelhantes ocorram em ambientes como Paraibuna, Atibainha, Cachoeira e Sta Branca que apresentam hipolímnio anóxico por um longo período e altos teores de nitrogênio dissolvido. Até mesmo em Ribeirão do Campo, com tendência à distrofia, é possível que ocorram fenômenos semelhantes.

A presença de cianofíceas no microplâncton foi detectada em diversas ocasiões, mas apenas em Americana (março) e Atibainha (dezembro) o número absoluto de células foi digno de nota.

Jaguari, com teores médios de nitrato e amônia, apresenta evidências de nitrificação em maio e agosto, como nos casos anteriores. O nitrato se encontra mais baixo já no início do verão o que deve ser sintoma do esgotamento de nutrientes que ocorre no epilímnio devido à estratificação.

No caso do Reservatório de Cabuçu, a elevação das concentrações do nitrogênio inorgânico dissolvido, entre maio e agosto, é acompanhada por uma queda na condutividade, portanto, não pode ser considerado como decorrente de uma concentração de sais devido à estação mais seca.

O Reservatório de Taiaçupeba, apesar das concentrações muito baixas de nitrogênio dissolvido, apresentou clorofila-*a* e taxa de produção das mais elevadas, o que sugere uma alta taxa de reciclagem de nutrientes, permitindo que estes se encontrem principalmente na fração particulada. Esta reciclagem deve ser facilitada pela ação diária dos ventos na ressuspensão de sedimentos.

O Reservatório de Pedro Beicht apresentou concentrações relativamente baixas de nitrogênio, tanto no final do verão (março) como no início (dezembro), apesar das concentrações mais altas clorofila-*a* nessas ocasiões, o que sugere novamente maior assimilação nesta época do ano.

A sílica dissolvida ocorre, dentro dos pHs de águas naturais, na forma de ortosilicatos numa condição não dissociada (H_4SiO_4), e há evidências da existência de sílica coloidal e possivelmente de complexos de íons alumino-silicatos tais como $Al(OH)(HSiO_3)^+$ ou $Al(HSiO_3)^{++}$ (Hutchinson, 1957). Ela geralmente provém de afluentes dos lagos ou da ressolubilisação de sedimentos sob influência do CO_2. Hutchinson, (*op. cit.*) apresenta uma tabela com conteúdos médios de Si na superfície das águas de diferentes lagos, dosados por vários autores. As médias variam de 1,11 a 48,1 $mg.l^{-1}$ e indicam uma tendência de concentrações mais elevadas nas regiões tropicais do que em temperadas.

Na realidade, dados sobre regiões tropicais são escassos na maioria das vezes, e generalizações devem ser feitas com cuidado. Nos reservatórios estudados, por exemplo, os resultados foram sempre baixos e comparações com resultados obtidos em outras regiões do Brasil mostraram valores semelhantes (Tab. 34).

As concentrações de sílica são geralmente mais altas no hipolímnio anaeróbico de lagos durante a estratificação de verão e diminuídas no epilímnio devido ao consumo pelo fitoplâncton, mas este tipo de distribuição vertical não ficou claro através dos resultados obtidos.

Em alguns reservatórios houve um esgotamento dos silicatos no final do verão (Ribeirão do Campo e Taiaçupeba), como observado por Pontes (1980) no Lago D. Helvécio, se bem que este reservatório estratifique por longo período. Muitos autores têm demonstrado a importância da sílica para diatomáceas (Lund, 1950; Heron, 1961, entre outros), e que a queda na concentração de silicatos dissolvidos está associada ao desenvolvimento de populações dessas algas. Nos reservatórios estudados, no entanto, estas relações não foram evidentes.

O fósforo, nos últimos anos, tem recebido muita atenção como o principal fator responsável em situações de excessiva produção de biomassa algal (Edmondson, 1970 ; Schindler, 1974; Michalski *et al.*, 1975, Osborne, 1980, entre outros). Entretanto, apenas recentemente as análises da dinâmica do ciclo do fósforo tem conseguido explicar a complexa ciclagem deste elemento, a maior parte do qual está contido na fase particulada do biota, principalmente nas algas.

As trocas de fósforo entre sedimento e água são , provavelmente, o aspecto mais importante deste elemento em águas naturais. Kramer *et al.* (1972), citam diversas variáveis químicas como fundamentais no processo de adsorção-"desorção" de fósforo do sedimento: o potencial de óxido-redução, o pH, as concentrações de cálcio e o grau de agitação do sedimento na água. O potencial redox define a relação Fe^{++}/Fe^{+++}. Quando o potencial decresce, o fósforo adsorvido aos óxidos e hidróxidos férricos pode ser liberado, devido à dissolução destes.

Mortimer (1971) verificou que, em presença de $2mg.l^{-1}$ de OD, o sedimento não libera nutrientes; abaixo deste valor, o fósforo, a amônia e a sílica são liberados.

A liberação de fósforo em função do pH foi estudada por Macpherson *et al.*, (1958). Através da agitação de sedimentos de diversos lagos na água, verificaram que a liberação foi mínima entre pHs 5,5 a 6,5, aumentando rapidamente acima e abaixo destes valores.

Latterell *et al.*, (1971 *in* Kramer *et al.*, 1972) verificaram a remoção de fósforo da água em presença de 226 a 325 $mg.l^{-1}$ de cálcio, sendo que este também foi removido da solução. Estes valores de cálcio, entretanto, são muito superiores aos observados nos reservatórios estudados.

As concentrações de fosfato total em águas naturais não poluídas variam desde quantidades não detectáveis até níveis extremos, como > 200 $mg.l^{-1}$ em lagos salinos fechados (Hutchinson, 1957). Entretanto, as concentrações de fósforo total da maioria das águas de superfície não contaminadas varia entre 10 a 50 $\mu g\ P.l^{-1}$ (Wetzel, 1975).

Segundo Rigler (1964), a fração dissolvida corresponde a 30% ou menos do fósforo total, mas este não foi analisado durante este estudo. Entretanto, Vollenweider (1968, *in* Wetzel, 1975), indica uma concentração > 100 $\mu g.l^{-1}$ de fósforo total como típica de ambientes hipereutróficos.

O Reservatório de Americana por exemplo, apresentou sempre valores relativamente altos (entre 25-129 $\mu g/P\text{-}PO_4$) de fósforo total dissolvido, sendo que o valor mais alto observado nesse ambiente fora 360 $\mu g.l^{-1}$ de $P\text{-}PO_4$ total (Zago, 1976). Portanto, poderia ser enquadrado dentro da classificação citada. É interessante observar também que Zago encontrou valores médios de $P\text{-}PO_4$ total de 12,38 e 88 $\mu g.l^{-1}$ respectivamente para os anos de 69, 70 e 71. A média de nossos resultados é 48,9 $\mu g\ P\text{-}PO_4.l^{-1}$ para águas do

epilímnio, mas considerando-se apenas o fósforo dissolvido. Portanto são necessárias medidas de P-PO_4 total para analisarmos a taxa de enriquecimento desse reservatório que aparentemente já é bem alta.

Com relação aos altos valores de P-PO_4 encontrados em Jaguari, (Tab. 14*a*) em dezembro, não pode ser descartada a hipótese de enriquecimento por resíduos domésticos ou agrícolas. A taxa de produção nessa ocasião foi a mais alta obtida nesse reservatório.

Infelizmente estes valores extremamente altos ocorreram justamente na última coleta programada. Para uma afirmação mais concreta sobre se este seria um fenômeno esporádico ou não, seriam necessárias coletas posteriores para novas análises de fosfato, que não foram realizadas durante este trabalho.

No Reservatório de Pedro Beicht ocorreram valores altos e com distribuição irregular na coleta de junho. Como este reservatório se encontra no interior de uma reserva, a hipótese de poluição é improvável e estes resultados são difíceis de explicar com os dados disponíveis.

Os valores observados nos outros ambientes foram de modo geral bastante baixos, comparáveis a outros ambientes oligotróficos, como os lagos do Vale do Rio Doce (Tundisi *et al.*, 1978*b*) (Tab. 35).

Comumente, a distribuição vertical e horizontal do fósforo total é bastante irregular e pode ser explicada pelas irregularidades na distribuição do seston, ao qual geralmente está associado por adsorção (Stumm & Morgan, 1970). No caso deste trabalho, o fósforo analisado é o dissolvido mas, também neste caso, o seston (retirado durante a filtração) estará influindo no resultado da distribuição dos fosfatos, apenas de modo inverso.

A capacidade de adsorção do fósforo a partículas tem sido objeto de numerosos estudos relativos à adsorção de fosfatos inorgânicos à superfície dos sedimentos de fundo, tais como os de Kufel (1976). Este autor estudou os processos que regulam este tipo de tamponamento nos sedimentos de lagos da Polônia e verificou que existe uma dependência com relação à estrutura do sedimento, além do teor de oxigênio junto ao substrato. Na realidade, durante os períodos de ausência completa de OD, o sedimento desses lagos não apresentou qualquer propriedade tampão, sendo necessárias concentrações mínimas para que o fenômeno se desenvolvesse. Posteriormente (1977), Kufel realizou novos experimentos, onde verificou que a contribuição de micro-organismos na liberação de fosfatos é desprezível, sendo que o pH exerce forte influência, com seu ótimo variando de lago para lago. No Lago Seczek, por exemplo, a maior liberação ocorre a pH 10, apesar de ser este um caso bastante incomum.

Outro fator que influi na distribuição vertical do fósforo é a presença de íons metálicos, com os quais os ânions de fosfato podem formar complexos e sais insolúveis (Stumm & Morgan, *op. cit.*).

Os íons de cálcio, durante uma elevação de pH podem retirar fosfato da água, tanto por adsorção ao $CaCO_3$, que precipita, como pela formação de hidroxilapatita $[Ca_5 (OH) (PO_4)_3]$ como observado por Otsuki & Wetzel (1972) através de radioisótopos. Entretanto, este não é um fator crítico nos reservatórios estudados pois tanto o cálcio existe em quantidades relativamente baixas como os pHs também não são elevados. O reservatório com teor de cálcio mais elevado foi Americana, justamente onde o fósforo se manteve mais alto todo o ano. Entretanto, o ferro foi um dos íons mais importantes em vários reservatórios e sua influência na disponibilidade do fosfato deve ser considerada.

Apesar da facilidade do fosfato em precipitar na

presença de íons metálicos sob condições oxigenadas, a sua associação com complexos orgânicos pode retardar estes processos. Entretanto, Viner (1975) verificou no Lago George que, se um nível crítico de matéria orgânica é atingido esta pode até promover a precipitação.

Finalmente, a própria absorção ou excreção pelo fitoplâncton, pode estar regulando a distribuição vertical deste elemento.

De acordo com estas interações e a distribuição do fósforo nas frações orgânicas e inorgânicas, é de se esperar uma tendência para que lagos rasos, pouco produtivos, polimícticos, mostrem pequena variação no conteúdo de fósforo com a profundidade pois, metais oxidados, como ferro e outros cátions, podem induzir a precipitação deste nutriente.

Lagos com curvas clinogradas de oxigênio durante os períodos de estratificação, no entanto, tenderiam a apresentar uma distribuição mais variada, com um aumento em direção ao hipolímnio, principalmente próximo ao sedimento.

O Reservatório de Americana, polimíctico, foi o que apresentou sempre as concentrações mais altas de fósforo total dissolvido. As concentrações mais elevadas de fosfato orgânico dissolvido observadas no epilímnio, apesar das condições de alta oxigenação, devem ser possíveis devido ao retardamento da oxidação, possibilitada pela complexação do fósforo a radicais orgânicos, desde que não ocorra um excesso de maté—

ria orgânica em suspensão (Viner, *op. cit.*), além dos pHs favoráveis à sua solubilização (Macpherson *et al.*, op. cit.). Junto ao fundo, é de se esperar o aumento relativo do fósforo inorgânico já mineralizado. Indícios de poluição orgânica são evidentes tanto pelos dados de fósforo como pelas elevadas quantidades de amônia e nitrato. Além disso, como já foi dicutido, as concentrações de cloretos, sulfatos e de sódio também são sintoma da eutrofização cultural nesse reservatório. A maior concentração de fosfato inorgânico ocorreu em agosto e é conseqüência do período mais seco do ano, pois todos os íons tiveram sua concentração aumentada nessa época, e a condutividade na superfície passou de 120 $\mu S.cm^{-1}$ em maio, para 185 $\mu S.cm^{-1}$.

Atibainha apresentou sempre valores baixos de fosfato. Um pequeno aumento junto ao fundo foi observado durante a estratificação, em maio, sob condições anóxicas, mas mesmo durante a estratificação de dezembro, apenas 3 $\mu gP\text{-}PO_4.l^{-1}$ foram obtidos próximos ao sedimento, sugerindo uma pobreza de fosfato no ambiente.

O Reservatório de Paraibuna também se apresentou bastante pobre em termos de fosfato. Na Estação Félix Guisard, um aumento ocorrido a 11,0 m em março poderia sugerir que, junto ao fundo, sob condições de ausência de O.D, a concentração de fosfato fosse ainda mais alta. Entretanto, entre março e maio não houve circulação e o valor próximo ao fundo foi praticamente o mesmo do epilímnio. Valores baixos se repetiram nas outras estações, durante a estratificação, apesar da situação de anoxia ser favorável à ressolubilização de qualquer fosfato anteriormente complexado ao ferro. A presença de H_2S, provocando novamente a precipitação do ferro, não teria qualquer influência sobre o fos

fato liberado anteriormente à formação de FeS. Mesmo logo após a circulação, com a ressuspensão de sedimentos do fundo, os teores de fósforo foram baixos neste ambiente. Estes resultados, aliados à disponibilidade de nitrogênio, observada nesse reservatório em várias ocasiões, sugerem que o fósforo poderia estar atuando como nutriente limitante pois a biomassa em termos de clorofila-*a* e a produtividade estiveram dentre as mais baixas.

Entretanto, Gliwicz (1979) estudando lagos em diversas latitudes observou que, nos ambientes em que se formam termoclinas bem acentuadas, (como é o caso de Paraibuna, Atibainha e Cachoeira, principalmente), ocorre um acúmulo de partículas em suspensão ao nível do metalímnio e liberação de fosfatos, que voltam ao epilímnio sob forma reativa. Esta pode ser uma explicação para o maior valor de fosfato observado na Est. F. Guisard a 11,0 m em março. No entanto, como os níveis de coleta neste trabalho foram determinados por outros propósitos, este fenômeno não pode ser confirmado.

É importante lembrar que, muitas vezes, uma baixa concentração de fóforo dissolvido na água não significa que este nutriente seja limitante, pois a quantidade contida nesta fração pode ser até menor que 5% do total particulado existente no ambiente (Rigler, 1964). Além disso, trabalhos com ^{32}P realizados por Hutchinson e Bowen (1947, 1950, in Cole, 1979), Rigler (1964, 1966) e Lean (1973), entre outros, têm demonstrado a alta velocidade de reciclagem deste elemento e a grande capacidade de absorção e acúmulo de fósforo pelo fitoplâncton e bactérias, sendo que estas últimas apresentam-se, inclusive, como importantes competidoras para o fitoplâncton.

