

Acta Limnol. Brasil.	Vol. I.	155-178	1986
----------------------	---------	---------	------

ESTUDOS SOBRE A FERTILIDADE POTENCIAL DAS ÁGUAS DO
RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

RAMOS, M.L.L.C.*; GOLDSTEIN, E.G.*; LOMBARDI, C.C.*; ZAGATTO, P.A.*

RESUMO

Como parte integrante de um estudo amplo pela CETESB para avaliar a influência do atual regime operacional do Alto Tietê sobre a qualidade das águas do Reservatório de Barra Bonita, foram realizados ensaios biológicos com amostras de água deste reservatório, no período de março a setembro de 1984. Estes ensaios tiveram por objetivo avaliar o crescimento algáceo que essas amostras poderiam suportar, verificar o efeito da adição de nitrogênio e fósforo, e detectar a eventual presença de agentes tóxicos em níveis que poderiam inibir o crescimento da alga teste.

Os ensaios foram desenvolvidos com a alga *Chlorella vulgaris*, de acordo com a metodologia descrita no "Algal Assay Bottle Test" (EPA, 1971), à qual foram introduzidas algumas modificações (CETESB, 1983).

Nos experimentos de enriquecimento ficou evidenciado que o fósforo é um nutriente limitante ao crescimento algáceo nessas amostras. Embora o nitrogênio não tenha estimulado o crescimento de *C. vulgaris*, sua adição juntamente com o fósforo teve uma provável ação sinérgica, uma vez que o

crescimento observado foi superior ao dos demais tratamentos.

Apesar da relação N/P das amostras estudadas confirmarem ser o fósforo um nutriente limitante, não se observou, de uma maneira geral, correlação direta entre os níveis de nutrientes e o crescimento algáceo.

ABSTRACT - STUDY ON THE POTENTIAL FERTILITY OF THE WATER IN THE BARRA BONITA RESERVOIR

This work is part of an extensive study that CETESB has been carrying out in Barra Bonita reservoir. The main goal is to assess the influence of the "Alto Tietê" Operational System on water quality of this reservoir.

Biological assays were prepared with water samples collected in the reservoir between March and September, 1984. These assays were developed with the alga *Chlorella vulgaris* according to the "Algal Assay Bottle Test" (EPA, 1971). Some modifications were introduced in this method (CETESB, 1983).

These assays performed in order to evaluate the algal growth potential of the reservoir water samples, the effect of nitrogen and phosphorus enrichments, and to detect the presence of substances toxic to algal growth.

The enrichment assays showed that phosphorus is the limiting nutrient for algal growth. Although nitrogen did not stimulate *C. vulgaris* growth, its addition together with phosphorus had a synergistic effect since the observed growth was higher than that obtained in other treatments.

The N/P relationship showed that P was the limiting nutrient, but a good correlation between the level of nutrients and the algal growth was not observed.

INTRODUÇÃO

O estudo das concentrações de nutrientes na água e nas contribuições para um corpo receptor, embora fundamental, não permite a elaboração de conclusões definitivas, uma vez que não leva em consideração a necessidade fisiológica dos organismos, ou seja, suas necessidades nutricionais e sua capacidade de estocar os elementos (HENRY et al, 1983).

Uma vez que a abordagem do gerenciamento de nutrientes deve ser seletiva, enfatizando-se o controle somente de "substâncias-chave", há necessidade de que possam ser utilizados métodos para avaliar cada corpo d'água, no sentido de verificar qual ou quais nutrientes se deseja controlar. A fim de minimizar os problemas existentes, são necessárias técnicas para identificar nutrientes limitantes, as fontes de nutrientes, quais substâncias estão presentes nestas fontes e que estão estimulando o crescimento vegetal. A fim de proteger as comunidades aquáticas, são necessários métodos para avaliar a sensibilidade de um sistema aquático a um enriquecimento adicional e para verificar possíveis efeitos de contaminantes ambientais em potencial (JORDAN e BENDER, 1973).

Tem sido demonstrado que experimentos de bioensaios são mais apropriados para a determinação da disponibilidade de nutrientes para algas do que os métodos químicos padronizados para determinação de nitrogênio, fósforo e outras substâncias promotoras de crescimento (SHIROYAMA et al, 1976a in SCHANZ, 1982). Assim, no presente trabalho foram realizados ensaios biológicos com algas, com o objetivo de se obter informações sobre o crescimento potencial de fitoplâncton em amostras de água provenientes de vários locais do reservatório de Barra Bonita.

Com a finalidade de identificar nutrientes limitantes em diferentes épocas do ano, foram também realizados experimentos de enriquecimento com fósforo e nitrogênio. Este estudo foi realizado como parte integrante de um estudo am-

plo, realizado pela CETESB, para avaliar a influência do atual regime operacional do Alto Tietê sobre a qualidade das águas do reservatório de Barra Bonita.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi definido um número mínimo de pontos de amostragem que pudesse representar as características das águas do reservatório de Barra Bonita, tendo em vista sua morfometria e contribuição. Assim, foram escolhidos cinco pontos, situados nos braços do Rio Tietê (pontos 2 e 2A), Rio Piracicaba (ponto 3) e Corpo Central da represa (pontos 4 e 7) (Fig. 1). As coletas de água nestes pontos foram realizadas nos meses de março (23/03), junho (08/06), julho (13/07), agosto (16/08) e setembro (14/09) de 1984. Nos pontos 2, 4 e 7, foram coletadas amostras em 3 profundidades (superfície, meio e fundo) que foram compostas em uma amostra única, representativa de cada ponto, enquanto nos pontos 2A e 3, somente amostragens de superfície foram efetuadas.

