

Variações dos nutrientes, nitrogênio e fósforo, as algas e a clorofila-a na represa Billings

Aristides Almeida Rocha (1)
Pedro Jureidini (2)
Samuel Murgel Branco (1)

Ottone Firmino Motter (2)
Raimundo Alves de Lima Filho (3)
Luiz Alberto Maktas Meiches (3)

Introdução

Para uma análise histórica (**background**) dos nutrientes na represa Billings, foi preciso recorrer ao "desbaste" e à seleção de dados, que pudessem ser representativos de um determinado espaço de tempo, visto que as informações existentes estão dispersas aleatoriamente ao longo dos anos, impedindo a efetivação de comparações. Todavia, para o ano de 1975, conseguiu-se uma série conveniente de dados de nitrogênio e fósforo em suas várias formas, que puderam ser correlacionadas aos dados de clorofila-a, às algas e à vazão, o que permitiu razoável interpretação e conhecimento da dinâmica de eutrofização no reservatório.

Paralelamente, para a verificação de tendências ao longo dos últimos 30 anos, foram utilizados os dados de nitrogênio e fósforo totais, estes os únicos que apresentam uma série confiável de dados.

Para o trabalho, uma dificuldade capital enfrentada, quando se tomou a decisão de realizá-lo, foi a da não coincidência dos locais de amostragem ao se examinar as várias fontes de dados.

Esse óbice, no entanto, que à primeira vista parecia inviabilizar a pesquisa, foi sanado, quando após o exame e comparação entre os dados, verificou-se ser possível pôr em prática a idéia de subdividir a represa em zonas, que pudessem ser caracterizadas por setores diversos.

Foram estabelecidas as seguintes zonas representativas assim descritas:

Zona A — que se estende da barragem da Pedreira até 6 km de extensão, ao longo do corpo central da represa na linha divisória X-X;

Zona B — que se estende desde a linha divisória X-X até 5,5 km de distância; na linha divisória Y-Y;

Zona C — que se estende desde a linha divisória até o aterro e ponte da rodovia dos Imigrantes, a 3 km de distância;

Zona D — que se estende desde a rodovia dos Imigrantes até a linha divisória Z-Z, a 3 km de distância no eixo principal da represa; limita-se, ainda, no braço do rio Pequeno, com a ponte da via Anchieta, situada a 9 km da ponte e aterro da via dos Imigrantes e com o **Summit Control** a 8 km de distância do aterro e ponte da via dos Imigrantes.

Zona E — que se estende desde a ponte da via Anchieta no rio Pequeno até as cabeceiras deste, na extensão total de 11 km;

Zona F — que se estende desde a linha divisória Z-Z até o aterro e parte da via Anchieta, onde, a partir de janeiro de 1982, foi construída a barragem Anchieta, na extensão de 3,5 km e,

Zona G — que se estende desde a barragem Anchieta até as cabeceiras do braço do rio Grande, a 15 km de distância.

Em cada uma dessas zonas, foram caracterizados os seguintes setores, cujas localizações são respectivamente:

a) na Zona A

Setor I junto à barragem da Pedreira, a 23,5 km do **Summit Control**;

Setor II a 1 km da Pedreira e a 22,5 km do **Summit Control**;

Setor III a 1,5 km da Pedreira e a 22 km do **Summit Control**;

Setor IV a 2 km da Pedreira e a 21,5 km do **Summit Control**;

Setor V a 2,5 km da Pedreira e a 21 km do **Summit Control**;

Setor VI a 2,5 km da Pedreira e a 21 km do **Summit Control**;

Setor VII a 3,5 km da Pedreira e a 20 km do **Summit Control** e,

Setor VIII a 4 km da Pedreira e a 19,5 km do **Summit Control**.

b) na Zona B

Setor I junto à linha divisória X-X, a 6 km da Pedreira e a 17,5 km do **Summit Control**;

Setor II a 7,5 km da Pedreira e a 16 km do **Summit Control**;

Setor III a 8 km da Pedreira e a 15,5 km do **Summit Control**;