É com base nestes fatos que se tem preferido avaliar o fósforo a partir do fósforo total, incluindo o sestônico e o dissolvido. Infelizmente, não foi possível dosar fósforo sestônico no nosso caso. Entretanto, além do apa—

rente excesso de nitrogênio, a biomassa (em termos de clorofila-*a*) extremamente pequena observada em Paraibuna, exclue a possibilidade de um acúmulo de fósforo significativo no fitoplâncton. Talvez as altas quantidades de ferro presentes na zona trofogênica, durante a circulação, também possam estar atuando como inibidores sobre as populações fitoplanctônicas. Entretanto, para uma confirmação destes fatos seriam necessários experimentos de bio-ensaios (que serão efetuados futuramente).

Em Atibainha, a situação de limitação do fósforo é menos clara pois a biomassa observada não foi muito baixa, de modo geral e, em dezembro, a fotosíntese atingiu uma taxa de 30,8 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$, o que sugere que este elemento tenha sido assimilado e se encontrava, principalmente, na biomassa.

Em Cachoeira, outro reservatório monomíctico, houve um aumento de fósforo na água, após a circulação, indicando que este elemento está presente no sedimento ou na biomassa, podendo ser liberado em algumas ocasiões. Este reservatório, dentre os monomícticos, foi o que apresentou a maior produtividade. Neste caso, as maiores taxas de produção primária ocorreram em ocasiões em que o fósforo dissolvido esteve mais baixo, sugerindo que já havia sido assimilado. A maior concentração desse elemento, observada na superfície, em dezembro, corresponde a uma forte inibição superficial da produção primária, provocada pelo excesso de luz.

De um modo geral, a tendência a um acúmulo de fósforo no hipolímnio dos reservatórios monomícticos não foi evidente, quer pela ausência de dados junto ao fundo em alguns casos, quer pela pobreza real desse nutriente em outros. Nos reservatórios polimícticos, esses acúmulos também não foram observados, mesmo durante os curtos períodos de estag—

nação, exceto em Americana, na coleta de agosto.

Outros reservatórios que parecem estar sofrendo uma limitação da produtividade pelo fósforo são, principalmente, Ribeirão do Campo e Santa Branca, pois ambos apresentam, além de baixas concentrações de fósforo, um aparente excesso de nitrogênio sob forma dissolvida e biomassa e taxa de produção primária baixas.

No caso de Santa Branca, a composição de suas águas tende a refletir as características das águas de Paraibuna pois está a juzante (e bastante próxima) do mesmo.

No caso de Ribeirão do Campo, os pHs em torno de 5,5 devem atuar impedindo a liberação de fósforo do sedimento (Macpherson, *et al. op cit.*).

Uma classificação dos reservatórios baseada nas concentrações de $P\text{-}PO_4$ dissolvido não é aconselhável pelo fato desta fração representar menos de 30% do fosfato total do ambiente (Rigler, 1964). Entretanto, a análise da relação clorofila-*a*/ [$P\text{-}PO_4$] dissolvido apresentou resultados interessantes, semelhantes aos obtidos por Lund (*in* Nicholls & Dillon, 1978).

A análise da razão N:P é importante devido às implicações no estado de limitação nutricional do fitoplâncton.

Redfield (1958) determinou as razões atômicas de N e P disponíveis no oceano e no conteúdo celular do fitoplâncton e verificou que eram aproximadamente as mesmas (~15). Ryther & Dunstan (1971), posteriormente, utilizaram o valor 10 por ser a média aritmética das razões N:P (5-15) mais frequentemente encontradas nas algas.

Pesquisas recentes, (Rhee & Gotham, 1980), entretanto, realizadas com espécies de água doce mostravam valores de N:P de 7 a 30 como ótimas, com uma média em torno de 17, portanto, bastante próxima do valor determinado por Redfield. Estes valores foram determinados a partir do conteúdo celular em situações de jejum.

Entretanto, este valor relativamente fixo da razão N:P não deve ser considerado como o ideal para o fitoplâncton, pois dependendo da velocidade de reciclagem de cada nutriente, pode ser alterado. Além disso, é justamente uma certa variabilidade nesta razão que permite a exclusão ou coexistência de espécies competidoras (Rhee, 1974, 1978). Segundo este autor, diferenças interespecíficas nesta razão podem determinar o grau e a qualidade da deficiência nutricional para cada espécie.

De acordo com Schindler (1978), relações de N:P superiores a 10:1 são indicadoras de limitação em fósforo, as inferiores a 5:1 de deficiência em nitrogênio e entre estes dois valores, dos dois nutrientes.

No caso dos reservatórios estudados, o $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_3$ e $N\text{-}NO_3$ da zona eufótica foram computados em conjunto para o cálculo das razões N:P (Tab. 15).

As razões N:P encontradas em lagos e reservatórios

tropicais são geralmente muito baixas. Moraes (1978) observou valores de N:P entre 0,21 e 0,34 no Reservatório do Lobo. No Lago D. Helvécio, valores de N:P calculados de Tundisi *et al.* (1978*b*) apresentam-se entre 0,4 a 3,1 no verão. No mesmo ambiente, dados obtidos por Pontes (1980) permitem a estimativa de razões até 2,2 no epilímnio durante a estratificação, se bem que, após a circulação de inverno, a razão aumente para 18,8. No entanto, no hipolímnio, durante a estratificação, pode-se obter razões de até 727,8. Na Lagoa Carioca, dados fornecidos por Barbosa e Tundisi (1980) permitem a obtenção de razões N:P geralmente baixas, mas com valores mais altos em algumas ocasiões (até 32,4). Razões calculadas a partir de dados de Silva (1980) em quatro lagos do pantanal matogrossense apresentam-se entre 0,3 e 1,3.

As baixas razões N:P obtidas no Reservatório do Lobo levaram Moraes (*op. cit.*) a supor que o nitrogênio fosse o nutriente limitante nesse ambiente. Entretanto, Henry (1981) demonstrou através de trabalhos experimentais com bio-ensaios, que tanto o nitrogênio como o fósforo são limitantes nesse ambiente, com um maior destaque em relação ao fósforo.

Outros autores, também trabalhando com bio-ensaios, têm observado que o fósforo pode alternar-se com o nitrogênio em termos sazonais na limitação nutricional, como verificado por Toerin & Steyn (1975, *in* Henry, 1981) em reservatórios, ou pode mesmo ser o mais importante, conforme resultados de Robarts & Southall (1977) em sete reservatórios na Rodésia, onde as razões de N:P estiveram entre 1,1 e 17,2).

Alguns dos reservatórios estudados (Tab. 15) também apresentaram baixas razões entre N:P (< 5,0), como Pedro Beicht e Taiaçupeba, sugerindo limitação nutricional pelo nitrogênio, em algumas ocasiões.

Entretanto vários apresentaram razões surpreendentemente altas, com Atibainha, Jaguari, Paraibuna, Ribeirão do Campo e Santa Branca, sugerindo que o fósforo esteja atuando como o principal fator limitante nesses ambientes, principalmente durante o inverno.

Estas razões, mais do que os próprios valores absolutos de P-PO_4, devem estar atuando sobre o desenvolvimento do fitoplâncton nestes ambientes, pois estão muito acima das razões até hoje determinadas como ótimas para as espécies do fitoplâncton.

Entretanto, todas estas imagens são apenas sugeridas pelos resultados das análises. Para uma confirmação destas hipóteses seriam necessários experimentos de bio-ensaio nesses ambientes.

4.3 - Distribuição vertical e variação temporal dos parâmetros biológicos - Aspectos gerais da produtividade primária dos reservatórios.

A clorofila-*a* têm sido amplamente utilizada como índice da biomassa do fitoplâncton. Entretanto, deve-se ter cuidado com a interpretação destes resultados pois a clorofila pode variar em função de fatores tais como o regime prévio de iluminação, composição e estado fisiológico do fitoplâncton (Jørgensen, E. G. & Steemann Nielsen, 1965). Nicholls & Dillon (1978), verificaram através de um levantamento na literatura, que o conteúdo de clorofila-*a* das algas pode variar de duas ordens de grandeza (0,1 - 9,7%) em relação ao peso fresco. Além disso, aquilo que estamos denominando clorofila-*a*, na realidade inclui seus pigmentos de degradação, causando uma superestimativa da clorofila-*a* propriamente dita.

A análise do gradiente formado pelas médias das concentrações de clorofila-*a* (Fig. 22) não permite uma separação nítida entre os reservatórios, se bem que existam diferenças marcantes entre os extremos superior e inferior.

Apesar dessas considerações, as concentrações obtidas nos Reservatórios de Americana, Cachoeira e Taiacupeba foram bastante elevadas em relação aos demais.

A comparação destes resultados com outros lagos do Brasil (Tab. 36) indica que as concentrações nestes reservatórios são inferiores às observadas no lago do Castanho (Schmidt, 1973). Entretanto, quando se compara o resultado de ΣB verifica-se que Americana apresenta valores bastante próximos aos daquele lago, devido à maior extensão de sua zona eufótica. Os outros reservatórios apresentaram valores bem inferiores e semelhantes aos outros ambientes já estudados, exceto o Lago do Recreio (Silva, 1980) no Pantanal, que apresenta valores extremamente elevados durante a seca.

Moss (1980, *in* Le Gren & Lowe-McConnel, 1980, pg 147), apresenta uma tabela com valores de B e ΣB máximos em vários ambientes. Este autor verificou que valores de B acima de 400 $mg.m^{-3}$ são raros (Tab. 37), geralmente envolvendo populações de cianofíceas. Muitas vezes, estes altos valores estariam refletindo uma concentração dessas algas provocada por flutuação ou ação do vento, além da típica associação deste grupo de algas com condições de enriquecimento de nutrientes.

Os valores expressos em $mg.m^{-2}$ (ΣB), na tabela 37, estão na faixa entre 190-350 para os ambientes tropicais, e estão relativamente próximos dos obtidos nos Reservatórios de Americana e Cachoeira em algumas ocasiões.

Valores tão altos de ΣB estarão, certamente, ligados a um efeito de auto-sombreamento e à qualidade da luz na água.

O efeito do fitoplâncton sobre a penetração de luz na água foi descrito por Ganf (1974): nas águas com densas populações, o menor coeficiente de atenuação está na região vermelho-laranja do espectro, enquanto o fitoplâncton exerce efeitos maiores na região da luz azul.

Estes resultados são, até certo ponto, concordantes com os obtidos através das medidas com hidrofotômetro realizadas em dezembro. Pela Tabela 7 e pela figura 14 verifica-se que os quatro ambientes que apresentaram maior concentração de clorofila-*a* apresentaram também maior penetração de luz na faixa do vermelho.

Os ambientes mais pobres geralmente apresentaram maior penetração de luz na faixa do verde.

A Est. Félix Guisard do Reservatório de Paraibuna, mais rica em clorofila-*a* que as outras duas estações, também apresentou maior penetração de luz na faixa do vermelho.

Golterman (1975) compara a penetração de luz nos Lagos Tarfala e Varese na Itália. Estes lagos, apesar de apresentarem a zona eufótica com a mesma extensão, apresentam enorme diferença na produtividade, aparentemente provocada pela maior abundância de nutrientes no lago Varese. Ficou evidente que a baixa penetração de luz neste lago foi provocada pelas próprias algas (auto-sombreamento), enquanto em Tarfala foi devida à argila em suspensão.

A análise da relação entre ϵ_{min} e $\bar{B}$ nos reservatórios sugere que a biomassa em termos de clorofila-*a*, apesar de relativamente baixa, é um importante fator determinante da extinção da luz na água, devido ao alto valor de r obtido.

Segundo Lewis (1974), a determinação de ϵ_{cl}, que é o ângulo da linha de regressão, indica o aumento de ϵ_{min} conforme o aumento da clorofila-*a*. (coeficiente de auto sombreamento). Entretanto, este coeficiente é de interesse quando todos os pontos se referem a um único ambiente. Como não é o caso, este coeficiente não foi considerado.

As relações entre distribuição vertical da clorofila e estratificação geralmente são bastante complexas, devido aos gradientes químicos que se formam próximo da termoclina e no epilímnio, durante os períodos de estagnação.

Cada espécie do fitoplâncton pode apresentar uma distribuição diferente em função, por exemplo, de seu ótimo de luz. Entretanto estes padrões são mascarados pela utilização de um parâmetro não específico como é o caso deste pigmento. As espécies podem se acumular junto à superfície ou logo abaixo da mesma, também devido a um fototactismo, como é o caso dos fitoflagelados (Tilzer, 1973), ou então, devido à existência de vacúolos gaso-

sos, como é o caso das cianofíceas. Podem também se acumular junto ao fundo, devido ao afundamento ou mesmo porque seus nutrientes específicos são encontrados nessa região. Populações que já cessaram seu crescimento no epilímnio podem levar várias semanas até desaparecer completamente da coluna de água e, durante esse período, podem formar uma camada distinta no hipolímnio (Talling, 1965).

Algumas espécies, como é o caso de *Oscillatoria agardhii* var *isothrix* (Saunders, 1972) podem iniciar seu desenvolvimento no hipolímnio desoxigenado e se mover posteriormente para a superfície.

Com relação às análises da clorofila-*a* ativa, verificou-se que representaram, em média, 71% do total medido pelo outro método. O intervalo de variação, entretanto, foi razoavelmente grande (entre 41,5 - 113,2%), se bem não se tenha verificado valores tão baixos de pigmento ativo como os observados por Barbosa e Tundisi (1980), no Lago D. Helvécio (15%). Em vista destes resultados, é aconselhável a análise do pigmento ativo sempre que for possível.

A análise gráfica das relações entre nutrientes e clorofila-*a* mostrou que esta foi função da concentração de fósforo dissolvido, de acordo com uma equação do tipo $y = ax^b$.

A equação da curva transformada para relação linear é semelhante à obtida por Lund (*in* Nicholls & Dillon, 1978) que também considerou fósforo dissolvido. Nicholls & Dillon (*op. cit.*) concluíram que a análise da relação entre concentrações de fósforo e clorofila-*a* deve ser feita, preferenciamente, considerando-se o fósforo total, principalmente se o objetivo é uma classificação dos reservatórios em função do fosfóro. Mas os resultados obtidos neste trabalho são interessantes do ponto de vista de limitação nutricional, principalmente considerando-se tam-

bém os resultados das relações do nitrogênio e clorofila-*a*.

Sob este ponto de vista, merecem atenção os gráficos apresentados nas Figuras 32 e 33. Na Figura 32, a modificação da escala em relação à Figura 29 mostrou uma tendência para valores baixos de $\bar{B}$ em concentração mais baixas de $N\text{-}NO_3$, o que é esperado. No entanto, existe um grande número de pontos à direita da região de máximo de variabilidade ($\cong$ 24 $\mu g\ l^{-1}$ $N\text{-}NO_3$), o que mostra que mesmo com altas concentrações de nitrato não ocorre necessariamente um aumento na biomassa.