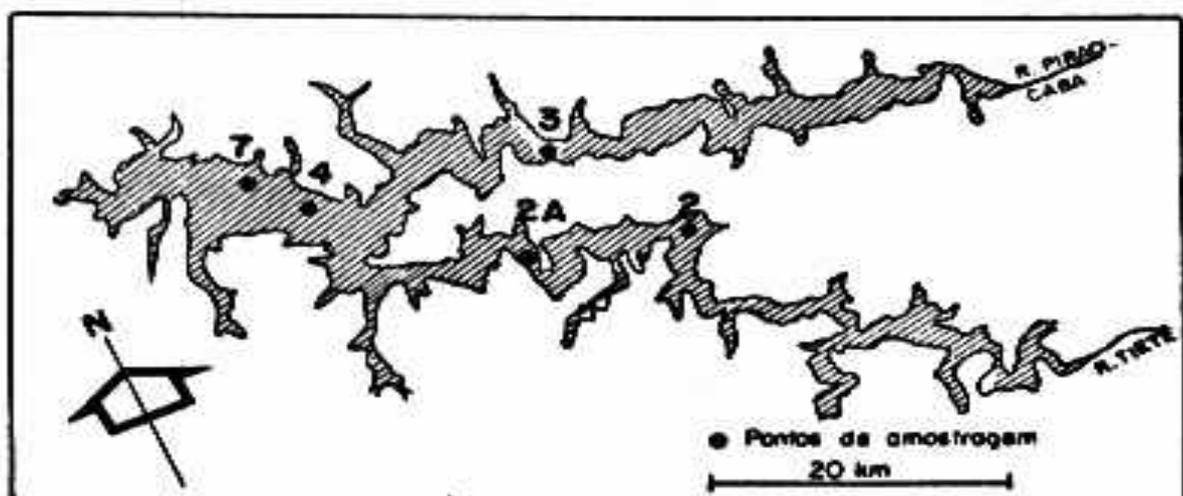


Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem no reservatório BARRA BONITA.

Após a composição das amostras de água, estas foram filtradas sob condições assépticas em membranas Millipore 0,45 μm de porosidade e utilizadas para a realização dos ensaios e para a determinação dos teores de fósforo total, ortofosfatos, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e nitrato (APHA, 1980). As membranas foram pré-lavadas com 50 ml de água destilada esterilizada.

Os ensaios foram realizados de acordo com a metodologia descrita no "Algal Assay Procedure Bottle Test" (EPA, 1971) na qual foram introduzidas modificações constantes do Procedimento Operacional Padronizado para PCA, Laboratório de Bioensaios, CETESB (1983). Através desse método, culturas axênicas de *Chlorella vulgaris* foram utilizadas para avaliar o crescimento algáceo que a água da represa pode, potencialmente suportar e verificar o efeito da adição de nutrientes inorgânicos em amostras de água do local. Assim, soluções de fósforo e nitrogênio, em concentrações utilizadas no meio de cultura L.C. Oligo, ou seja, 71,1 mg de P/L na forma K_2HPO_4 e 186,1 mg N/l na forma de KNO_3 , foram adicionados nos experimentos de enriquecimento.

Em cada época de amostragem foram preparados os seguintes tratamentos, com duas réplicas para cada ponto de coleta:

- a) Água da represa (controle)
- b) Água da represa + N
- c) Água da represa + P
- d) Água da represa + N + P

Foi utilizado um inóculo de 10.000 células/ml, sendo que o crescimento observado no meio L.C. Oligo constituiu-se no controle do inóculo em todos os testes. O crescimento algáceo foi acompanhado através de contagem de células no microscópio, em Câmaras de Sedgwick-Rafter e de Neubauer, tendo sido estimada a biomassa máxima em cada tratamento. Dos

valores em número de células/ml obtidos das duas réplicas de cada tratamento, foram subtraídos seus respectivos valores iniciais (inóculo). Para maior rigor na análise estatística efetuada, os dados de contagem celular foram transformados em valores logarítmicos antes da aplicação do tratamento estatístico e as médias (\bar{X}) e desvios-padrão (S) dos resultados de cada tratamento nos vários experimentos realizados foram calculados.

Devido à perda de réplicas de alguns tratamentos durante os experimentos e à impossibilidade de nova coleta em determinados pontos de amostragem, em alguns meses, não foi possível analisar estatisticamente, de forma eficiente, todos os dados em conjunto, tendo sido, portanto, escolhidos os meses, pontos de amostragem e tratamentos, cujos resultados foram completos.

Os dados resultantes (meses de março, julho e setembro; pontos 2, 2A e 4), foram submetidos a uma análise de variância (DAVIES & GOLDSMITH, 1976), cujas fontes de variação foram: tratamentos (4), meses (3) e pontos (3). Os valores de F crítico e os valores de F calculados para cada variável foram comparados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das determinações químicas das amostras de água filtradas utilizadas nos ensaios, no período de março a setembro, estão apresentados na Tab. 1. Embora não tenha sido possível a coleta de amostras no braço do Rio Piracicaba (Ponto 3), nos meses de julho e agosto, verifica-se que, de uma maneira geral, os níveis de nitrato foram mais elevados no braço do Rio Tietê do que no Rio Piracicaba e no Corpo Central do reservatório.

Quanto aos níveis das demais variáveis analisadas, observa-se que estes são, de maneira geral, semelhantes nos vários pontos de coleta e ao longo do período de amostragem,

Tabela 1 - Níveis de nutrientes das amostras de água utilizadas nos ensaios após filtração em membrana Millipore 0,45 µm de porosidade.

PONTOS DE AMOSTRAGEM		PONTO 2 PONTO 2A PONTO 3 PONTO 4 PONTO 7				
		VARIÁVEIS				
Nitrogênio kjedahl Total mg/ℓ	Março	0,90	0,60	0,50	0,50	-
	Junho	0,50	0,50	0,60	0,70	-
	Julho	0,70	0,50	-	0,40	0,50
	Agosto	-	0,40	-	0,40	0,20
	Setembro	0,80	1,00	0,80	0,80	-
Nitrato (NO ₃ ⁻) mg/ℓ	Março	1,95	1,85	0,73	0,99	-
	Junho	1,98	1,97	0,79	1,35	-
	Julho	1,77	1,59	-	1,23	1,19
	Agosto	-	2,57	-	1,04	0,97
	Setembro	2,88	2,94	0,97	1,14	-
Nitrogênio Amoniacal (NH ₄ ⁺) mg/ℓ	Março	0,12	0,12	0,09	0,005	-
	Junho	0,10	0,06	0,09	0,05	-
	Julho	0,08	0,07	-	0,07	0,02
	Agosto	-	0,04	-	0,03	0,06
	Setembro	0,18	0,22	0,15	0,20	-
Fósforo Total mg/ℓ	Março	0,055	0,060	0,035	0,030	-
	Junho	0,015	0,015	0,015	0,025	-
	Julho	0,020	0,025	-	0,015	0,025
	Agosto	-	0,025	-	0,020	0,015
	Setembro	0,050	0,060	0,025	0,020	-
Ortofosfato (PO ₄ ³⁻) mg/ℓ	Março	0,035	0,055	0,015	0,015	-
	Junho	0,025	0,010	0,010	0,015	-
	Julho	0,020	0,015	-	0,010	0,015
	Agosto	-	0,010	-	0,010	0,010
	Setembro	0,040	0,040	0,015	0,010	-

com exceção dos níveis mais elevados de P-total, ortofosfato e N-amoniacoal, nos meses de março e setembro, nos pontos 2 e 2A.