Setor IV a 8,5 km da Pedreira e a 15 km do **Summit Control** e,

Setor V a 9,5 km da Pedreira e a 14 km do **Summit Control**.

c) na Zona C

Setor I na desembocadura do braço do rio Taquecetuba, jusante da linha divisória Y-Y, a 12 km da Pedreira e a 11,5 km do **Summit Control**;

Setor II a 12,5 km da Pedreira e a 11 km do **Summit Control**;

Setor III a 14 km da Pedreira e a 9,5 km do **Summit Control** e,

Setor IV a 13,5 km da Pedreira e a 10 km do **Summit Control**.

d) na Zona D

Setor I a 15 km a jusante da ponte e aterro da via dos Imigrantes a 15,5 km da Pedreira e a 7 km do **Summit Control**;

Setor II a 15,5 da Pedreira e a 5 km do **Summit Control**;

Setor III a 19 km da Pedreira e a 2 do **Summit Control** e,

Setor IV a 20,5 km da Pedreira, junto ao **Summit Control**.

e) na Zona E

Setor I no braço do rio Pequeno, a 24 km da Pedreira e a 6 km do **Summit Control** e,

Setor II no braço do rio Pequeno, a 26 km da Pedreira e a 7 km do **Summit Control**.

f) na Zona F

Setor I junto à linha divisória Z-Z na desembocadura do braço do rio Grande, a 16,5 km da Pedreira e a 8 km do **Summit Control**;

Setor II a 17,5 km da Pedreira e a 9 km do **Summit Control**;

Setor III a 18,5 km da Pedreira e a 10 km do **Summit Control** e,

Setor IV a 19,5 km da Pedreira e a 11,5 km do **Summit Control**.

g) na Zona G

Setor I no braço do rio Grande, junto à captação de águas para o abaste-

(1) Professores da Universidade de São Paulo e biólogos da Diretoria de Pesquisa, Cetesb.
(2) Biólogos da Diretoria de Pesquisa, Cetesb.
(3) Engenheiros da Diretoria de Pesquisa, Cetesb.

cimento do ABC, a 20 km da Pedreira e a 23,5 km do Summit Control;

Setor II no braço do rio Grande, a 22 km da Pedreira e a 14 km do Summit Control;

Setor III no braço do rio Grande a 25 km da Pedreira e a 17 km do Summit Control;

Setor IV no braço do rio Grande, a 28 km da Pedreira e a 20 km do Summit Control;

Setor V no braço do rio Grande, a 31 km da Pedreira e a 23 km do Summit Control e,

Setor VI no braço do rio Grande, a 30,5 km da Pedreira e a 23,5 km do Summit Control.

Para localização, ver mapa n.º 1, anexo.

Nitrogênio Total e Fósforo Total

A decomposição dos compostos orgânicos leva à formação de gás carbônico, bem como de outros compostos minerais. A formação de gás carbônico dá-se, principalmente, através do processo de respiração aeróbia mas, em menor quantidade, esse gás origina-se também da atividade anaeróbia. Entre os nutrientes minerais formados destacam-se, pela sua importância relativa à eutrofização, os compostos de nitrogênio e de fósforo.