A análise das relações entre razões N:P e clorofila-*a* é bastante interessante. Observa-se que existe uma região de dispersão máxima dos pontos (aproximadamente entre 2 e 20), tendendo a diminuir nas extremidades. Isto significa que, em presença de condições favoráveis (tais como luminosidade, temperatura, presença de micronutrientes, etc), a concentração de clorofila-*a* pode ser mais alta dentro deste intervalo onde ocorre a maior dispersão. Este intervalo inclue os valores geralmente citados na literatura como razões N:P ótimas para o desenvolvimento do fitoplâncton (Schindler, 1978; Rhee & Gotham, 1980).

Por outro lado, a queda na dispersão em direção aos valores extremos de N:P sugere que, mesmo que ocorram as mesmas condições favoráveis, a razão N:P é um determinante da baixa concentração de clorofila-*a*.

Como houve um número bem maior de pontos à direita do ponto de máximo (altas razões N:P), e, considerando-se que a curva transformada da relação $[P\text{-}PO_4]/\bar{B}$ apresenta alta correlação, pode-se concluir que o fósforo esteja atuando como fator limitante em pelo menos cinco dos reservatórios estudados.

Pela Tabela 15 e Figura.33, verifica-se que os re-

servatórios onde o fósforo atua como limitante são: Paraibuna, Ribeirão do Campo, Jaguari, Santa Branca e Atibainha (Razões N:P > 20).

Pedro Beicht e Taiaçupeba, apresentaram as razões N:P mais baixas, sugerindo uma certa limitação pelo nitrogênio.

Cabuçu parece estar sofrendo limitação por outros fatores, assim como Cachoeira, mas este em menor grau.

Americana, com todos os nutrientes em altos teores e clorofila alta, aparentemente não sofre limitação nutricional.

Com relação à produção primária , Thienemann, (1925 *in* Wetzel, 1975) já observou que em regiões tropicais, a radiação não atua como fator limitante. De fato, a análise da relação produção primária/radiação não apresentou correlação. Também a relação produção primária/clorofila-*a* não apresentou correlação, quando se considerou o conjunto dos reservatórios. Entretanto, foi observada correlação entre eficiência fotossintética/clorofila-*a*, o que mostra que a radiação atua sobre a dispersão dos pontos na relação produção/clorofila-*a*.

Como se verificou que esta foi função da concentração de fósforo na maioria dos reservatórios, o mesmo se pode afirmar em relação à produtividade.

Exceto em alguns casos especiais, os reservatórios da região estudada são pouco produtivos, devido a estarem situados em terrenos pobres, na parte alta das bacias de drenagem. Além disso, os pHs próximos ou pouco abaixo da neutralidade impedem a liberação de fósforo pelo sedimento (Macpherson, *et al*, 1958).

Comparando-se as taxas fotossintéticas diárias dos reservatórios estudados com outros lagos ou reservatório-

rios do Brasil (Tab. 38), verifica-se que Americana é dos mais produtivos, comparável ao Lago do Castanho, no Amazonas (Schmidt, 1973).

O Reservatório de Paraibuna, pelos resultados obtidos, é o menos produtivo de todos esses ambientes já estudados.

Sta Branca é semelhante ao Reservatório do Lobo, em Itirapina, São Paulo, considerado por Tundisi (1977) como meso-oligotrófico.

Atibainha, Cabuçu, Jaguari, Pedro Beicht, Ribeirão do Campo e Taiaçupeba apresentaram ΣΣA semelhante aos Lagos D. Helvécio (Pontes, op. cit.) e Carioca (Barbosa e Tundisi (op. cit.) e podem ser consideradas medianamente produtivos.

Cachoeira apresentou sempre ΣΣA um pouco mais alta.

Entretanto, quando comparados a lagos da África ou de outras regiões tropicais, mesmo Americana pode ser considerado como medianamente produtivo, semelhante ao Lago Shibaya (Allanson & Hart, 1975) ou pouco mais produtivo que o Lago Swartvlei (Robarts, 1976) (Tab. 39).

Na extrapolação das medidas de produção horária para o cálculo da produção diária, foi necessário não considerar as variações diurnas que ocorrem no número de assimilação (Harris, 1978; Teixeira, 1980; Harding Jr. *et al*, 1981, etc) das populações de algas.

Um dos problemas defrontados durante este trabalho foi a impossibilidade de realização de vários experimentos de produção primária no decorrer do dia, de forma a se obter uma imagem da variação diurna da produção.

Em muitos trabalhos encontramos referência a um ciclo diurno de fotossíntese com uma redução em torno do meio-dia e através da tarde (Doty & Ogury, 1975; McAllister, 1963; Verduin, 1957). Harris (1973) atribui esta redução a uma fotoinibição da taxa de fotossíntese, mas outros autores a relacionam também a outros fatores, tais como mudanças diurnas nas populações de fitoplâncton, nas concentrações de clorofila-*a* (Lorenzen, 1963, Teixeira, 1980), ritmos diários na atividade fotossintética (Hastings, Astrachan & Sweeney, 1961; Stross, Chisholm & Downing, 1973), migrações das populações na coluna de água (Tilzer, 1973) e ciclos diurnos da divisão celular (Smayda, 1975).

Paerl e Mackenzie (1977) fazendo um estudo comparativo dos padrões de fixação do nano e microplâncton do Lago Taupo observaram que o pico de fotossíntese do nanoplâncton ocorria durante a manhã, ao contrário do microplâncton que apresentava maior atividade fotossintética após 13:00 h.

Além disso, Vollenweider & Nawerk (1961) observaram, através de incubações "in situ" de curto prazo (2 a 4 horas), que as taxas de fotossíntese mais altas ocorreram na coluna de água entre 7 a 10 horas. As incubações de curto prazo neste período, portanto, tendem a fornecer resultados superestimados da produção diária, enquanto que os experimentos realizados à tarde tenderiam a subestimar o total diário.

Como em grande número de casos foi observado um máximo superficial mesmo no horário entre 10:00 e 14:00 horas, é possível que a deplessão do meio-dia não tenha ocorrido sempre nos ambientes estudados e, em consequência, o valor de produção não tenha sido sempre subestimado. Ao contrário, como será discutido, o fitoplâncton das zonas eufóticas dos reservatórios tendeu, muitas vezes, a apresentar características de plâncton de sol.

A taxa de assimilação é um parâmetro que pode fornecer uma indicação sobre o estado fisiológico do fitoplâncton.

Diversos autores tentaram correlacionar estes valores com as condições nutricionais dos ecossistemas. Ichimura & Aruga (1964), por exemplo, apresentam uma classificação do grau de enriquecimento das águas de lagos do Japão baseados em valores de número de assimilação. Assim, valores entre 0,1-1 $mgC.mgcl\text{-}a^{-1}.h^{-1}$ caracterizariam lagos oligotróficos; entre 1 - 2 $mgC.mgcl\text{-}a^{-1}.h^{-1}$ caracterizariam lagos mesotróficos e entre 2 - 6 $mgC.mgcl\text{-}a^{-1}.h^{-1}$, os lagos eutróficos.

No entanto, as classificações com base na taxa ou número de assimilação são discutíveis, devido a vários fatores que estão influindo sobre estes parâmetros e não são levados em consideração.

Um dos mais importantes se refere ao efeito da temperatura que, conforme Malone & Neale (1981) é de fundamental importância. Nos reservatórios estudados neste trabalho, os valores de A/B_{max} pareceram mais dependentes da temperatura, concordando com estes autores, como se pode observar pela Tabela 25, na qual os, valores mais altos ocorreram pricincipalmente no verão.

Devaux (1980) também observou valores cerca de duas vezes mais altos para a taxa de assimilação durante o verão, no Lago Pavin (França). Apesar de nas regiões tropicais e subtropicais as diferenças entre inverno e verão serem menos nítidas que em regiões temperadas, (Melack, 1979), as variações observadas na taxa de assimilação dos reservatórios foram mais amplas que as obtidas por Devaux (op. cit.).

Outro fator diz respeito à periodicidade diária

da fotossíntese, apresentada pelas populações de cada ambiente, devida a ritmos endógenos e ao regime de iluminação (como verificado por Teixeira, 1980, Harding Jr *et al.* 1981). Neste trabalho foram efetuados medidas apenas num período de 4 horas, devido às características e objetivos do trabalho.

Os valores de A/B_{max} podem variar também, de acordo com a composição das populações presentes e, finalmente, podem variar com as condições nutricionais do ambiente.

De uma maneira global, entretanto, uma comparação dos números de assimilação observados em diversos ambientes (Tab. 40) situados em diferentes latitudes, mostra que valores altos de fato ocorrem em lagos mais ricos (Lago McIlwaine, Robarts, 1979) enquanto valores mais baixos ocorrem em ambientes mais oligotróficos (Lago D. Helvécio, Pontes, 1980; Lagoa Carioca, Barbosa & Tundisi, 1980).

Com relação aos reservatórios, verificou-se que, em algumas ocasiões, ocorreram valores mais altos mesmo em ambientes oligo ou mesotróficos como é o caso de Ribeirão do Campo e Cabuçu.

Os valores mais altos de A/B_{max} foram obtidos em ocasiões em que o nanoplâncton apresentou-se como principal responsável pela produção primária, ao passo que valores mais baixos estiveram associados a uma maior participação do microplâncton, como é o caso de Cachoeira, Pedro Beicht, Taiaçupeba e Paraibuna.

Malone & Neale (op.cit.) observaram resultados semelhantes estudando o nano e microplâncton no estuário e na pluma do Rio Hudson.

Além disso, os valores mais altos de taxa de assimilação diária foram obtidos no verão, o que confirma o efeito da temperatura sobre o número de assimilação.

4.4 - Relações entre produção primária e fatores físico-químicos e considerações sobre o estado trófico dos reservatórios

Um aspecto muito importante do estudo de reservatórios tropicais com relação ao seu grau de trofia, é que, ao contrário do que ocorre com lagos, não podemos nos basear exclusivamente na concentração de oxigênio dissolvido no hipolímnio, durante o período de estagnação, para classificá-lo como oligo ou eutrófico. Segundo Thienemann (1925 *in* Wetzel, 1975) águas hipolimnéticas de lagos profundos, não produtivos e, portanto, oligotróficos, perdem pouco de seu conteúdo em oxigênio durante a estratificação de verão. Ao contrário, os lagos mais rasos, ricos em plâncton (eutróficos) apresentam uma queda acentuada no teor de oxigênio no hipolímnio. No caso de reservatórios tropicais, como confirmamos neste trabalho, estas assertivas nem sempre são verdadeiras.

Wetzel (1975) propõe uma classificação baseada em diversos parâmetros, tais como produtividade, conteúdo em matéria orgânica, condições de mineralização, disponibilidade de nutrientes, CO_2, pH, luz e teor de cálcio.

Com relação à matéria orgânica dissolvida, não foram realizadas análises para se estimar a concentração da mesma. Entretando, Kalle (1966), já havia observado seu efeito sobre a absorção da luz ultra-violeta.

Apesar de medidas com hidrofotômetro terem sido realizadas apenas uma vez em cada ambiente, apresentaram resultados que reforçaram a imagem de eutrofização ou tendência à distrofia de dos mesmos. Assim, Americana apresentou um alto $\epsilon_{u.v.}$, como seria esperado, devido ao aporte de esgostos domésticos nesse ambiente. Os Reservatô-

rios de Cachoeira e Taiaçupeba também apresentaram valores muito altos que são concordantes com a sua maior produção pri em relação aos demais.

Os valores altos de $\epsilon_{u.v.}$ observados em Paraibuna, Santa Branca e Ribeirão do Campo que apresentaram produtividade mais baixa, provavelmente devem refletir os efeitos da introdução de matéria orgânica alóctone.

Um dos principais aspectos característicos de reservatórios é o processo de maturação ou estabilização que se segue ao preenchimento . Estes ambientes atravessam tipicamente uma fase de poucos anos com alta produtividade biológica, seguida por uma fase de atividade muito reduzida (Mitchell, 1973).

Acredita-se que a causa deste aumento da produção seja a mineralização bacteriana de compostos com nitrogênio e fósforo dos solos e vegetação inundados. Campbell *et al.* (1975) sugeriram que a eliminação da vegetação e da camada superficial do solo possa contribuir para a redução da concentração de nutrientes em reservatórios novos.

Apesar do reconhecimento da existência dessas duas fases, existem poucos estudos quantitativos citados na literatura especializada. Ostrofsky & Duthie (1978), por exemplo, utilizaram um modelo baseado na dinâmica do fósforo para prever a duração destas fases no Reservatório Smallwood, no Labrador, mas sem se preocupar com os mecanismos que levam a esta situação.

Aparentemente, os Reservatórios de Paraibuna, Jaguari e Atibainha encontram-se no início desta segunda fase. Isto porque apresentam um espesso hipolímnio, onde o oxigênio está ausente por longos períodos, e a produtividade é baixa.

As origens deste fenômeno provavelmente decorrem da formação dos reservatórios que, durante seu preenchimento, recobriu regiões cobertas de vegetação. A decomposição desta matéria orgânica resulta num alto consumo de oxigênio e mesmo produção de H_2S. Este gás, com o correr dos anos, pode diminuir, como ocorreu no Lago Kariba (Beadle , 1974), que na realidade é um reservatório. Charlton (1980) trabalhando nos Grandes Lagos, mostrou que o oxigênio do hipolímnio é função da espessura do mesmo e da temperatura, além da produtividade. Portanto, o uso da concentração de oxigênio, taxas de consumo ou "déficits" por área para comparar a produtividade, não é justificada sem referência à espessura do hipolímnio e à temperatura.

As altas temperaturas observadas no hipolímnio dos reservatórios, cerca de 15°C mais elevadas do que nos ambientes temperados, propicia o aumento da atividade bacteriana, o que implica no alto consumo de OD.

Na realidade, o número de coletas realizadas em cada ambiente não permitiu a constatação segura das causas da variação da produção primária. Entretanto, em todos os ambientes os valores mais altos de produção foram obtidos no verão, o que permite algumas considerações.

A variação, em termos absolutos, que ocorre entre inverno e verão, entretanto, não é muito grande. Esta diferença tende a decrescer quanto mais baixas as latitudes . Nos lagos e reservatórios de regiões temperadas, o desenvolvimento do fitoplâncton e o aumento na produção primária são iniciados com o enriquecimento das águas provocado pela circulação, aumento na radiação solar e da temperatura. Nos trópicos, entretanto, Thienemann (*in* Wetzel *op. cit.*), já havia observado que tanto a radiação solar como a temperatura não atuam como fatores limitantes, que são substituídos pela deficiência de nutrientes inorgânicos ou orgânicos.