Os resultados dos ensaios biológicos com *Chlorella vulgaris* estão reunidos na Fig. 2. Nela são apresentados os valores da biomassa máxima atingidas pelo crescimento desta micro-alga, nas amostras de água dos vários pontos, nos meses de março, junho, julho, agosto e setembro. Em geral, os valores máximos foram obtidos no terceiro dia de teste, sendo que uma curva típica do crescimento observado está representada na Fig. 3. O crescimento exponencial observado entre o 19 e 29 dias de teste, comportamento este comum a todas as amostras de água estudadas, constitui um forte indício de que não havia nestas amostras a presença de agentes tóxicos em níveis capazes de inibir o crescimento do organismo teste (CAIN et al, 1979). Este crescimento exponencial possibilitou que a biomassa máxima fosse atingida rapidamente através da utilização dos nutrientes disponíveis que, uma vez esgotados, levaram a um rápido declínio da biomassa de algas (Figs. 2 e 3).

Observa-se ainda (Fig. 2), que nos meses de março e junho, a biomassa máxima atingida pelas culturas de *C. vulgaris* inoculadas nas amostras de água filtrada do reservatório foi da ordem de 30.000 a 160.000 células/ml; nos meses de julho e agosto, a biomassa máxima foi mais elevada (230.000 a 800.000 células/ml, sendo que no mês de setembro, foram obtidos os valores máximos de biomassa, da ordem de 1.300.000 a 2.000.000 de células/ml.

Na Tab. 2, estão representados os valores médios e desvios padrão dos resultados do número de células/ml transformados em valores logarítmicos, de cada tratamento, nos vários experimentos realizados.

Na análise de variância, onde se considerou somente os resultados dos experimentos com a água do reservatório, foram evidenciadas diferenças estatisticamente significativas, tanto entre amostras de água coletadas nos vários pon-

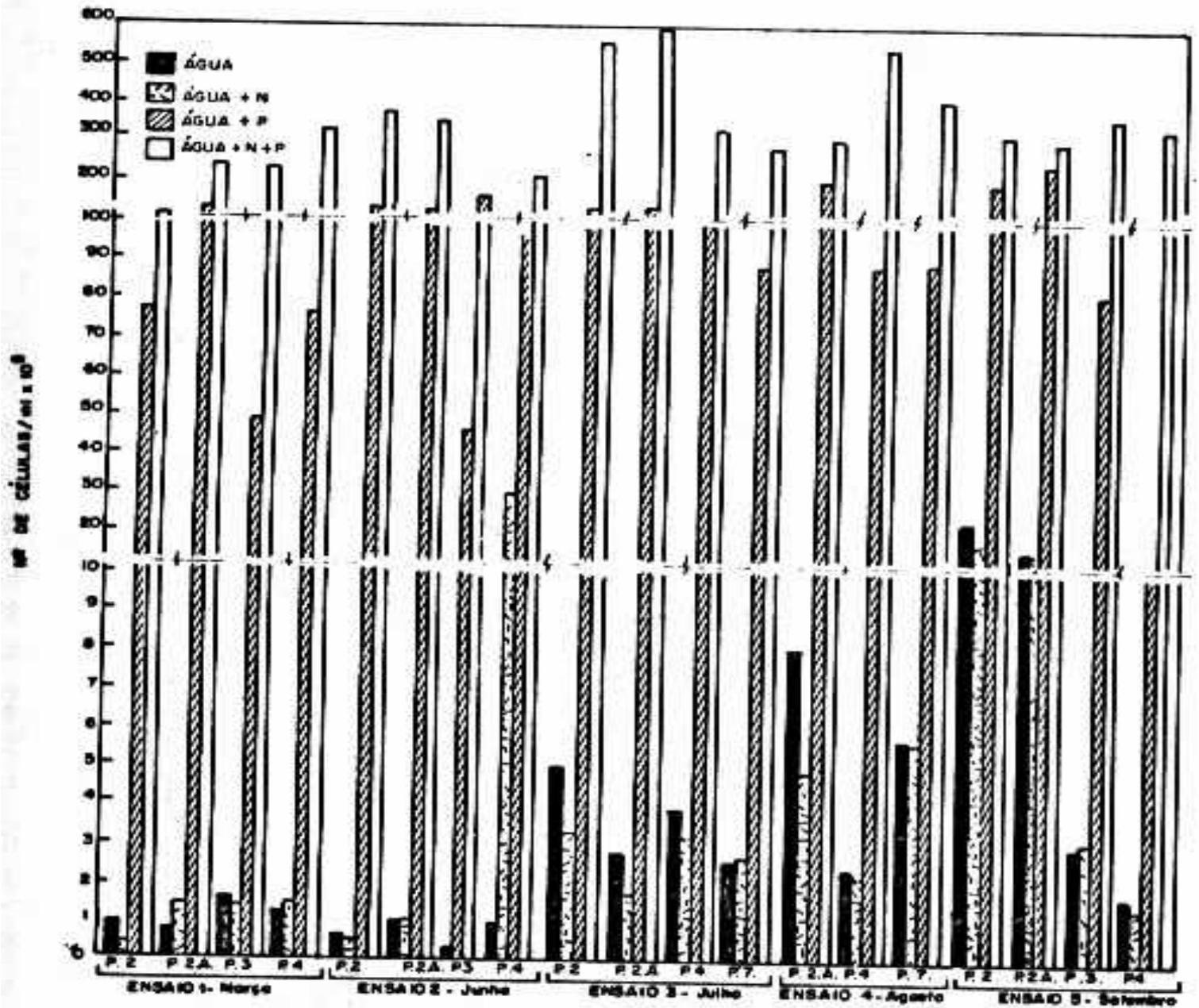


Figura 2 - Resultados dos ensaios biológicos com *Chlorella vulgaris*.