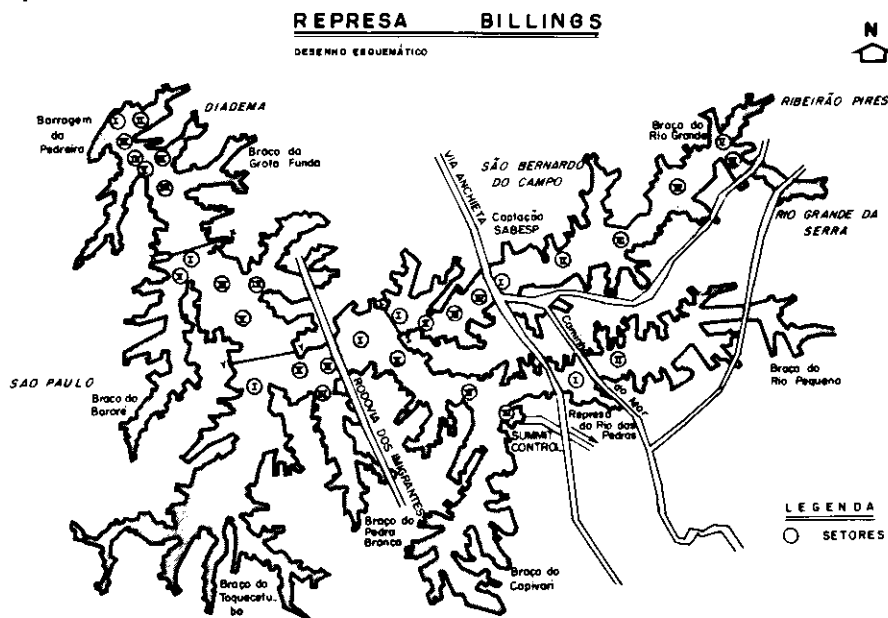
Os compostos protéicos, por oxidação biológica, dão origem, sucessivamente, a aminoácidos e a amônia. Em ambientes aeróbios e de baixa concentração de matéria orgânica, a amônia é transformada em nitratos e estes em nitratos, graças à atividade das chamadas bactérias nitrificantes, que utilizam a energia resultante dessa oxidação, na quimiossíntese dos compostos orgânicos componentes de suas células.

Tais bactérias são aeróbias e autótrofas, não consumindo compostos orgânicos e sendo mesmo inibidas pela presença destes últimos. Isso explica a não existência, em geral, de grandes quantidades de nitritos e nitratos em certas áreas da represa.

Além disso, quando por qualquer motivo estes compostos têm acesso à região anaeróbia, um outro processo tem lugar, denominado desnitrificação, o qual consiste na sua transformação em nitrogênio gasoso por atividade de bactérias desnitrificantes, anaeróbias, consumidoras de matéria orgânica, as quais utilizam os nitritos, provavelmente como aceptores de hidrogênio em seu processo de respiração.

São encontrados, pois, na represa Billings teores elevados de amônia e, em menor proporção, nitrogênio orgânico,

Mapa 1



na área anaeróbia. Na área aeróbia, esses compostos sofrem acentuada redução de concentração, dando lugar aos nitritos e aos nitratos. Embora, provavelmente, a maioria das algas utilizem, preferencialmente, nitrogênio amoniacal como fonte de nitrogênio, muitas delas podem, porém, aproveitar nitratos.

Kawai (1977), tentando elaborar um modelo matemático para avaliação do

desenvolvimento da eutrofização na represa Billings, concluiu que, em virtude da elevada concentração de nutrientes, não há diferenças significativas de produtividade de algas, se as condições são aeróbias ou anaeróbias, desde que seja considerada a totalidade da represa.

O nitrogênio total (Kjeldahl) não engloba as formas de nitrito e nitrato, e portanto, os valores da tabela n.º 1,

Tabela 1 — Nitrogênio e fósforo total na represa Billings.