Ganf & Horne (1975) não observaram variações sazonais na fotossíntese no Lago George (Uganda). Robarts (1979) estudando o Lago MacIlwaine, situado em latitudes semelhantes à dos reservatórios deste trabalho, observou uma correlação altamente significativa e $p < 0,005$ entre a tendência da fotossíntese diária e da radiação, mas não particularmente forte ($r=0,71$), e sugere que cerca de 50% da variação da fotossíntese integral entre as diversas épocas seja devida a variações na radiação.

Ao contrário deste autor, não foram observadas correlações entre clorofila ou radiação e a produção primária.

Uma das origens destes resultados é que neste estudo tentamos obter esta correlação em 10 ambientes diferentes.

Entretanto, grande parte da dispersão observada nestas duas relações é diminuida, quando é feita a análise conjunta desses parâmetros ($E_{tot}/\Sigma B$).

A dispersão que ainda ocorre nesta última correlação é devida a fatores que estão atuando sobre as concentrações de clorofila-*a*, tais como composição do fitoplâncton (devido à importância dos pigmentos auxiliares), presença de nutrientes, concentração de CO_2 total, temperatura e outros, ou de fatores que atuam sobre a radiação disponível, como turbidez e qualidade ótica da água.

A tendência geral observada para uma queda na produção primária por unidade de superfície, durante o inverno, portanto, é devida a estes fatores, mas deve-se considerar também a variação qualitativa da radiação (que não foi possível ser avaliada) e o menor período de insolação.

Durante o inverno, as temperaturas mais baixas retardam o metabolismo geral e atuam principalmente sobre o

número de assimilação (Malone & Neale, 1981). Estes fenômenos são devidos aos processos de síntese e degeneração da clorofila-*a*, através da clorofilase, como verificado por Barret & Jeffrey (1964, *in* Hitchcock, 1980).

O aumento no tempo de retenção, que ocorre durante a estação mais seca, também prejudica, principalmente, o fluxo horizontal da água, interferindo na renovação de nutrientes na zona eufótica no final do inverno, quando se reinicia a estratificação.

Nos reservatórios monomícticos ou que apresentaram tendência à monomixia, a circulação da massa de água, apesar de teoricamente promover um aumento na concentração de nutrientes (nem sempre constatado para o fosfato dissolvido), provoca alterações no metabolismo do fitoplâncton. As algas, adaptadas às situações de estratificação, devem sofrer uma nova adaptação, que inclue mudanças metabólicas dos organismos e mesmo alterações na composição do fitoplâncton. Este, em tal situação, se comporta como um inóculo em fase "lag" num novo meio de cultura.

Em ambientes profundos e com espessa camada de H_2S no hipolímnio (Est. Paraibuna e Paraitinga do Reservatório Paraibuna), a circulação permite que este gás chegue à superfície e, ao mesmo tempo, que ocorra uma queda da concentração de O.D., fatos que podem provocar até a morte de peixes (relatadas no inverno, neste reservatório). Além disso, outras características físico-químicas da superfície são alteradas, como se observou em Paraibuna e Santa Branca, tais como o aumento nas concentrações de ferro em solução. De um modo geral, entretanto, as quantidades de fósforo dissolvido continuaram baixas após a circulação.

Também durante o inverno, com a circulação da água, pode haver uma queda na penetração de luz nos ambientes monomícticos, como ocorreu em Paraibuna.

Com relação aos perfis de produção primária obtidos, as formas dicotômicas são relativamente comuns, de acordo com literatura. Conforme Schindler & Holmgreen (1971), são comuns em pequenos lagos mas podem ocorrer também em lagos grandes, como observado por Rodhe (1974, 1972), associados à estratificação.

No entanto, a ausência de relações deste tipo de perfil com a estratificação foi observada por Lewis (1974) no Lago Lanao e, neste caso, o autor acredita que o formato da curva seja devido à heterogeneidade ao acaso na coluna de água, de natureza temporária e aparentemente sem grande significado para a produtividade total.

Findenegg (1964 *in* Schinder & Holmgreen, 1971) observou que este tipo de curva é característico em certos ambientes, apesar de que a forma da curva de produção possa mudar sazonalmente em qualquer lago.

Outro aspecto importante na distribuição vertical da produção primária diz respeito ao fenômeno da inibição superficial. Esta inibição normalmente ocorre sob altas intensidades luminosas e diversos autores tem estudado este fenômeno e sugerido mecanismos que possam ocasioná-lo.

Steemann-Nielsen (1957, 1975), sugere que inibição superficial ocorra devido à decomposição fotooxidativa de algumas enzimas ativas da fotossíntese, ao invés da destruição de moléculas de clorofila. Talling (1965), por outro lado, observou que pode ocorrer devido à sedimentação de células, induzida pelas temperaturas mais altas da região superficial. Além disso, organismos flagelados ou com controle de flutuação podem se estabelecer nas profundidades mais adequadas com relação à luz (Tilzer, 1973). Lewis (*op.cit.*), no Lago Lanao e Pontes (1980) no Lago D. Helvécio, verificaram que a inibição esteve associada às altas intensidades de luz que excederam o ponto de saturação, pois a distribuição da clorofila-*a* esteve homogenea na coluna de água, devi

do à circulação. Pontes (op. cit.) sugere que, além da alta radiação, a depleção de nutrientes também possa determinar a inibição superficial.

Entretanto, a porcentagem de perfis de produção com máximos superficiais observada nos reservatórios estudados é maior que o esperado e geralmente descrito na literatura (Ryther, 1956; Lewis, 1974; Tundisi, 1977; Barbosa e Tundisi, 1980; Pontes, 1980 e outros).

Porcentagens elevadas de máximos superficiais puderam ser constatadas também nos perfis obtidos por Basile-Martins *et al* (1980, Relatório à FAPESP, não publicado): 41% dos 68 perfis, e também foram encontrados por Tundisi *et al* (1980, relatório à FAPESP, não publicado) em 36% dos 86 perfis, nos outros reservatórios estudados durante o projeto "Tipologia de Reservatórios do Estado de São Paulo".

Apesar da ausência de medidas de radiação paralelas à incubações nesses casos, as observações indicam que porcentagens altas foram verificadas mesmo em situações de céu limpo ou com pouco recobrimento por nuvens (alta insolação). Nos ambientes estudados porBasile-Martins (op. cit.), verificou-se que 50% dos perfis de taxa de assimilação apresentaram máximos superficiais e cerca da metade destes mesmo com boa iluminação.

Alguns outros estudos realizados em ambientes tropicais também forneceram porcentagens altas de perfis com máximo superficial. Robarts (1979), estudando o Lago McIlwaine na Rodésia, obteve entre 22 perfis de produção, 16 com máximo superficial e supõe que o fato se deva às incubações serem efetuadas a 0,1-0,2 m abaixo da superfície. De qualquer forma, o Lago McIlwaine é um dos mais produtivos da África, com uma biomassa em termos de clorofila-*a* e-

elevada (média: 93,1 mg cl-a.m^{-2}), o que pode contribuir para um auto-sombreamento logo abaixo da superfície.

Schmidt (1973) no Lago do Castanho, também observou grande número de perfis com máximos de produção superficial muito elevados e uma queda acentuada nas profundidades imediatamente inferiores. Observou que este tipo de perfil esteve associado a ocasiões de ressuspensão de sedimentos, quando a transparência medida com o disco de Secchi variou entre 0,20-2,0 m. O auto-sombreamento também deve exercer considerável influência na forma destes perfis de produção, posto que a concentração média de clorofila-*a* foi cerca de 52 mg.m^{-3}.

Os valores de transparência observados nos reservatórios estudados foram mais altos do que os observados por Schmidt (op.cit.) e, ao contrário do observado por esse autor, os máximos superficiais não estiveram associados à queda da transparência.

Durante este trabalho, na maioria das vezes, os máximos superficiais foram verificados em situações de estratificação, quando era delimitado um epilímnio estreito (até 4 ou 5 m). Caso tal estrutura térmica permita um certo isolamento de populações de fitoplâncton dentro dessa camada, é possível que várias espécies consigam se adaptar a radiações mais elevadas.

A existência de termoclina superficial é devida apenas ao aquecimento diurno e, muitas vezes, a mesma pode ser desfeita durante a noite. Entretanto, a adaptação do fitoplâncton às altas radiações pode ocorrer numa escala horária, como vem sendo demonstrado por diversos autores em trabalhos recentes.

De acordo com Hitchcok (1980), que estudou a variação diurna do conteúdo celular de clorofila-*a* em *Skeletonema costatum*, esta espécie pode potencialmente alterar o con-

teúdo celular desse pigmento em questão de horas. Esta adaptação é função direta da temperatura, pois depende de atividade enzimática. Em experimentos realizados sob três temperaturas, 2, 10, 25°C, a máxima velocidade de adaptação foi obtida nesta última, que é a mais próxima da temperatura de superfície dos reservatórios estudados neste trabalho.

Também Vincent (1980) estudou a rápida adaptação fotossintética em comunidades naturais de fitoplâncton, através das mudanças na capacidade fotossintética (P_{max} por unidade de clorofila-a) medida por fluorescência da clorofila-a induzida por DCMU [3 (3,4-diclorofenil)-1,1-dimetil uréia].

Esse autor relata que o processo, apesar de mais lento que muitas respostas fotossintéticas, tais como a redistribuição da energia de excitação (entre os fotossistemas I e II) e contração dos cloroplastos, parece ocorrer em intervalos menores que o tempo de uma geração. O comportamento de plâncton de sol foi observado em situações onde ocorreram células de convecção de Langmuir e este padrão de circulação deveria persistir ao menos 6 horas para permitir a adaptação da comunidade ao sol e sombra devido à intermitência da luz. Neste caso, apenas este mecanismo seria suficiente para eliminar a fotoinibição superficial.

Na maior parte dos casos aqui estudados, os máximos de produção superficial ocorreram em sitações de estratificação e, com o plâncton continuamente exposto às altas radiações, a adaptação poderia ocorrer até mais rapidamente.

Marra (1978) também concluiu que a capacidade fotossintética mudava rapidamente e dependia principalmente da duração da exposição a cada nível de radiação.

É possível, portanto, que os máximos superficiais estejam ocorrendo sob o efeito da adaptação das células às altas radiações em situações de epilímnio estreito.

A média de I_{ot} para todos os perfis obtidos em dezembro é de 134 $kcal.m^{-2}.h^{-1}$, um pouco mais alta do que o valor de I_{ot} estimado por Lewis (1974) no Lago Lanao, como limiar de inibição superficial: 114 $kcal.m^{-2}.h^{-1}$. Da mesma forma que observado por este autor, verificou-se uma certa tendência para os valores mais altos de $\bar{I}_{ot}$ acompanharem os maiores valores de $\bar{I}_{a,i}$, o que pode refletir a grande capacidade de adaptação do fitoplâncton nesses ambientes.

Uma das questão mais importantes com a qual se defronta o ecologista é, sem dúvida, a da transferência de energia na rede alimentar . Poucos estudos tem sido realizados nesse sentido no meio aquático (Odum, 1957; Tilzer *et al.* 1975).

Por outro lado, devido ao papel das algas na absorção de energia luminosa, a razão entre produção primária e energia incidente, expressa em porcentagem, fornece a eficiência de utilização desta energia pela fotossíntese.

Conforme resultados da literatura, estas eficiências são geralmente muito baixas, em torno ou menor que 0,01%. Existem poucos dados da eficiência fotossintética em ambientes aquáticos tropicais. Na tabela 41 são apresentados resultados de eficiência obtidos por vários autores e pode-se verificar que, excetuando-se os lagos alcalinos da Etiópia (Talling *et al*, 1973), muito ricos em relação a todos os nutrientes, e o lago Kinneret (Dubinsky & Berman, 1976) também eutrófico, todos os outros valores são baixos, semelhantes aos obtidos nos reservatórios estudados.

Os dois valores mais baixos (Paraibuna e Santa Branca) ocorreram em ocasião em que se observou turbidez elevada provocada por material não vivo em suspensão. Os outros valores podem ser explicados pelas baixas concentrações de nutrientes, principalmente fosfatos.

Com relação à fixação do CO_2 no frasco escuro, sabe-se que, provavelmente, ocorre através de vários processos bioquímicos que envolvem a incorporação do dióxido de carbono em compostos orgânicos. Um exemplo é a reação de Wood-Werkman, que é a carboxilação do ácido pirúvico a ácido oxalacético (Gerletti, 1968). Estas reações requerem energia, que é fornecida pelo ATP (Conn & Stumpf, 1970) e como não implicam em ganho de carbono, não são propriamente processos quimiossintéticos.

Segundo Sorokin (*in* Vollenweider, 1974) os microorganismos heterótrofos que decompõem proteinas, geralmente usam cerca de 3 a 5 % de CO_2 externo para a biossíntese das células. Estas bactérias é que contribuem para a fixação de CO_2 no escuro, a qual pode ser detectada nas camadas superficiais de lagos meso ou eutróficos ou em toda a massa de água em lagos oligotróficos. Segundo este autor, as bactérias que apresentam um metabolismo intermediário entre os verdadeiros heterótrofos e os quimioautótrofos assimilam 30 a 90% de CO_2 externo na sua biossíntese, mas esta só ocorre durante a decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Os organismos quimiossintéticos atuam na interface entre a zona aeróbica e anaeróbica. Como a zona eufótica nunca apresentou ausência de O.D. estes processos não tiveram participação na fixação de CO_2 no escuro.

Assim, os resultados do frasco escuro devem dar uma indicação da atividade heterotrófica. Entretanto, Morris *et al* (1971) aconselham a utilização do branco, ou "tempo zero" para uma avaliação mais acurada deste processo. Isto porque pode ocorrer uma certa adsorção de material radioativo no filtro e também porque as ampolas de $NaH^{14}CO_3$ podem apresentar contaminação com matéria orgânica. Além disso, outros processo físico-químicos podem ocorrer, tais como adsorção ao seston.

A fixação no escuro, em termos relativos, foi estudada por Steemann-Nielsen (1960). Este autor estimou a ta-

xa de fixação no escuro, durante experimentos de produção primária de quatro horas de duração, em torno de 1 a 3% da fixação à luz de saturação, em comunidades fitoplânctonicas marinhas. Observou uma tendência para porcentagens mais elevadas serem encontradas em ambientes com baixa taxa de produção ou em águas poluídas.

Estes resutados foram concordantes com os obtidos nos reservatórios estudados. Paraibuna e Ribeirão do Campo foram exemplos de ambientes com taxa de produção baixa e alta porcentagem de fixação de CO_2 no escuro. Ao contrário, o Reservatório de Americana, que tem sido considerado como poluído, não apresentou porcentagens elevadas, comportando-se não como poluído mas sim, como eutrofizado, com taxas muito altas de produção.

Em Pedro Beicht deve ocorrer uma alta atividade heterotrófica, pois as razões foram altas, apesar da produção neste ambiente também se apresentar relativamente alta.