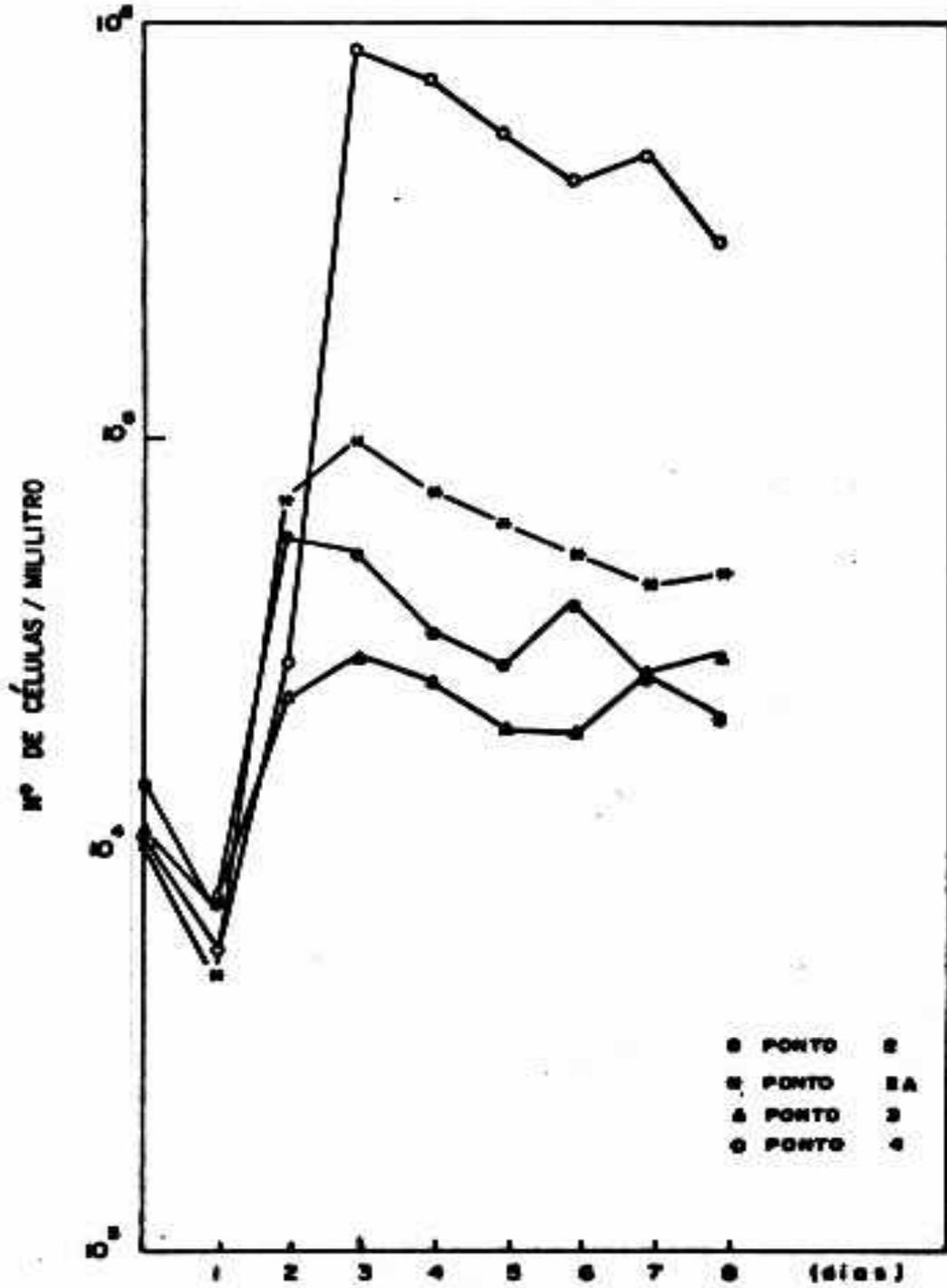


Figura 3 - Curvas de crescimento de *Chlorella vulgaris* em amostras de água de vários pontos (junho, 1984).

Tabela 2 - Média (\bar{X}) e desvios padrão (S) dos resultados do nº de células/ml, transformados em valores logarítmicos, de cada tratamento nos vários experimentos realizados.

TRATAMENTOS		ÁGUA DO RESERVATÓRIO																																					
		2					3					4					7					2A					3					4					7		
MESES		\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S						
Março		0,82	0,08	0,71	0,06	0,90	0,05	0,83	0,04	-	-	0,30	0,05	0,94	0,07	0,91	0,03	0,88	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Junho		0,60	0,01	0,99	0,10	0,43	0,08	-	-	-	-	0,67	0,19	0,89	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Julho		1,65	0,02	1,37	0,09	-	-	1,47	0,17	1,25	0,09	1,41	0,33	1,12	0,01	-	-	1,28	0,09	1,19	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Agosto		-	-	1,65	0,01	-	-	1,15	0,01	1,47	0,06	-	-	1,50	0,02	-	-	1,15	0,13	1,54	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Setembro		2,10	0,07	2,11	0,01	1,45	0,10	1,16	0,02	-	-	2,14	0,02	2,10	0,07	1,43	0,08	1,19	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

TRATAMENTOS		ÁGUA + P										ÁGUA + N + P																											
		2					3					4					7					2A					3					4					7		
MESES		\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S														
Março		2,52	0,02	2,79	0,12	2,38	0,09	2,53	0,01	-	-	2,65	0,39	3,07	0,15	3,06	0,06	3,03	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Junho		3,02	0,11	3,11	0,07	2,42	0,01	-	-	-	-	3,44	0,16	3,38	0,10	2,93	0,27	3,25	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Julho		2,99	0,12	2,95	0,02	-	-	2,90	0,04	2,82	0,06	3,51	0,21	3,49	0,12	-	-	3,34	0,11	3,15	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Agosto		-	-	3,12	0,13	-	-	2,84	0,01	2,78	0,01	-	-	3,20	0,09	-	-	3,37	0,06	3,18	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Setembro		3,21	0,01	3,32	0,08	2,83	0,08	3,07	0,00	-	-	3,31	0,08	3,44	0,04	3,51	0,01	3,57	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

tos de amostragem, como entre amostras obtidas em diferentes épocas do ano (Tab. 3).