Este fato, até certo ponto, sugere a hipótese de uma maior velocidade na reciclagem de nutrientes nesse reservatório. Poderíamos supor que os nutrientes disponíveis se encontram na biomassa da comunidade (altas concentrações de clorofila-*a* e produtividade). Ao contrário, em Ribeirão do Campo parece ocorrer menor atividade heterotrófica; em consequência, deve ocorre uma reciclagem mais lenta, propiciando um acúmulo de ácidos húmicos.

Os outros valores de fixação relativa estiveram, de modo geral, mais altos que os obtidos por Steeman-Nielsen (op. cit.), mas isto se deve especialmente às baixas taxas de fotossíntese que ocorreram nos reservatórios.

A tendência para um aumento nos níveis mais inferiores, observada na distribuição vertical, é devida à queda na taxa de produção primária.

Com relação aos valores absolutos, ficou clara a necessidade da determinação de um branco para cada nível amostrado.

Todas estas alterações resultam numa queda da produtividade.

Durante o verão, o aumento da temperatura aumenta a taxa fotossintética e acelera o metabolismo geral, permitindo uma adaptação mais rápida, principalmente às variações de luz (Barret & Jeffrey, *in* Hitchcok, 1980).

Esta adaptação rápida, aliás, parece ser a explicação para os fenômenos observados em diversas ocasiões, em vários reservatórios, quando o perfil da produção primária não apresentou a inibição superficial característica, apesar das altas intensidades luminosas.

Por outro lado, há uma queda na transparência, devido à introdução de material carreado pelas chuvas, mais evidente nos reservatórios pouco profundos.

Isto se reflete numa estreita zona eufótica e, apesar das altas taxas de produção próximas à superfície, as produções por unidade de área não são muito altas.

Durante o verão, mesmo nos ambientes fortemente estratificados, ocorre um fluxo horizontal de água, devido à época mais chuvosa. Isto encurta o tempo de retenção, permitindo um aporte de nutrientes e maior produtividade. Este fenômeno é um pouco modificado no caso do Reservatório de Americana. Este recebe um fluxo contínuo de esgoto dos municípios a montante, mas, no verão, os esgotos são mais diluídos devido às chuvas.

Portanto, os principais fatores controladores da produção primária nos reservatórios são: a temperatura, o tempo de retenção e, nos reservatórios monomícticos, as transformações físico-químicos que ocorrem durante o inverno, provocando no fitoplâncton a necessidade de contínua adaptação às novas condições nutricionais e de iluminação.

Com relação aos fatores limitantes, além da turbidez (durante o verão, nos menos profundos e durante o inverno, nos monomícticos), o fósforo parece ser o mais importante.

Assim, no Reservatório de Paraibuna, além das altas razões N:P, o baixo valor absoluto das concentrações de fósforo também sugere que este seja o principal elemento limitante da produtividade neste ambiente.

Os perfis de produção apresentaram-se como do tipo II, segundo Findenegg (*in* Schindler & Holmgreen, *op. cit.*), típicos de ambientes com deficiência nutricional. A única exceção ocorreu em agosto, quando a redução drástica na penetração de luz alterou a forma do perfil de produção e provocou uma queda na produtividade. Além da diminuição da transparência, outros fatores, já discutidos, colaboraram com o abaixamento da taxa de produção nessa época. Os principais foram a diluição do fitoplâncton por toda a massa de água e problemas de adaptação às novas condições físico-químicas, como pode ser verificado pelas baixas concentrações de clorofila-*a* nas três estações, nesta ocasião. O fitoplâncton da Estação Paraibuna, durante a coleta de março, apresentou um comportamento de plâncton de sombra, coerente com a grande espessura e isotermia do epilímnio, que possibilita o acesso à superfície pelo fitoplâncton de regiões próximas da termoclina.

Em dezembro, devido à forte estratificação térmica, o fitoplâncton pôde se adaptar às altas radiações e se comportou como plâncton de sol, apresentando um máximo de produção superficial.

Numa situação de baixa concentração de nutrientes o nanoplâncton tende a apresentar um maior desenvolvimento relativo devido à maior superfície de absorção (Malone, *in* Morris, 1980). Isto pode ser verificado através da alta razão entre produção fracionada e total e pela baixa con—

centração de microplâncton obtida sempre neste ambiente . Apesar das análises de nutrientes tratarem apenas do fosfato dissolvido e, geralmente, a maior parte do fósforo se encontrar na biomassa, a coleta de agosto nas Estações Paraibuna e Paraitinga fornece uma indicação da pobreza deste nutriente nesse ambiente pois, durante a circulação, não foi detectado fósforo dissolvido e a biomassa era muito pequena, sugerindo que este elemento não se encontrava na fração particulada. Apenas a Estação Félix Guisard apresentou uma biomassa um pouco mais alta nessa ocasião. Entretanto, um monitoramento mais freqüente, utilizando bioensaios, seria necessário para a determinação mais precisa da ação da limitação nutricional pelo fósforo. Com experimentos desta natureza poderia ser verificada também a influência dos altos teores de ferro observados.

Outro aspecto relevante em Paraibuna é a queda da transparência no inverno, que impede a assimilação imediata de nutrientes, caso estejam presentes após a circulação.

A grande disponibilidade de CO_2 livre e pH próximo da neutralidade, apesar da alcalinidade relativamente baixa, são típicas deste reservatório e de todos os outros estudados, com exceção dos já eutrofizados.

Portanto, com relação ao esquema proposto por Wetzel (1975), este ambiente pode ser considerado oligotrófico, mas com um hipolímnio com algumas características de distrofia, como a cor marrom das suas águas e a grande quantidade de H_2S. Entretanto, a possibilidade da lenta eliminação da matéria orgância dissolvida, como ocorreu no lago Kariba (Beadle, 1974), tende a reduzir o carater distrófico do hipolímnio.

O Reservatório de Santa Branca, como Paraibuna, apresentou várias vezes aumentos nas concentrações de nitrogênio, principalmente sob forma de amônia, sem um aumento significativo de clorofila-*a* ou taxa de produção, o que

sugere a idéia de limitação nutricional pelo fósforo.

Mesmo após uma circulação, em agosto, as concentrações deste elemento continuaram baixas e, devido à pequena biomassa (a mais baixa observada), pode-se concluir que a fração que se encontra como material particulado também é pequena.

A ausência de inibição superficial do perfil de produção, em agosto, indica um comportamento de plâncton de sol, pois que, apesar do tempo nublado, a radiação não foi muito baixa. A produção, nesta ocasião, pode ter sido limitada pelo fósforo, radiação e turbidez da água.

Em dezembro, a baixa concentração de clorofila-*a* parece resultar novamente da ausência de fósforo, já que houve disponibilidade de nitrogênio.

A grande importância do nanoplâncton observada na produção total deste ambiente é coerente com a situação de deficiência nutricional (Malone, *in* Morris, op. cit.). Além disso, apesar das temperaturas relativamente altas observadas no hipolímnio, a produção de H_2S foi pequena, o que concorda com a baixa produtividade. Em conseqüência, este reservatório pode ser considerado como oligotrófico.

O Reservatório de Atibainha deve situar-se entre oligo e mesotrófico. Também neste caso, o fósforo parece atuar como limitante em algumas ocasiões. Entretanto, a produtividade foi relativamente alta no verão. Em março, provavelmente não foi mais alta devido à baixa radiação durante a coleta. No início do inverno, em maio, a atelomixia permitiu um aumento na concentração de clorofila-*a*, mas provocou a elevação da turbidez (ressuspensão de sedimento das porções do leito mais próximas às margens), a qual atuou como limitante. A maior disponibilidade de nutrientes permitiu uma maior produtividade por parte do microplâncton, constituído principalmente por *Chlamidonas* e *Pediastrum*.

Em agosto, a concentração de clorofila-*a* não esteve muito elevada, ao contrário do que seria de se esperar após um período de circulação e com maior penetração de luz, mas o nitrogênio foi detectado em quantidades relativamente altas. O fósforo continuou em concentrações baixas, semelhante às coletas anteriores, sugerindo limitação por este elemento. A produção por unidade de área foi a mais baixa obtida para este reservatório, mas é possível que estivesse atuando como fator limitante pois, mesmo na superfície, não houve inibição na taxa de produção durante o período estudado.

Em dezembro, apesar do nanoplâncton ser responsável por pouco mais da metade da produção total, a biomassa do microplâncton foi alta (constituído principalmente pelos gêneros *Aphanocapsa* e *Mougeotia*) o que é uma indicação da maior disponibilidade de nutrientes neste ambiente, como já discutido.

O Reservatório de Cachoeira apresenta valores em torno do ótimo para a razão N:P. Tanto a biomassa como a produtividade apresentam valores médios, se bem que, em março e agosto, a radiação luminosa possa ter atuado como limitante.

A análise dos perfis de produção obtidos em março e dezembro pode enquadrar este ambiente no tipo I, de acordo com Findenegg (op. cit.), típico de ambientes eutróficos com baixa penetração de luz.

A participação do microplâncton na produtividade, foi bastante variável durante o ano, mas pode alcançar 80% da produção total, o que também sugere disponibilidade de nutrientes. Em dezembro, o número de organismos do gênero *Mougeotia* encontrado pode ser considerado como de um florescimento, se bem que a razão entre clorofila ativa e clorofila total indicasse que este já se encontrava em declínio.

Numa classificação baseada em Wetzel (1975), mas levando-se em conta o ambiente tropical, o reservatório pode ser considerado como mesotrófico pois apesar do período de anoxia do hipolímnio, com a produção de uma camada de H_2S durante a estraticação, a produção primária foi média.

No Reservatório de Jaguari, o fósforo aparece novamente como elemento limitante. Este fato é evidenciado, na coleta de maio, pelas concentrações relativamente altas de nitrato e amônia, teores muito baixos de fosfato e clorofila-*a* baixa, semelhante à do final do verão.

Em dezembro, no entanto, o fosfato foi detectado em concentrações elevadíssima e incomuns, apesar da concentração de clorofila-*a* ter sido baixa novamente. Neste caso, a biomassa estaria numa fase "lag" de adaptação às novas concentrações de fósforo, ou muito no início de uma fase exponencial de crescimento. Esta imagem é sugerida pelo valor extremamente alto de pigmento ativo em relação ao total. A taxa de produção, apesar de mais alta, não foi proporcional ao aumento do fósforo. A origem das altas concentrações deste nutriente, entretanto, não pôde ser estabelecidade.

Supondo que este foi um enriquecimento ocasional, o Reservatório de Jaguari parece ser do tipo oligotrófico, se considerarmos os teores de fosfato das três primeiras coletas, a biomassa fitoplanctônica e a produção primária.

O nanoplâncton apresentou-se com a maior produtividade relativa, o que também é característico nestes ambientes.

Entretanto, a espessa camada com H_2S observada em março sugere quantidades razoáveis de matéria orgânica sendo decompostas neste ambiente, se bem não se deva excluir a possibilidade da redução de enxofre inorgânico. Como ocorre em Paraibuna, Atibainha e Cachoeira, o material orgâni-

co deve ser proveniente principalmente da vegetação existente quando do preenchimento do reservatório, além de certa quantidade carreada pelas chuvas, já que, pelo menos teoricamente, não deve estar havendo introdução de despejos neste ambiente em função da utilização da água para abastecimento, e a produtividade primária é baixa.

Os Reservatórios de Pedro Beicht e Ribeirão do Campo, polimícticos, apresentam diversas características físicas em comum: estão situados em altitudes semelhantes, muito próximos das cabeceiras dos rios formadores. Ambos não são de construção recente, têm aproximadamente a mesma área, diferindo apenas na profundidade média, que em Ribeirão do Campo é um pouco maior. Encontram-se no interior de reservas, rodeados por mata, o que implica no pequeno lixiviamento de nutrientes para os reservatórios, devido à reabsorção rápida dos mesmos pelas raízes dos vegetais terrestres. Em conseqüência, apresentam condutividade muito baixa.

Entretanto, Ribeirão do Campo situa-se numa região de pluviosidade muito alta, e Pedro Beicht em região de pluviosidade média.

Apesar das diversas características em comum, apresentam algumas diferenças marcantes: a coloração das águas de Ribeirão do Campo é marrom-avermelhada, sugerindo a presença de ácidos húmicos ao passo que as águas de Pedro Beicht são praticamente incolores.

A presença de ácidos húmicos deve ser decorrente da maior quantidade de folhedo carreado para o Reservatório de Ribeirão do Campo devido à maior quantidade de chuvas. Esta matéria orgânica deve entrar no ambiente

numa taxa mais alta do que a sua degradação, resultando na presença dos referidos ácidos orgânicos não degradados. Possivelmente, em decorrência da presença dessas substâncias com fraco poder tampão (Wilson, 1979) o pH é mais baixo neste ambiente. Além disso, devido as propriedades quelantes das mesmas, o ferro é encontrado sempre em solução. Aparentemente tal situação não favorece as populações fitoplanctônicas, que apresentam biomassa sempre baixa, além da baixa produtividade. Os ácidos húmicos, quando em presença de metais micronutrientes pode favorecer o desenvolvimento do fitoplâncton, mas, na ausência dos mesmos, aparentemente não tem função estimulante.

Este reservatório apresentou a temperatura do fundo sempre baixa, mesmo no verão, o que pode reduzir a atividade bacteriana, permitindo o acúmulo de ácidos húmicos. Esta baixa atividade heterotrófica é confirmada, de certo modo, pelas baixas porcentagens de P/T observadas.

Estes fatos resultam também na baixa reciclagem de nutrientes, tendo o fósforo, principalmente, se comportado como limitante nesse ambiente.

Em consequência, este reservatório apresenta-se como distrófico (Wetzel, 1975), devido à carga de material orgânico alóctone que recebe e que pode ter importância maior que a produção fitoplanctônica no balanço energético do sistema.

Segundo Castro, R. M. C., (comunicação pessoal), a diversidade de peixes é pequena e a grande maioria é omnívora, o que indica que não dependem exclusivamente de fito ou zooplâncton.

Portanto, os aspectos a serem estudados futuramente neste reservatório, incluem medidas da taxa de importação e exportação de matéria orgânica e medidas da atividade

heterotrófica, para melhor compreensão dos fenômenos limnológicos e avaliação do valor do fitoplâncton como produtuor primário nesse ambiente.

No Reservatório de Pedro Beicht os nutrientes se apresentaram em baixas concentrações na coluna de água. Isto decorre das altas porcentagens de O.D. observadas (nunca menos que 50% próximo ao sedimento), que provocam a precipitação dos mesmos. A produtividade apresentada foi média e, em conseqüência, este ambiente pode ser considerado como mesotrófico.

No Reservatório de Cabuçu, a clorofila-*a* e a produção primária foram sempre baixas. As razões N:P situaram-se no intervalo de ótimo para o fitoplâncton, mas é possível que algum outro micronutriente atue como limitante.

Apesar das temperaturas relativamente altas junto ao fundo e do ambiente se encontrar geralmente estratificado durante as coletas, nunca se observou baixas concentrações de O.D. junto ao fundo, o que confirma a situação de oligrotrofia.

O Reservatório de Taiaçupeba foi construído sobre terrenos anteriormente destinados à horticultura. Em consequência, poderíamos esperar sintomas de forte eutrofização inicial. Entretanto, foram observados sempre baixos teores de nutrientes dissolvidos, devido principalmente à alta oxigenação das águas que é favorecida pela circulações frequentes, devido à pouca profundidade.

Entretanto, a ressuspensão frequente de sedimentos pela própria ação do vento, permite uma certa liberação de nutrientes pelos mesmos, que são rapidamente absorvidos pelo fitoplâncton e mantém uma biomassa média alta. A produtividade primária não pôde ser bem avaliada devido às coincidências de todas as coletas com dias nublados, mas mesmo assim, os valores foram médios.

Nesta fase de preenchimento, a produção primária pelo fitobentos deve ter uma contribuição significativa no ambiente, uma vez que a luz sempre atingiu o substrato.

Como o reservatório ainda não atingiu sua cota máxima, é prematura qualquer tentativa de classificação em termos tróficos, mas deve ser submetido a um acompanhamento, para melhor compreensão do fenômenos limnologicos futuros.

O Reservatório de Americana já foi descrito por diversos autores (Carvalho, 1975; Zago, 1976) como eutrofizado. Os dados obtidos neste trabalho, em termos de produção primária, confirmaram esses resultados. A forma dos perfis de produção obtidos enquadram-se no tipo I descrito por Findenegg (1964, *in* Schindler & Holmgreen, 1971), característica de lagos eutróficos.

A alta produtividade neste ambiente é decorrente do aporte de águas residuárias de origem doméstica, industrial e agrícola.

Como já mencionado, o tempo de retenção é um importante fator controlador da produção primária neste reservatório. Assim, a queda que ocorre no verão controla a mistura vertical e horizontal e distribuição do fitoplâncton, impedindo estratificações prolongadas. Do ponto de vista químico, assegura a rápida renovação e o suprimento contínuo de nutrientes e exerce influência também sobre a turbidez da água, devido à grande quantidade de material em suspensão carregado pela bacia de drenagem, nessa época do ano.

As temperaturas elevadas na coluna de água contribuem para que mesmo curtos períodos de estagnação promovam a queda de oxigênio no fundo (como em maio) e a produção de H_2S. Neste ambiente, a flutuação diária de O.D. é bastante grande e pode ocorrer devido à fotossíntese e respiração das algas.

Froehlich *et al* (1978) verificaram uma queda de 150% para 80% da saturação na superfície (até 5,0 m) num período de 24 h, mesmo sob forte estratificação.

Durante o inverno, o aumento no tempo de retenção permite a concentração das águas residuárias e, apesar das temperaturas mais baixas, mantém a produtividade num nível relativamente elevado.

Este reservatório apresenta grande quantidade de *Eicchornia crassipes* cobrindo cerca de 10% da superfície.

Durante este trabalho não foram efetuadas medidas de biomassa ou produtividade desse vegetal. Entretanto, Meneghini dos Santos & Leão (dados ainda não publicados) estão realizando estas medidas desde 1980 através de levantamento áereos períodicos com posterior planimetria da área ocupada pelo aguapé, acompanhado de medidas de biomassa realizadas "in situ". Durante o inverno, obtiveram na área coberta pelo aguapé, uma produção de 180 ton/dia, equivalente a 3,6 $gC.m^{-2}.dia^{-1}$, e no verão estima-se que seja maior que 10 $gC.m^{-2}.dia^{-1}$, o que, sem dúvida, contribui com uma parcela equivalente à produção do fitoplâncton que ocorre nos restantes 90% da represa.

Shimizu, G. Y. (com. pessoal), tem observado florescimentos em todas as coletas mensais realizadas a partir de maio de 1981.

O enriquecimento crescente deste ambiente nos últimos anos é evidenciado pelas comparações dos dados de nutrientes obtidos por Zago (1976) e Carvalho (1975) com os dados obtidos neste trabalho.

5 - CONCLUSÕES

5.1 - Conclusões gerais

1 - Foram identificados, em princípio, dois padrões básicos de circulação nos reservatórios estudados: monomíctico quente e polimíctico. Ao primeiro tipo pertencem: Paraibuna, Atibainha e Cachoeira. Ao segundo tipo pertencem: Americana, Cabuçu, Pedro Beicht, Ribeirão do Campo e Taiaçupeba. Santa Branca e Jaguari não apresentaram um padrão bem definido, sendo polimícticos com certa tendência à monomixia.

2 - As medidas de produção primária mostram que, de modo geral, os reservatórios são pouco ou medianamente produtivos. Isto decorre do fato de estarem situados em terrenos pobres, na parte alta das bacias de drenagem, o que se reflete nos baixos valores de condutividade, alcalinidade e na pobreza, principalmente de fósforo. Em alguns destes ambientes, também a baixa penetração de luz reduz a extensão da zona eufótica, diminuindo a produtividade.

O Reservatório de Americana é uma exceção por tratar-se de um ambiente que vem sofrendo eutrofização cultural. Em consequência, apresenta alta produtividade em relação aos demais.

3 - Nos Reservatórios de Atibainha, Jaguari, Paraibuna, Ribeirão do Campo e Santa Branca, o fósforo parece atuar como principal nutriente limitante. Isto é sugerido pelas razões extremamente altas de N:P e pelas baixas concentrações de fosfato total dissolvido observados simultaneamente às baixas concentrações de clorofila-*a*.

4 - O aumento da produtividade dos reservatórios durante o verão se deve ao aumento da temperatura, que atua sobre o número de assimilação, e à maior drenagem das bacias, que permite o aporte de nutrientes. Os dados ob-

tidos sugerem também que o fitoplâncton se encontra adaptado às condições de alta radiação na superfície.

Durante o inverno, com temperaturas mais baixas e com o aumento do tempo de retenção, há uma queda da produtividade nos reservatórios polimícticos. Nos monomícticos, a circulação promove uma queda na transparência e outras modificações nas condições físico-químicas. Isto induz as populações fitoplanctônicas a uma adaptação às novas condições nutricionais e de iluminação. Nestes ambientes, o enriquecimento teoricamente promovido pela circulação, não foi constatado em relação fósforo, o que explica a menor produtividade durante o inverno.

5 - Ao contrário do que ocorre na maioria dos ambientes de regiões temperadas, uma alta porcentagem (70%) dos perfis de taxa de assimilação obtidos não apresentou inibição superficial. Isto sugere uma maior capacidade de adaptação às altas radiações por parte das comunidades fitoplanctônicas da região estudada.

6 - Os máximos superficiais de taxa de assimilação parecem ocorrer principalmente em situações de epilímmnio estreito (4 a 5 m), quando ocorre um certo isolamento das populações fitoplanctônicas dentro dessa camada permitindo a adaptação das mesmas às altas radiações luminosas.

7 - O valor médio de radição ($\bar{I}ot$) observado nas ocasiões em que ocorreram máximos superficiais foi de 196 kcal. $m^{-2}.h^{-1}$. Este valor foi mais alto do que o estimado por Lewis (1974) no Lago Lanao (114 $kcal.m^{-2}.h^{-1}$) como limiar de inibição superficial. Isto corrobora a hipótese de uma grande capacidade de adaptação das populações fitoplanctônicas

8 - O nanoplâncton foi o principal responsável pela produção primária nos ambientes estudados o que provavelmen

te decorre da maior relação superfície/volume apresentada por estes organismos e que permite a melhor exploração de ambientes oligotróficos.

9 - Os números de assimilação foram baixos, de um modo geral, mas tenderam a valores mais altos durante o verão, em decorrência principalmente das temperaturas mais elevadas.

10 - Valores mais altos de número de assimilação foram obtidos em ocasiões em que o nanoplâncton apresentou-se como principal responsável pela produção primária, ao passo que valores mais baixos estiveram associados a maior participação do microplâncton.

11 - Uma classificação dos reservatórios em termos de números de assimilação não é aconselhável devido aos diversos fatores que interferiram nesta estimativa e que não puderam ser controlados.

12 - Os valores de eficiência fotossintética observados foram baixos, semelhantes à grande maioria dos ambientes aquáticos.

5.2 - Conclusões a respeito do estado trófico de cada ambiente:

1 - O Reservatório de Paraibuna se situa entre oligo e distrófico. As altas relações N:P observadas no ambiente, com a consequente baixa produtividade primária, são aspectos típicos de uma situação de oligotrofia; no entanto, a coloração marrom das águas do hipolímnio (após a filtração) em algumas ocasiões, a grande quantidade de H_2S e a presença de Fe dissolvido, em presença de níveis médios de saturação de OD, sugerem a existência de matéria orgânica de origem alóctone, característica de ambientes distróficos. Entretanto, a possibilidade da lenta eliminação da matéria orgânica, tende a dirigir o ambiente em direção à oligotrofia.

2 - O Reservatório de Santa Branca, a jusante de Paraibuna, reproduz várias características deste reservatório, mas seu tempo de retenção muito mais curto, e seu formato semelhante a um rio, modificam, até certo ponto, estas mesmas características. Está mais próximo da oligotrofia mas depende da estabilização de Paraibuna para alcançar sua propria estabilização.

3 - O Reservatório de Atibainha situa-se entre oligo e mesotrófico. Também neste ambiente o fósforo deve atuar como nutriente limitante, como se verifica pelas altas razões N:P. Entretanto sua produtividade primária foi relativamente alta no verão.

4 - O Reservatório de Cachoeira apresenta algumas características de mesotrófico. Apresenta valores dentro do intervalo de ótimo para a razão N:P e a produtividade primária também apresentou-se como média, se bem que a análise dos perfis de produção pudessem enquadrá-lo como tipo I, segundo Findenegg (1964 *in* Schindler & Holmgreen, 1971), típico de ambientes eutróficos. A maior participação do microplâncton na produtividade e o florescimento de células do gênero *Mougeotia*

observado em dezembro, refletem a disponibilidade de nutrientes. O reservatório, no entanto, se enquadra melhor como mesotrófico, pois a produção primária não foi muito elevada e, considerando-se em região tropical, a depleção de OD e produção de H_2S durante a estratificação são esperados, para os níveis observados de produtividade.

5 - No Reservatório de Jaguari o fósforo aparece novamente como elemento limitante (altas razões N/P). Entretanto, em dezembro este elemento foi detectado em concentrações elevadíssimas e incomuns, provocando uma queda drástica nas razões N:P. A origem das altas concentrações de fósforo não pôde ser estabelecida e não foram realizadas novas medidas no local. Supondo que este foi um enriquecimento esporádico, Jaguari pode ser considerado como oligotrófico, considerando-se as concentrações de nutrientes das coletas anteriores, a biomassa fitoplanctônica e a produção primária.

6 - Os Reservatórios de Pedro Beicht e Ribeirão do Campo apresentam diversas características físicas em comum: altitude, proximidade das cabeceiras, construção mais antiga, área e profundidade. Ambos apresentam comportamento polimíctico, encontram-se no interior de reservas, rodeados por matas, o que garante pequena erosão e lixiviamento do solo. Consequentemente apresentam condutividade muito baixa.

Entretanto, Ribeirão do Campo situa-se numa região de pluviosidade alta e Pedro Beicht, em região de pluviosidade média. Isto resulta numa série de modificações específicas para cada ambiente:

Em Ribeirão do Campo a colaboração das águas é marron-avermelhada, sugerindo a presença de grande quantidade de ácidos húmicos não degradados, que decorrem da grande quantidade de matéria orgância morta carreada pelas chuvas.

Em conseqüência, o pH neste ambiente é o mais baixo observado. O ferro permanece em solução, provavelmente quelado. As razões N:P são extremamente altas neste ambiente. Tal conjunto de situações mantêm as populações de fitoplâncton com baixa biomassa e baixa produtividade.

Em conseqüência este ambiente apresenta-se distrófico devido à alta carga de material orgânico alóctone que recebe e que pode ter importância maior que a produção fitoplanctônica no balanço energético do sistema.

Ao contrário, o Reservatório de Pedro Beicht apresenta características de mesotrófico: o OD nunca esteve a menos que 50% de saturação junto ao sedimento; a produção primária se apresentou como média alta, assim como a concentração de clorofila-*a*. As concentrações absolutas de nutrientes foram baixas mas a alta biomassa sugere que a maior parte destes se encontrem contidos na fração particulada.

7 - O Reservatório de Cabuçu apresenta características oligotróficas apesar do ambiente se encontrar sempre estratificado, nunca se observou baixa concentração de OD junto ao fundo. Apesar das razões N:P próximas às razões ideais para fitoplâncton, a pobreza nutricional é evidenciada pelo valor absoluto das concentrações de nitrogênio e fósforo. Além disso, a biomassa e a produtividade foram sempre baixas.

8 - Com relação a Taiaçupeba, o reservatório até o momento não atingiu a cota prevista por construção. Por isto, não foi feita uma tentativa de caracterização do seu estado trófico. Na época deste estudo, além disso, houve coicidência das coletas com dias nublados, o que de ter subestimado o valor da produção primária. Entretanto, alguns fatos puderam ser constatados: os teores de nutrientes foram sempre baixos, apesar dos terrenos sobre os quais o reservatório

foi construído terem sido anteriormente destinados à horticultura. Isto se deve à alta oxigenação, favorecida pelas circulações frequentes a que está submetido, devido à pouca profundidade e à configuração geográfica aberta das áreas adjacentes. A condutividade mais elevada neste ambiente é conseqüência, principalmente, do NaCl, o que sugere contaminação por esgotos domésticos; a contaminação industrial é sugerida pela presença de Zn detectada numa das coletas-

A produção primária do fito-bentos deve ter uma contribuição significativa para este ambiente nessa fase do preenchimento, pois a luz atinge o substrato.

9 - O Reservatório de Americana já foi descrito como eutrofizado por diversos autores (Froehlich *et al*, 1978 Os dados obtidos neste trabalho, em termos de produção primária, confirmam estes resultados. O enriquecimento crescente desse ambiente nos últimos anos é evidenciado pela comparação dos dados de nutrientes aqui obtidos com os de Zago, (1976) e Carvalho (1975).

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'Saber, A.N.; Chacel, F.M. & Tsukumo, N.M.J.
1975 Tratamento paisagístico. Usina de Paraibuna e Barragem de Paraitinga. Publção Geogr.Planej., Inst.Geogr.Univ.S.Paulo,(17):1-35.

Allanson, B.R. & Hart, R.C.
1975 The primary production of Lake Sibaya, Kwa Zulu, South Africa. Verh.int.Verein.Limnol.,19:1426-1433.

Arthur, C.R. & Rigler, F.H.
1967 A possible source of error in the ^{14}C method of measuring primary productivity. Limnol.Oceanogr., 12:121-124.

Barbieri, G.
1976 Crescimento absoluto e relativo do Geophagus brasiliensis (Quoy & Gaimard, 1824) na Represa do Lobo. Tese de Doutoramento. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 135 p.