Tabela 3 - Resultados da análise de variância realizada, considerando os dados obtidos nos experimentos com amostras de água do reservatório de Barra Bonita

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F	F Crítico
Meses	2	1,601	228,73	4,26
Pontos	2	0,216	30,86	4,26
Meses x Pontos	4	0,219	31,29	3,63
Resto	9	0,007		

Os níveis de nutrientes mensurados não explicam as diferenças de crescimento observadas, sendo importante salientar que as condições de teste foram as mesmas durante todos os ensaios.

Resultados de experimentos realizados por outros autores evidenciam uma correlação entre níveis de nutrientes e crescimento algáceo sustentado por amostras de águas naturais (CHIAUDANI & VIGHI, 1974), em especial ortofosfato (CAIN et al, 1979; LINDMARK, 1972 e MALONEY et al, 1972).

Com as amostras de água do reservatório, filtradas e inoculadas com *C. vulgaris*, foram também realizados experimentos de enriquecimento com a adição de nitrogênio e fósforo, nutrientes estes que apresentam grande influência no crescimento do fitoplâncton (MILLER et al, 1974 e GOLTERMAN, 1975 in HENRY et al, 1983).

Em experimentos de enriquecimento, usando uma única espécie algácea, os resultados são fáceis de serem interpretados devido ao fato de que a única diferença entre o trata

mento e a cultura controle (água apenas) é o nutriente adicionado. Embora os resultados possam ser de difícil aplicação a águas naturais (onde as condições ambientais são diferentes, as densidades celulares são geralmente mais baixas e de caráter multiespecífico), alguns autores verificaram uma boa correlação entre o crescimento da comunidade fitoplanctônica natural e os resultados de ensaios com culturas uniaxiais em laboratório (GREENE et al, 1976a e 1976b). Assim, a verificação de uma estimulação de crescimento pode ser seguramente interpretada como uma indicação de que a substância adicionada é biologicamente ativa e que poderia estimular o crescimento algáceo no sistema natural (JORDAN & BENDER, 1973).

Pode-se observar pela Fig. 2, comparando-se os dados obtidos nos experimentos com a água do reservatório com aqueles resultantes do enriquecimento artificial realizado através da adição isolada de fósforo e da adição conjunta de nitrogênio e fósforo, que houve uma estimulação significativa do crescimento de *C. vulgaris* nas condições de teste. Já a adição isolada de nitrogênio não afetou o crescimento algáceo, com exceção do observado com a amostra do ponto 4, no mês de junho.

Na Fig. 4, é possível verificar o crescimento algáceo típico observado em praticamente todas as amostras submetidas aos tratamentos de enriquecimento com nutrientes. Por estes resultados, fica evidenciado o fósforo como nutriente limitante nos vários locais de amostragem do reservatório e em todas as épocas do ano estudadas. Esses resultados são confirmados pela análise de variância realizada, considerando-se conjuntamente os tratamentos, os meses do ano e os pontos de amostragem (Tab. 4).

Através dessa análise, verifica-se que a influência dos tratamentos no crescimento de *Chlorella vulgaris* é altamente significativa e independe da localização dos pontos de amostragem e da época do ano.

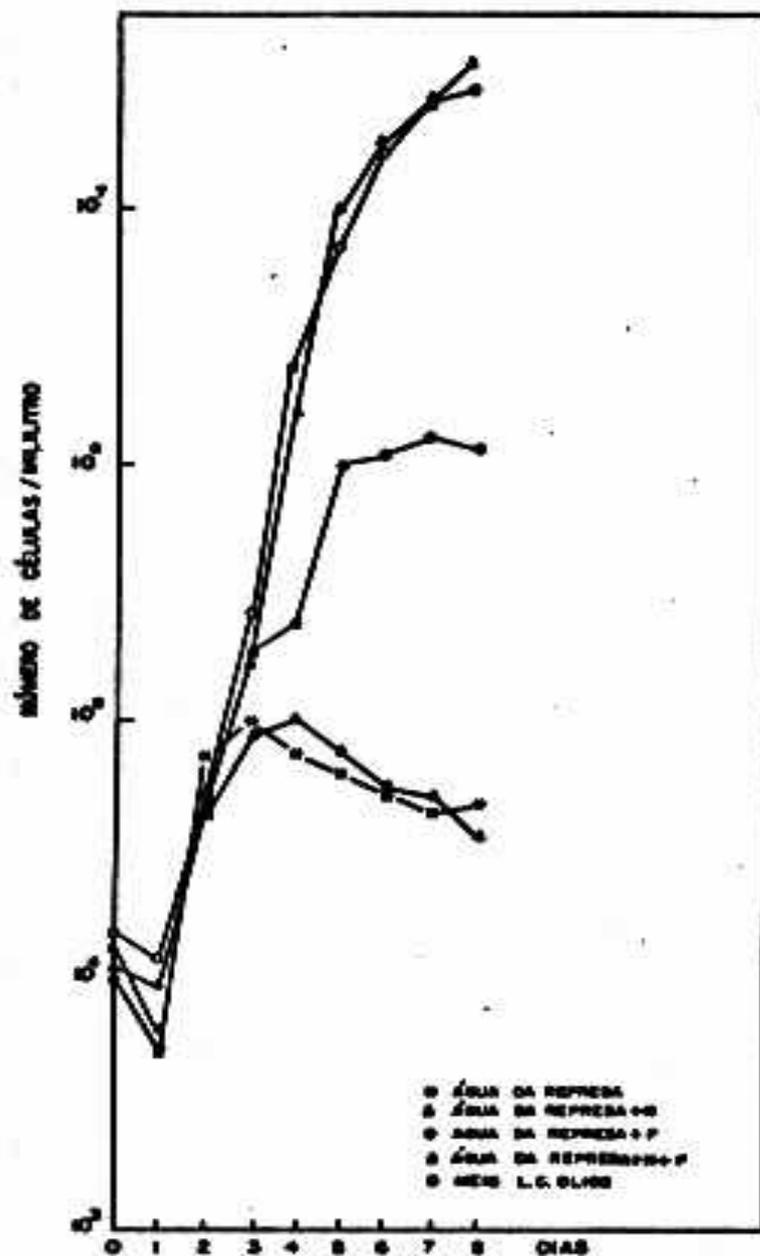


Figura 4 - Curvas representativas do crescimento de *Chlorella vulgaris* em vários tratamentos (ponto 2A, junho)