Barbosa, F.A.R. & Tundisi, J.G.
1980 Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow Quaternary lake at Eastern Brasil. Arch.Hydrobiol., 90(2): 139-161.

Basile-Martins, M.A. & Cipólli, M.N.
1977 Represa de Ponte Nova - Rio Tietê. Fitoplâncton. In:Reunião Anual da SBPC, 29º, São Paulo, Resumos. Ciênc.Cult.SPaulo,(7,supl.):489.

Basile-Martins, M.A.; Cipólli, M.N., & Cestarolli, M.A.
1980 Tipologia de reservatórios do Estado de São Paulo. Produção primária. Rel.à FAPESP.Inst.Pesca da Secr.Agric.54 p.

Baxter, R.M.; Prosser, M.V.; Talling, J.F. & Wood, R.B.
1965 Stratification in tropical African lakes at moderate altitudes (1500 to 2000 m). Limnol. Oceanogr.,10:510-520.

Bayly, I.A.E. & Williams, W.D.
1975 Inland waters and their ecology. Howthorn, Longman, 316 p.

Beadle, L.C.
1974 The inland waters of tropical Africa: an introduction to tropical limnology. New York, Longman, vii+365p.

Bergamin Fº, H.; Reis, B.F. & Zagatto, E.A.G.
1978 A new device for improving sensitivity and stabilization in flow injection analysis. Analytica chim.Acta,97:427-431.

Bonetto, A.A.
1976 A limnologia como fundamento da explotação racional da pesca continental. Anais do I Encontro Nacional sobre Limnologia, Piscicultura e Pesca Continelta1. Belo Horizonte, 15-19 setembro de 1975: 31-48.

Branco, S.M.
1971 Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. São Paulo, FESB/CETESB, 3 vol.

Branco, S.M. & Rocha, A.A.
1977 Poluição, proteção e usos múltiplos de represas, p.103-5. São Paulo, Edgard Blücher, CETESB, 185 p.

Bray, G.A.
1960 A simple efficient liquid scintillator for couting aqueous solutions in liquid scintilation counter. Analyt.Biochem.,1:279-285.

Brezonik, P.
1972 Nitrogen: sources and transformation in natural waters. In: Allen, H.E. & Kramer, J.R., ed.- Nutrients in natural waters. New York, Wiley Intersci., p.1-50.

Brezonick, P.L. & Harper, C.L.
1969 Nitrogen fixation in some anoxic lacustrine environments. Science,N.Y.,164:1277-1279.

Campbell, P.G.; Bobee,B.; Caille, A.; Demalsy, M.J.; Demalsy, P. Sasseville, J.L. & Viccer, S.A.
1975 Pre-impoundment site preparation: a study of the effects of top soil stripping on reservoir water quality. Verh.int.Verein.Limnol.,19:1768-1777.

Carvalho, M.A.J.
1975 A represa de Americana: aspectos físico -químicos e a variação das populações de Copepoda Cyclopoida de vida livre. Tese de Doutoramento. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 80 p.

Charlton, M.N.
1980 Hypolimnion oxgen consumption in lakes: discussion of productivity and morphometry effects. Can.J. Fish.Aquat.Sci.,37(10):1531-1539.

Cipólli, M.N.; Basile-Martins, M.A. & Lobão, V.L.
1977 Represa de Ponte Nova - Rio Tietê. Zooplâncton. Ciênc.Cult., S Paulo 29(7,supl.):488-489.

Cole, B. & Toetz, D.
1979 Interactions between light and nitrate concentration in controling nitrate uptake by reservoir phytoplankton. Arch.Hydrobiol.,86(3):269-283.

Conn, E.E. & Stumpf, P.K.
1970 Bioquímica fundamental. 2ºed. México,D.F.,Limusa--Wiley, 480 p.

Devaux, J.
1980 Contribuition à l'étude limnologique du Lac Pavin (France). 1. Facterus abiotiques et phytoplancton. Hydrobiol.,68(2):167-189.

Doty, M.S. & Oguri, M.
1957 Evidence for a photosynthetic daily periodicity. Limnol.Oceanogr.,2:37-40.

Dubinsky, Z. & Berman, T.
1976 Light utilization efficiencies of phytoplankton in Lake Kinneret (Sea of Galilee). Limnol.Oceanogr., 21(2):226-230.

Edmondson, W.T.
1970 Phosphorus, nitrogen and algae in Lake Washington after diversion of sewage. Science,N.Y.,169:690-691.

Eppley, R.W.; Coatsworth, J.L. & Solorzano, L.
1969 Studies of nitrate reductase in marine phytoplankton. Limnol.Oceanogr.,14:194-205.

Froehlich, C.G.; Arcifa-Zago, M.S. & Carvalho, M.A.J.de
1978 Temperature and oxygen stratification in Americana Reservoir, State of São Paulo, Brazil. Verh.int.Verein.Limnol.,20:1710-1719.

Ganf, G.G.
1974 Diurnal mixing and vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial Lake (L.George). J.Ecol.,62(2):461-659.

Ganf, G.G. & Horne, A.J.
1975 Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogen fixation in a shallow equatorial lake (L.George, Uganda). Freshwater Biol.,5:13-39.

Gargas, E.
1975 A manual for phytoplankton primary production studies in the Baltic. Publ.Balt.mar.Biologists, Dan.Ag.Environ.Prot.,(2):1-88.

Gargantini, H.; Coelho, F.A.S.; Verlengia, F. & Soares, E.
1970 Levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico,35 p.

Gerletti, M.
1968 Dark bottle measurements in primary production studies. Memorie Inst.ital.Idrobiol.,23:197-208

Gliwicz, Z.M.
1979 Metalimnetic gradients and trophic state of lake epilmnion. Memorie Inst.ital.Hidrobiol.,37: 121-143

Godinho, M.J.L.
1976 Ciclo sazonal, "standing-stock" e distribuição do bacterioplâncton em ecossistema lacustre artificial (Represa do Lobo, São Carlos). Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 97 p.

Golterman, H.L.,ed.
1971 Methods for chemical analysis of fresh waters. 3ed.rev. Oxford, Blackwell,xvi+172p.(IBP Handbook,8).

1975 Physiological limnology: an approach to the physiology of lake ecosystems. Amsterdam, Elsevier, 489 p.

Grasshoff, F.
1976 Methods of seawater analysis. New York, Springer-Verlag,317 p.

Harding Jr., L.W.; Meeson, B.W.; Prézelin, B.B. & Sureney,B.M.
1981 Diel periodicity of photosynthesis in marine phytoplankton. Mar.Biol.,61:95-105.

Harris, G.P.
1973 Diel and annual cycles of net plankton photosynthesis in lake Ontario. J.Fish.Res.Bed Can.,30:1779-1787.

1978 Photosynthesis, productivity and growth: the physiological ecology of phytoplankton. Arch.Hydrobiol.Beih.Ergebn.Limnol.,10(1/4):1-171.

Hasting, J.W.; Astrachan, L. & Sweeney, B.M.
1961 A persistent daily rhythm in photosynthesis. J.gen.Physiol.,45:69-76.

Henry, R.

1977 Ciclo sazonal e variações diurnas de fatores ecológicos e plâncton da Represa do Rio Pardo (Botucatú, SP). Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 72 p.

1981 Efeitos da eutroficação artificial por nutrientes inorgânicos na comunidade fitoplanctônica, na Represa do Lobo (Brotas-Itirapina,SP) e no Lago D.Helvécio (Parque Florestal do rio Doce, M.G.) Tese de Doutoramento. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Biológicas, 172 p.

Heredia-Seixas, M.

1971 Aspectos ecológicos das populações de Cladocera (Crustacea) na Represa do Lobo ("Broa"), São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. Departamento de Ciências Biológicas, 116 p.

Heron, J.

1961 The seasonal variation of phosphate, silicate, and nitrate wasters of the English Lake District. Limnol.Oceanogr.,6:338-346.

Hino, K. & Tundisi, J.

1977 Atlas de algas da Represa do Lobo. Universidade Federal de São Carlos - SP. Série Atlas, vol.II, 143 p.

Hitchcock, G.L.

1980 Diel variation in chlorophylla-a, carbohydrate and protein content of the marine diatom Skeletonema costatum. Mar.Biol.,57:271-278.

Hutchinson, G.E.

1957 A treatise on limnology. New York, Wiley, vol.2.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)

1966 **Atlas nacional do Brasil. Regiões bioclimáticas. II-V. Esc:1:1.000.000.**

Ichimura, E.Y. & Aruga, Y.
1964 Photosynthetic natures of natural algal comunities in Japanese Waters. In: Resent researchs in the fields of hydrosphere, atmosphere and nuclear geochemistry. Tokyo, Maruzen, 37 p.

IGG (Instituto Geográfico e Geológico, S.P.)
1963 Mapa geológico do Estado de São Paulo Esc: 1:12.500.000.

Imevbore, A.M.A. & Boszormenyi, Z.
1972 Preliminary measurements of photosynthetic productivity in Lake Kainji. In: Imevbore, A.M.A. & Adegoke, O.S.,ed. - The ecology of Lake Kainji, the transition from river to lake. Ile-Ife, University of Ife Press, p.136-145.

Johames, R.E.
1968 Nutrient Regeneration in lakes and oceans. In: Droop, M.R. & Wood, E.J.F.,eds.-Advances in microbiology of the sea. New York, Acad.Press, p. 203-214.

Jørgensen, E.G. & Steemann Nielsen, E.
1965 Adaptation in plankton algae. Memorie Ist.ital. Idrobiol.,18(suppl.):39-46.

Kalle, K.
1966 The problem of Gelbstoff in the sea. Oceanogr. mar.Biol.,A.Rev.,4:91-104

Kawai, H.
1977 Modelo matemático para avaliação do desenvolvimento do fenômeno da eutrofização na Represa Billings. In: Congr.bras.Engenh.sanit., 9º, Belo Horizonte, 1-20.

Kawai, H.; Yang, E. & Chinez, S.J.
1976 Caracterização das condições sanitárias atuais da Represa Billings em vista do balanço de matéria orgânica e oxigênio dissolvid. In: Congr.interam. Engenha.sanit.,15º, Buenos Aires, p.1-64.

Kramer, J.R.; Herbes, S.E. & Allen, H.E.
1972 Phosphorus: analysis of water, biomass, and sediment. In: Allen, H.E. & Krammer, J.R. ed.- Nutrients in natural waters. New York, John Wiley, 457 p.

Krug, F.J.; Bergamin Fº, H.; Zagatto, E.A.G. & Jorgensen, S.S.
1977 Rapid determination of sulphate in natural waters and plant digests by continuous flow injection turbidimetry. Analyst, Lond.,102:503-508.

Kufel, L.
1976 The role of bottom sediments in the regulation of phosphate concentration in lakes. Polski Archwm Hydrobiol.,23(1):5-15.

1977 The mechanism of phosphate buffering in the water-bottom sediments system. Polski Archwm Hydrobiol., 24 (2):227-233.

Lahann, R.W.
1977 Molybdenum and iron behaviour in oxic and anoxic lake water. Chem.Geol.,20:315-323.

Lean, D.R.S.
1973 Movements of phosphorus between its biologically important forms in lake water. J.Fish.Res.Bd Can., 30:1525-1536.

Le Cren, E.D. & Lowe-McConnell, R.H., eds
1980 The functioning of freshwater ecosystems. Cambridge, Cambridge University Press, 588 p. (IBP Handbook,22).

Lewis, W.M.
1973 The termal regime, chemistry and phytoplankton ecology of Lake Lanao (Phylippines) and its theoretical implications for tropical lakes. Limnol. Oceanogr.,18:200-217.

1974 Primary production in the plankton community of a tropical lake. Ecol.Monogr..44:377-409.

Lorenzen, C.J.
1963 Diurnal variation in photosynthetic activity of natural phytoplankton populations. Limnol.Oceanogr.,8:56-62.

1967 Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. Limnol.Oceanogr., 12:343-346.

Lund, J.W.G.
1950 Studies on Asterionella formosa Hass. II. Nutrient depletion and the spring maximum (Parts I and II). J.Ecol.,38:1-35.

Lund, J.W.G.; Jaworski, G.H.M. & Butterwick, C.
1975 Alga bioassay of water from Blelham Tarn, English Lake Districti, and the growth of planktonic diatoms. Arch.Hydrobiol.,49(suppl.): 46-69.

McAllister, C.D.
1963 Measurement of diurnal variation in productivity at Ocean Station "P". Limnol.Oceanogr.,8:289-292.

Mackereth, F.J.H.; Heron, J. & Talling, J.F.
1978 Water analysis: some revised metods for limnologists. Scient.Publs Fresh-wat.biol.Ass.,(36):1-115.

Macpherson, L.B.; Sinclair, N.R. & Hayes, F.R.
1958 Lake water and sediment. III. The effect of pH on the partition of inorganic phosphate between water and oxidized mud or its ash. Limnol.Oceanogr.,3: 318-326.

Maier, M.H.
1978 Considerações sobre características limnológicas de ambientes lóticos. Bolm Inst. Pesca, S Paulo, 5(2):75-90.

Maier, M.H.; Basile-Martins, M.A.; Cipólli, M.N.; Vieira, A.L.; & De Chiara, E.G.
1978 **Estudo limnológico de um trecho do Rio Mogi-Guaçu I. Características físicas. Bolm.Inst.Pesca, S Pau-**

Malone, T.C.
1980 Algal size. In: Morris, I., ed.-The physiological ecology of phytoplankton, Oxford, Blackwells, p.433-463.

Malone, T.C. & Neale, P.J.
1981 Parameters of light-dependent photosynthesis for phytoplankton size fractions in temperate estuarine and coastal environments. Mar.Biol.,61: 289-297.

Marins, M.A.
1976 Ecologia da alga Melosira italica (Ehr) Kutz: Represa do Lobo, Estado de São Paulo. Tese de Doutoramento. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 144 p.

Marra, J.
1978 Phytoplankton photosynthetic response to vertical movement in a mixed layer. Mar.Biol.,46:203-208.

Matsumura-Tundisi, T. & Tundisi, J.G.
1976 Plankton studies in a lacustrine environment.I. Preliminary data on zooplankton ecology of Broa reservoir. Oecologia, Berl.,25:265-270.

Melack, J.M.
1979 Temporal variability of phytoplankton in tropical lakes. Oecologia,Berl.,44:1-7.

Michalski, M.F.P.; Nicholls, K.H. & Johnson, M.G.
1975 Phosphorus removal and water quality improvement in Gravenhurst Bay, Ontario. Verh.int.Verein.Limnol., 19:644-659.

Mitchell, D.S.
1973 Supply of plant nutrient chemicals in Lake Kariba. Geophys.Monogr.,(17):165-169.

Monteiro, C.A.F.
1973 **Dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 130 p.**

Moraes, M.E.
1978 Ciclo sazonal, distribuição horizontal e vertical e interrelações ecológicas de nutrientes na Represa do Lobo (Brotas-Itirapina,SP). Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 153 p.

Moris, I.; Yentsch, C.M. & Yentsch, C.S.
1971 Relationship between light carbon-dioxide fixation and dark carbon-dioxide fixation by marine algae. Limnol.Oceanogr.,16:854-858.

Mortimer, C.H.
1971 Chemical exchanges between sediments and water in the Great Lakes. Speculations on probable regulatory mechanisms. Limnol.Oceanogr.,16:387-404.

Nakamoto, N.M:; Marins, M. & Tundisi, J.G.
1976 Synchronous growth of Melosira italica in a shallow tropical reservois. Oecologia,Berl.,23:179-184.

Nakata, H. & Kuwabara, R.
1977 Seasonal variation of water qualities in Lake Shinsei in relation to the release of iron and manganese from bottom sediments. Jap.J.Limnol., 38(3):75-89.

Nicholls, K.H. & Dillon, P.J.
1978 An evaluation of phosphorus-chlorophyll - phytoplankton relationships for lakes. Int.Revue ges. Hidrobiol.,63(2):141-154.

Odum, H.T.
1957 Throphic structure and productivity of Silver Springs, Florida. Ecol.Monogr.,27:55-112.

Osborne, P.L.
1980 Prediction of P and N concentration in lakes from both interval and external loading rats. Hydrobiologia, 69(3):229-233.

Ostrofsky, M.L. & Duthie, H.C.
1978 An aproach to modelling productivity in reservoirs. Verh.int.Verein.Limnol.,20:1562-1567.

Otsuki, A. & Wetzel, R.G.
1972 Coprecipitation of phosphate with carbonates in a marl lake. Limnol.Oceanogr.,17:763-767.

Paerl, H.W. & MacKenzie, L.A.
1977 A comparative study of the diurnal carbon fixation patterns of nannoplankton and net plankton. Limnol.Oceanogr.,22(4):732-738.

Perkin-Elmer,
1973 Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Norwalk.

Pongar, R.W. & Thompson, G.R.
1978 Inductively-coupled argon plasma emission and atomic absorption spectroscopy: a comparison study of process water sample analysis. Jarrel,Ash Plasma Newsl.,1:5-8.

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.

Poole, H.H. & Atkins, W.R.G.
1929 Photo-eletric measurements of submarine illumination through out the year. J.mar.Biol.Ass.U.K.,16: 297-324.

Prado, E.C. do
1980 Energia solar: estudos e realizações. Problemas bras., Revta mens.cult.,SESC,(188):18-30.

Redfield, A.C.
1958 The biological control of chemical factors in the environment. Am.Scient.,46:205-221.

Rhee, G. -Y.

1974 Phosphate uptake under nitrate limitation by Scenedesmus sp. and its ecological implications. J.Phycol., 10: 470-475.

1978 Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition and nitrate uptake. Limnol.Oceanogr.,23:10-25.

Rhee, G.-Y. & Gotham, I.J.

1980 Optimun N:P ration and coexistence of planktonic algae. J.Phycol.,16:486-489.

Rigler, F.H.

1964 The phosphorus fractions and the turn over time of inorganic phosphorus in different types of lakes. Limnol.Oceanogr.,9:511-518.

1966 Radiobiological analysis of inorganic phosphorus in lake water. Verh.int.Ver.Limnol.,16:465-470.

Robarts, R.D.

1976 Primary productivity of the upper reaches of a South African estuary (Swartvlei). J.exp.mar. Biol.Ecol.,24:93-102.

1979 Underwater light penetration, chlorophyll-a and primary production in a tropical African lake (Lake McIlwaine,Rhodesia). Arch.Hydrobiol., 86 (4):423-444.

Robarts, R.D. & Southall, G.C.

1977 Nutrient limitation of phytoplankton growth in seven tropical man-made lakes, with special reference to lake McIlwaine, Rhodesia. Arch. Hydrobiol.,79:1-35.

Rocha, A.A.

1972 Estudo sobre a fauna bentônica da Represa de Americana no Estado de São Paulo. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 65 p.

Rocha, A.A.
1976 A limnologia, os aspectos ecológico-sanitários e a macrofauna bentônica da Represa do Guarapiranga na região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutoramento. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 193 p.

Rocha, A.A.; Branco, W.C. & Kawai, H.
1972 Capacidade auto depuradora da Represa de Americana. Congreso interam.Ingen.Sanit.,Paraguay,XIII, p.1-27.

Rocha, A.A.; Branco, W.C.; Kawai, H. Fukuda, F.
1971 Estudo das condições sanitárias da Represa de Americana. Revta.DAE, S Paulo,31(79):369-378.

Rocha, O.
1978 Flutuação sazonal e distribuição da população de Diaptomus furcatus, Sars (Copepoda, Calanoida) na Represa do Lobo (Broa), São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 147 p.

Rocha, O. & Matsumura-Tundisi, T.
1976 Atlas do zooplâncton (Reserva do Broa, São Carlos). Copepoda. Universidade Federal de São CArlos,vol.1.

Rodhe, W.
1958 Primarproduktion und Seetypen.Verh.int.Verein. Limnol.,13:121-141.

1965 Standard correlations between pelagic photosynthesis and light. Proc.IBP Symposium on Primary Productivity in Aquatic Environments, Pallanza,April 1965. Mem.Inst.ital.Idrobiol.,18(suppl.):365-381.

1972 Evaluation of primary production parameters in Lake Kinneret (Israel). Verh.int.Verein.Limnol., 18:83-104.

1974 Limnology turns to warm lakes. Arch.Hydrobiol., 83(4):537-548.

Roselino, A.C.

1979 Curvas de luz-fotossintese, enriquecimento artificial e fatores ecológicos na Represa do Lobo, São CArlos, SP. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências, 241. p.

Ryther, J.H.

1956 Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. Limnol.Oceanogr.,2:281-286.

Ryther, J. & Dunstan, W.M.

1971 Nitrogen, phosphorus and eutrophication in coastal marine environment. Science, N.Y., 171: 1008-113.

Ruttner, F.

1931 Hydrographische und hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatra und Bali. Arch.Hydrobiol., (suppl.5):137-454.

Saunders, G.W.

1972 Potencial heterotrophy in a natural population of Oscillatoria agardhii var.isothrix Skuja. Limnol.Oceanogr.,17:704-711.

Schindler, D.W.

1978 Factors regulating phytoplankton production and standing-crop in the world's freshwaters. Limnol.Oceanogr.,23:478-486.

1974 Eutrophication and recovery in experimental lakes: implication for lake management.Science, N.Y.,184:897-899.

Schindler, D.W. & Holmgren, S.K.

1971 Primary production and phytoplankton in the Experimental Lakes Area, Northwestern Ontario, and other low carbonate waters and a liquid scintilation method for determining ^{14}C activity in photosynthesis. J.Fish.Res.Bd Can.,28:189-201.

Schmitdt, G.W.
1973 Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian waters. III. Primary productivity of phytoplankton in a tropical flood-plain lake of central Amazonia, Lago do Castanho, Amazonas, Brazil. Amazoniana,4:379-404.

Sendacz, S.
1978 Alguns aspectos do zooplâncton da Represa Billings. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 84 p.

Shimizu, G.Y.
1978 Represa de Americana: aspectos do bentos litoral. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 148 p.

Silva, V.P. da
1980 Variações diurnas de fatores ecológicos em quatro lagos naturais do "Pantanal Matogrossense" e seu estudo comparativo com dois lagos da Amazonia Central e um lago artificial (Represa do Lobo, "Broa"; São Carlos, SP). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciencias Biológicas, 281 p.

Smayda, T.J.
1975 Phased cell division in natural populations of the marine diatom Ditylum brightwelli and the potencial significance of diel phytoplankton behaviour in the sea. Deep-Sea Res.,22:151-165.

Standard Methods, for examination of water and wastewater 13 th ed.
1971 New York, APHA, W.P.C.F., 874 p.

Steemann-Nielsen, E.
1952 The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. J.Cons.perm.int. Expl.Mer,18:117-140.

Steemann-Nielsen, E.

1957 The chlorophyll content and the light utilization in communities of plankton algae terrestrial higher plants. Physiologia plant.,10:1003-1021.

1960 Dark fixation of CO_2 and measurements of organic productivity with remarks on chemosynthesis. Physiologia plant.,13:348-357.

1975 Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects. Amsterdam, Elsevier, 141 p.

Stross, R.G., Chisholm, S.W. & Downing,T.A.

1973 Causes of daily rhythms in photosynthetic rates of phytoplankton. Biol.Bull.,mar.biol.Lab.,Woods Hole,145:200-209.

Stumm, W. & Morgan, J.J.

1970 Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. New York, Wiley Interscience, 583p.

Talling, J.F.

1957 Photosynthetic characteristics of some freshwater diatoms in relation to underwater radiation. New Phytol.56:29-50.

1965 The photosynthetic activity of phytoplankton in East African lakes. Int.Rev.ges.Hydrobiol.,50:1-32.

1966 The annual cycle of stratification and phytoplankton growth in Lake Victoria (East Africa). Int.Rev.ges.Hydrobiol.,51:545-621.

1969 The incidence of vertical mixing and some biological and chemical consequences in tropical African lakes. Verh.int.Verein.Limnol.,17:998-1012.

Talling, J.F.; Wood, R.B.; Prosser, M.V. & Baxter, R.M.

1973 The upper limit of photosynthetic productivity by phytoplankton: evidence from Ethiopian soda lakes. Freshw.Biol.,3:53-76.

Teixeira, C.

1969 Estudos sobre algumas características do fitoplâncton da região lagunar de Cananéia e seu potencial fotossintético. Tese de Doutoramento. Universidade de São Paulo, Fac.Filos.Ciênc. Letras

1973 Introdução aos métodos para medir a produção primaria do fitoplâncton marinho. Bolm Inst.oceanogr., S Paulo,22:59-92.

1980 Estudo quantitativo da produção primária, clorofila-a e parâmetros abióticos em relação à variação temporal (Lat.23°30'S - Long.45°06'W). Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 243 p.

Tilzer, M.

1973 Diurnal periodicity in the phytoplankton population of a high-mountain lake. Limnol.Oceanogr.,18:15-30.

Tilzer, M.M.; Goldman, C.R. & Amezaga, E. de

1975 The efficiency of photosynthetic light energy utilization by lake phytoplankton. Verh.int. Verein.Limnol.,19:800-807.

Troppmair, H.

1975 Regiões ecológicas do Estado de São Paulo. Biogeogr., Inst.Geogr.Univ.S.Paulo,(10):1-24.

Tundisi, J.G.

1969 Produção primária "standing-stock" e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia. Tese de Doutoramento. Universidade de São Paulo, Fac.Filos.Ciênc.Letras, 131 p.

1976 Estudos limnológicos no Estado de São Paulo: pesquisas realizadas e situação atual do campo. Anais do I Encontro Nacional sobre Limnologia, Piscicultura e Pesca Continental. Belo Horizonte, 15-19 setembro de 1975, p.183-188.

Tundisi, J.G.
1977 Produção primária, "standing Stock", fracionamento do fitoplancton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial (Represa do Broa), São Carlos, Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Fac.Fil.Ciências e Letras de Ribeirão Preto, 409 p.

1980 Projeto Tipologia de Reservatórios do Estado de São Paulo. Relatório à FAPESP. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Biologia, 3 vol.

Tundisi, J.G.; Gomes, C.L.; Sommer, C.H.; Andrade, E.R.; Sioli, H.; Meneghetti, J.O.; Basile-Martins, M.A. Fenerich, N. & Matsumura-Tundisi, T.
1976 Relatório da Comissão de Limnologia Tropical. Anais do I Encontro Nacional sobre Limnologia, Psicultura e Pesca Continental. Belo Horizonte, 15-19 setembro, 1975, p.499-512.

Tundisi, J.G., Tundisi, T.M.; Rocha, O.; Gentil, J.G. & Nakamoto, N.
1977 Primary production,standing-stock of phytoplankton and ecological factors in a shallow tropical reservoir (Represa do Broa, São Carlos, Brasil). Sem.Medio Ambiente Y Represas,1:138-172.

Tundisi, J.G., Gentil, J.G. & Dirickson, M.C.
1978a Seasonal cycle of primary production of nanno and microphytoplankton in a shallow tropical reservoir. Revta brasil.Bot.1:35-39.

Tundisi, J.G.; Tundisi, T.M. Barbosa, F.A.; Gentil, J.G.; Rugani, C.; Forte Pontes, M.C.; Aleixo, R.C.; Okano, W.Y. & Santos, L.C.dos
1978b Estudos limnológicos no sistema de lagos do Parque Florestal do Rio Doce, M.G. Convênio CETEC/ /UFSCar, 147 p.

Verduin, J.
1957 Daytime variations in phytoplankton photosynthesis. Limnol.Oceanogr.,2:333-336.

Vincent, W.F.
1980 Mechanisms of rapid photosynthetic adaptation in natural phytoplankton communities. II. Changes in photochemical capacity as measured by DCMU-induced chlorophyll fluorescence. J.Phycol.,16:568-577.

Viner, A.B.
1969 Observation of the hydrobiology of the Volta Lake April 1965 - April 1966. In: Obeng, L.E., ed. Man-made lakes: The Ciccra Symposium: 133-143.

1975 Non-biological factors affecting phosphate recycling in the water of a tropical eutrophic lake. Verh.int.Verein.Limnol.,19:1404-1415.

Viner, A.B. & Smith, I.R.
1973 Geographical, historical and physical aspects of Lake George. Proc.R.Soc.Lond.,B.184:235-270.

Visser, S.A.
1974 Composition of waters of lakes and rivers in east and west Africa. Afr.J.trop.Hydrobiol.Fish.,3(1): 43-60.

Vollenweider, R.A.
1961 Photometric studies in inland waters. Relations existing in the spectral extinction of light in water. Mem.Ist.ital.Idrobiol.,13:87-113.

1974 Primary production in aquatic environments. Oxford,Blackwell, 213 p.(IBP Handbook,12).

Vollenweider, R.A. & Nauwerck, A.
1961 Some observations on the ^{14}C method for measuring primary production. Verh.int.Verein.Limnol.,14: 134-139.

Ward, F.J. & Nakanishi, M.
1971 A comparison of Geiger-Mueller and liquid scintillation counting methods in estimating primary productivity.Limnol.Oceanogr.,16 (3):560-563

Wetzel, R.G.
1975 Limnology. Londo, Saunders, 743 p.

Williams, W.D. & Wan, J.F.
1972 Some distinctive features of Australian inland waters.Water Res.,6:829-836.

Wilson, D.E.
1979 The influence of humic compounds on titrimetric determinations of total inorganic carvon in freshwater. ARch.Hydrobiol.,87(3):379-384.

Xavier, M.B.
1979 Contribuição ao estudo da variação sazonal do fitoplâncton da Represa Billings - São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 146 p.

Zago, M.S.A.
1976 The planktonic Cladocera (Crustacea) and aspects of the eutrophication of American Reservoir, Brasil. Bolm Zool.Univ. S Paulo,1:105-145.