Tabela 4 - Resultados da análise de variância realizada, considerando os dados obtidos nos experimentos com amostras de água e nos experimentos de enriquecimento com nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F	F Crítico
Tratamentos	3	38,86	176,64	3,49
Meses	2	8,01	36,41	3,89
Pontos	2	0,41	1,86	3,89
Trat. x Meses	6	0,32	1,45	3,00
Trat. x Pontos	6	0,16	0,73	3,00
Meses x Pontos	4	0,67	3,05	3,26
Trat. x Meses x Pontos (Resto)	12	0,22		

As Figs. 5, 6 e 7 mostram, através de uma representação gráfica, na qual foram estabelecidos intervalos de 90% para as respectivas médias, que, independentemente da época do ano, nos tratamentos onde se adicionou fósforo, e nitrogênio e fósforo conjuntamente, houve uma estimulação de crescimento algáceo significativamente maior que nos tratamentos onde se adicionou somente nitrogênio.

A análise estatística também acusou com segurança (99%), a influência das diferentes épocas do ano no crescimento da alga-teste em amostras enriquecidas com N, P e N+P, mas não evidenciou diferença significativa deste crescimento entre os pontos de amostragem.

De acordo com vários autores (CHIAUDANI & VIGHI, 1974; HENRY & TUNDISI, 1982; SCHINDLER, 1978 apud HENRY & TUNDISI, 1982), a relação N/P na forma de nitrogênio inorgânico total e ortofosfato, pode ser utilizada como um índice experimental para a avaliação da limitação desses elementos

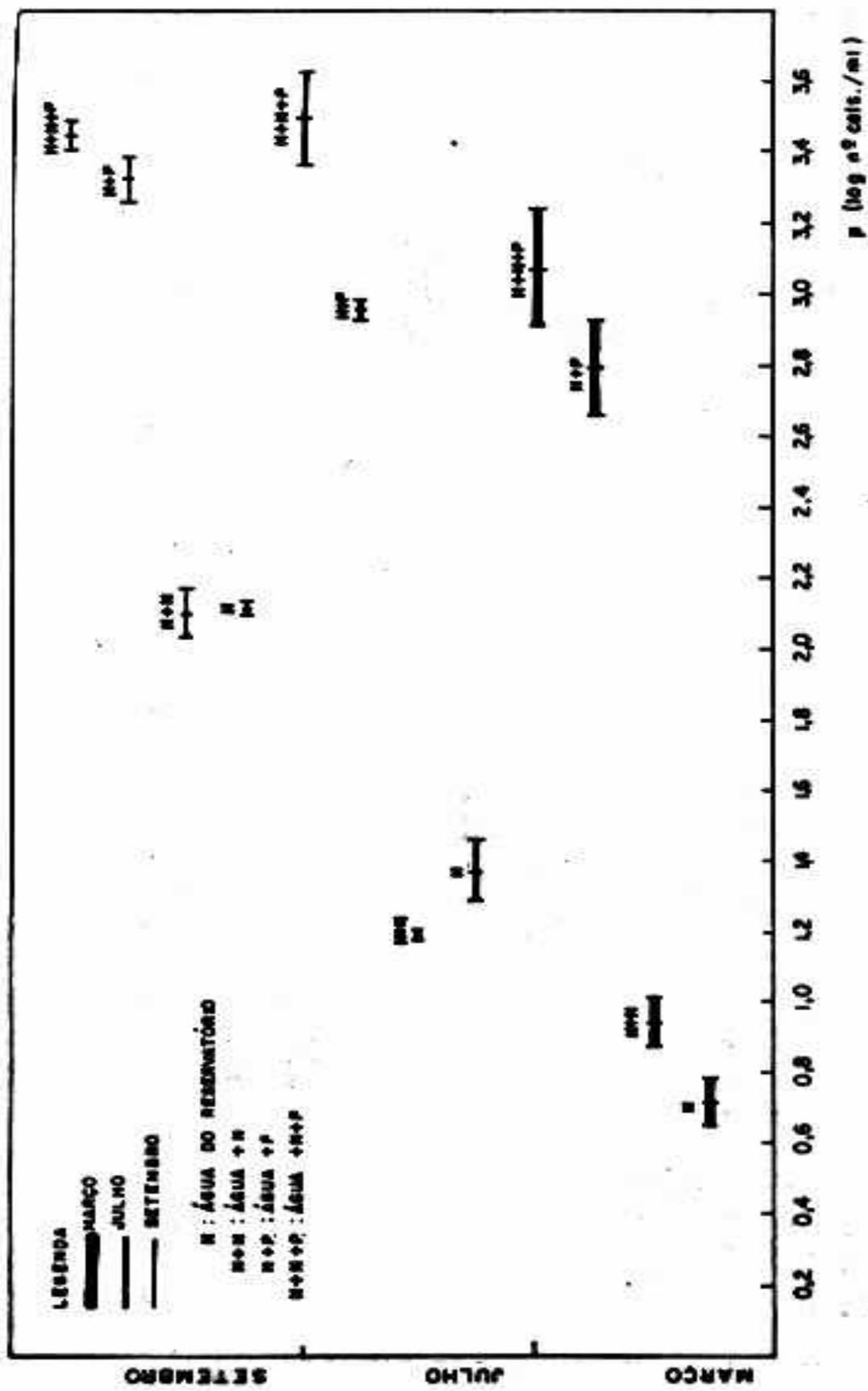


Figura 6 - Representação gráfica comparativa das médias (\bar{x}) e desvios padrão (s) dos resultados obtidos nos vários tratamentos ao longo do ano, no ponto 2A.

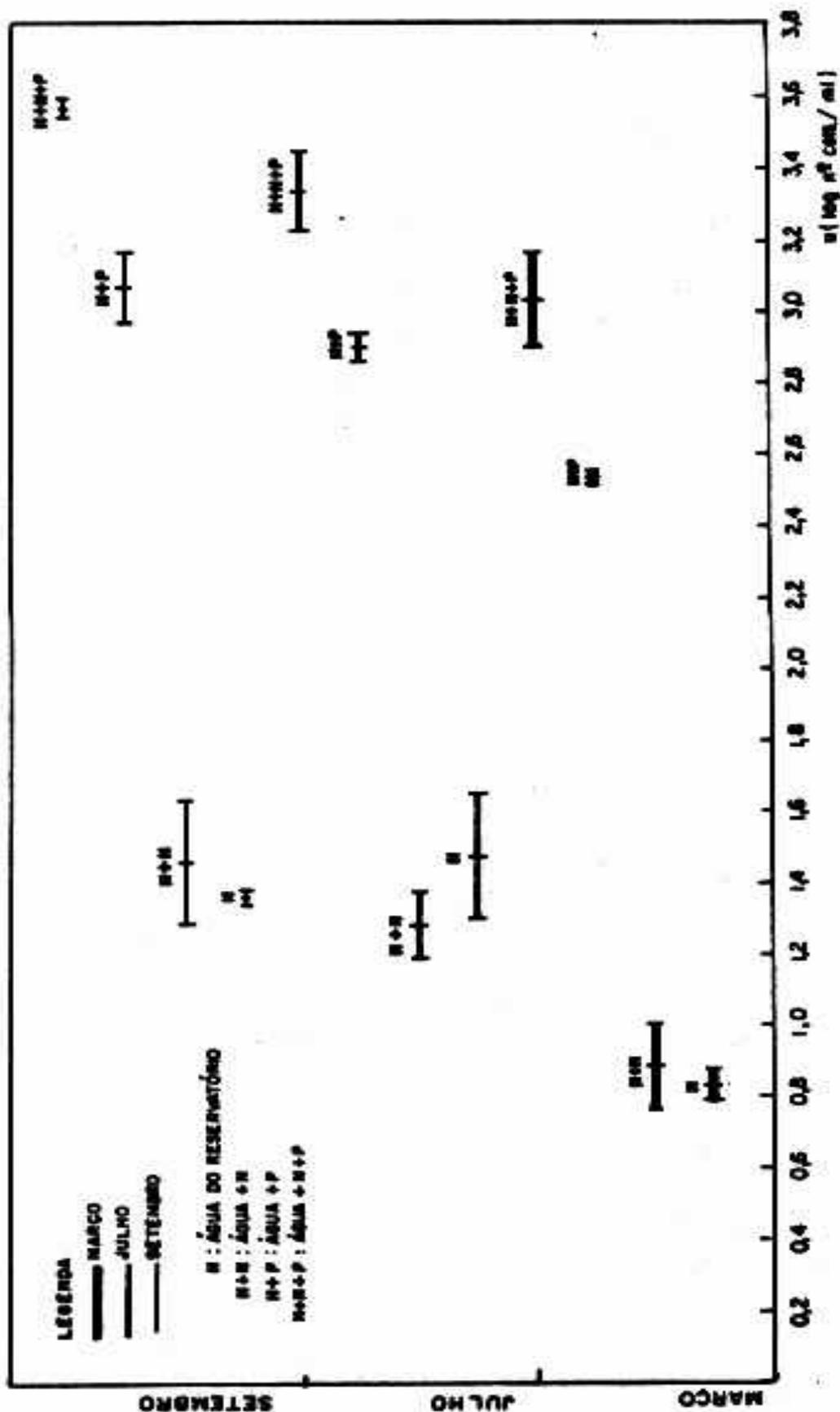


Figura 7 - Representação gráfica comparativa das médias (\bar{x}) e desvios padrão (s) dos resultados obtidos nos vários tratamentos ao longo do ano, no ponto 4.

em águas naturais. Dessa maneira, uma relação N/P maior que 10, indicaria uma limitação em fósforo; taxas menores que 5, uma limitação em nitrogênio e entre esses dois valores, na faixa de 5 a 10, não haveria limitação de nenhum dos dois elementos (CHIAUDANI & VIGHI, 1974). Segundo estes autores, a relação N/P em águas naturais pode ser útil também para uma avaliação grosseira do "input" de nutrientes para um determinado sistema receptor.

As análises químicas das amostras de água utilizadas nos ensaios não permitiram que fosse verificada a relação N/P, uma vez que os níveis de nitrito não foram avaliados; porém, o cálculo da relação N/P em termos de nitrato e ortofosfato resultou em altos valores, variando de 20,9 (ponto 3, março, 1984) a 257 (ponto 2A, agosto de 1984). Considerando que os valores obtidos seriam todos mais elevados se os dados de nitrogênio inorgânico fossem utilizados, este Índice que de fato, como foi evidenciado pelos experimentos de enriquecimento, o fósforo surge como um elemento limitante do crescimento fitoplanctônico em todas as amostras estudadas.

Segundo alguns autores (MOSS, 1969 in HENRY & TUNDISI, 1982 e MILLER et al, 1976), o cálculo da relação N/P não é por si só suficiente para fornecer indicações precisas sobre a possível limitação por nitrogênio ou fósforo no desenvolvimento do fitoplâncton, tornando-se necessário medir os efeitos do enriquecimento no crescimento algáceo.

É interessante notar que, segundo a classificação trófica desenvolvida por TOLEDO JR. et al (1983), o fósforo em forma de ortofosfato, embora limitante, apresenta nas amostras de água estudadas, níveis que podem ser classificados como mesotróficos-eutróficos.

BELLINGER (1979), comenta que a adição de nutrientes não estimula o crescimento somente em águas oligotróficas e que em experimentos realizados em corpos d'água onde as concentrações de N e P eram bastante altas, também foi observada a estimulação no crescimento do fitoplâncton. Em um gran

de número de experimentos, nos quais o nitrogênio e o fósforo foram testados isoladamente e em conjunto, verificou-se que seus efeitos foram interdependentes quando misturados. Nestes estudos ficou demonstrado que o nitrogênio e fósforo interagem sinergicamente, estimulando o crescimento algáceo, mas o mecanismo de interação ainda não é totalmente conhecido (JORDAN & BENDER, 1973; SCHELSKE, 1984). Resultados semelhantes foram obtidos em experimentos desenvolvidos por BELLINGER (1979).

Esta interação foi também observada na maioria dos tratamentos com amostras de água do Reservatório de Barra Bonita, que receberam a adição conjunta de nitrogênio e fósforo. Nestas, notou-se um crescimento significativamente maior do que o verificado com as amostras enriquecidas com nitrogênio e fósforo separadamente (Figs. 2, 5, 6 e 7).

CONCLUSÕES

Os ensaios biológicos realizados com amostras de água do Reservatório de Barra Bonita, permitiram concluir que:

- O crescimento algáceo verificado nos experimentos realizados com amostras de água obtidas em vários pontos do reservatório em diferentes épocas do ano foi significativamente diferente.
- Não foi verificada correlação entre os níveis de nutrientes mensurados nas amostras de água filtrada e o crescimento algáceo sustentado por estas amostras.
- As curvas de crescimento de *C. vulgaris* nas amostras de água filtrada do Reservatório de Barra Bonita indicam ausência de agentes tóxicos em níveis que possam inibir o crescimento da espécie teste.

- Não foi observado efeito significativo no crescimento algáceo, quando se adicionou nitrogênio às amostras de água do reservatório.
- A adição de fósforo às amostras de água promoveu um estímulo altamente significativo do crescimento de *Chlorella vulgaris* em todas as amostras estudadas e em todas as épocas do ano, evidenciando assim, ser o fósforo o nutriente limitante do crescimento algáceo no Reservatório de Barra Bonita.
- Os resultados dos ensaios biológicos confirmaram os indícios fornecidos pela relação nitrato/fosfato, de que o fósforo constitui um fator limitante do crescimento algáceo no Reservatório de Barra Bonita.
- Foi observado um efeito sinérgico entre nitrogênio e fósforo na maioria dos tratamentos de enriquecimento com ambos os nutrientes. Nestes, notou-se um crescimento algáceo significativamente maior do que o verificado nos tratamentos enriquecidos com nitrogênio e fósforo separadamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 15 ed., New York, AWWA/WPCF, 1980. 1134p.
- BELLINGER, E.G. The response of algal populations to changes in lake water quality. In: JAMES, A. & EVISON, L. Biological indicators of water quality. Chichester, John Wiley, 1979. cap. 9
- CAIN, J.R.; KLOTZ, R.L.; TRAINOR, F.R.; COSTELLO, R. Algal

assay and chemical analysis: a comparative study of water quality assessment techniques in a polluted river. Environ. Pollut.: 215-24, 1979.

CETESB. Desenvolvimento de métodos para o estabelecimento de critérios ecotoxicológicos. São Paulo, 1983.

CHIAUDANI, G. & VIGHI, M. The N:P ratio and tests with *Selenastrium* to predict eutrophication in lakes. Water Res., 8: 1063-69, 1974.

EPA. Algal assay procedure: bottle test. United States, Environmental Protection Agency, 1971.

DAVIES, O.L. & GOLDSMITH, P.L. Statistical methods in research and production 4 ed. London, Longman. 1976. p. 478.

GREENE, J.C.; SOLTERO, R.A.; MILLER, W.E.; GASPERINO, A.F.; SHIROYAMA, T. The relationship of laboratory algal assays to measurements of indigenous phytoplankton in Long Lake, Washington. In: MIDDLEBROOKS, E.J.; FALKENBORG D.H.; MALONEY, T.E. ed. Biostimulation and Nutrient Assessment. Ann Arbor Science, 1976. p. 93-126.

GREENE, J.C.; MILLER, W.E.; SHIROYAMA, T.; SOLTERO, R.A. ; PUTMAN, K. Use of algal assays to assess the effects of municipal and smelter wastes upon phytoplankton production. In: SYMPOSIUM ON TERRESTRIAL AND AQUATIC ECOLOGICAL STUDIES OF THE NORTHWEST. Eastern Washington State College Press, 1976. Proceedings... Washington, March 26-27, 1976. p. 327-36.

HENRY, R. & TUNDISI, J.G. Efeitos de enriquecimento artificial por nitrato e fosfato no crescimento da comunidade fitoplanctônica da represa do Lobo ("Broa", Brotas, Itirapina, SP). Ci. e Cult., 34(4): 518-24, 1982.

- HENRY, R.; TUNDISI, J.G.; CURI, P.R. Fertilidade potencial em ecossistemas aquáticos: estimativa através de experimentos de eutrofização artificial. Ci. e Cult., 35 (6): 789-804, 1983.
- JORDAN, R.A. & BENDER, M.E. An "in situ" evaluation of nutrient effects in lakes. s.l., 1983. (Ecological Research Series. EPA-R 3-73-018).
- LINDMARK, G. Bioassay with *Selenastrum capricornutum* to assess the nutrient status of lakes and the fertilizing influence to interstitial water. NORDIC SYMPOSIUM, Oslo, Secretariat of Environmental Sciences, 1973. Proceedings.. Oslo, Secretariat of Environmental Sciences, October 25-26, 1973.
- MALONEY, T.E.; MILLER, W.E.; SHIROYAMA, T. Algal responses to nutrient additions in natural waters. I. Laboratory assays. In: _____. Nutrients and Eutrophication Special Symposia. s.l. The American Society of Limnology and Oceanography, 1972. v. 1 p. 134-40.
- MILLER, W.E.; MALONEY, T.E.; GREENE, J.C. Algal productivity in 49 lake waters as determined by algal assays. Water Res., 8: 667-79, 1974.
- MILLER, W.E.; GREENE, J.C.; SHIROYAMA, T. Application of algal assays to define the effects of wastewater effluents upon algal growth in multiple use river systems. In: MIDDLEBROOKS, E.J.; FALKENBORG, D.H.; MALONEY, T.E., ed. Biostimulation and nutrient assessment. Ann Arbor, Ann Arbor Science, 1976. p. 77-92.
- SCHANZ, F. Bioassays and the algal populations of Hastings Lake, Alberta, Canada. Water Res., 16: 441-7, 1982.
- SCHELSKE, C.L. "In situ" and natural phytoplankton assemblage