ZONA	SETOR	N _T *			P _T *			N _{TOTAL} ** (mg/L)		P _{TOTAL} ** (mg/L)	
		$\bar{x}-t \cdot a/2$	\bar{x}	$\bar{x}+t \cdot a/2\sqrt{s}$	$\bar{x}-t \cdot a/2\sqrt{s}$	\bar{x}	$\bar{x}+t \cdot a/2$	\bar{x}	s	\bar{x}	s
A	SETOR I	1,81	2,01	2,21	-0,10	0,09	0,28	2,01	0,33	0,09	0,32
	SETOR II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SETOR III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SETOR IV	1,41	2,11	2,81	-0,78	-0,78	-0,78	2,11	0,64	-0,78	0,00
	SETOR V	1,83	1,83	1,83	-0,19	-0,19	-0,19	1,83	0,00	-0,19	0,00
	SETOR VI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SETOR VII	0,53	2,21	3,89	-2,30	-0,78	0,74	2,21	0,77	-0,78	0,70
B	SETOR I	0,21	2,26	4,31	-2,32	-0,93	0,46	2,26	0,84	-0,93	0,64
	SETOR II	1,23	1,55	1,87	-0,27	-0,27	-0,27	1,55	0,29	-0,27	0,00
	SETOR III	2,03	2,03	2,03	-1,20	-1,20	-1,20	2,03	0,00	-1,20	0,00
	SETOR IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SETOR V	1,55	1,55	1,55	-0,58	-0,58	-0,58	1,55	0,00	-0,58	0,00
C	SETOR I	0,91	1,35	1,79	-0,63	-0,63	-0,63	1,35	0,40	-0,63	0,00
	SETOR II	-0,92	0,84	2,60	-0,80	-0,80	-0,80	0,84	0,81	-0,80	0,00
	SETOR III	1,59	1,86	2,13	-1,30	-1,01	-0,72	1,86	0,57	-1,01	0,66
	SETOR IV	0,45	1,05	1,65	-0,58	-0,58	-0,58	1,05	0,55	-0,58	0,00
D	SETOR I	1,34	1,34	1,34	-1,11	-1,11	-1,11	1,34	0,00	-1,11	0,00
	SETOR II	-0,04	0,67	1,38	-0,97	-0,97	-0,97	0,67	0,63	-0,97	0,00
	SETOR III	0,42	0,79	1,11	-	-	-	0,79	0,29	-	-
	SETOR IV	1,13	1,41	1,69	-1,03	-0,69	-0,35	1,41	0,64	-0,69	0,72
E	SETOR I	-0,53	0,00	0,53	-1,39	-1,39	-1,39	0,00	0,49	-1,39	0,00
	SETOR II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	SETOR I	1,55	1,55	1,55	-0,40	-0,40	-0,40	1,55	0,00	-0,40	0,00
	SETOR II	0,71	1,43	2,15	-0,94	-0,94	-0,94	1,43	0,33	-0,94	0,00
	SETOR III	1,38	1,38	1,38	-	-	-	1,38	0,00	-	-
	SETOR IV	1,65	2,02	2,39	-6,80	-2,53	1,74	2,02	0,17	-2,53	1,96
G	SETOR I	0,17	0,36	0,55	-3,05	-2,83	-2,61	-0,36	0,43	-2,83	0,52
	SETOR II	-0,82	-0,30	0,22	-3,22	-3,22	-3,22	-0,30	0,63	-3,22	0,00
	SETOR III	-0,24	-0,24	-0,24	-	-	-	-0,24	0,00	-	-
	SETOR IV	-0,60	-0,60	-0,60	-	-	-	-0,60	0,00	-	-
	SETOR V	-0,51	-0,51	-0,51	-	-	-	-0,51	0,00	-	-
	SETOR VI	-0,94	-0,94	-0,94	-	-	-	-0,94	0,00	-	-

* Valores da média das séries anuais de medianas e valores extremos para o intervalo de confiança de 80%.

Obs.: Os valores de $t_{a/2}$ foram extraídos de tabelas do livro ESTATÍSTICA, de Boris Schneidermann e Pedro Luiz D. Costa Betto, de 1979. O nº de graus de liberdade para a obtenção deste valor é resultante do número de termos das séries anuais de medianas, cujas tabelas estão em poder dos autores.

** Valores da média e desvio-padrão das séries anuais de medianas para os parâmetros representados.

anexa e do Gráfico n.º 1 indicam, na realidade, a somatória do nitrogênio amoniacal (NH_3) e nitrogênio orgânico, apenas possibilitando inferir quanto à disponibilidade final de nitrato, se bem que, sob a forma amoniacal, ocorra grande absorção de nitrogênio pelas algas.

Analisando o gráfico n.º 1, anexo, fica patente a sequência da autodepuração que ocorre desde as zonas A, B, C e D, setor IV, no **Summit Control**.

Mas a interpretação da curva exige explicações, devido à complexa dinâmica do reservatório.

Considerado globalmente, isto é, da barragem da Pedreira passando pela zona F, ainda no eixo principal, verifica-se, nesta, uma elevação do nitrogênio total que, de 0,75 mg/l, atinge teores superiores a 1,5 mg/l. Neste trecho, há uma aglomeração urbana apreciável, o riacho Grande, com uma população flutuante considerável superior a mil habitantes, ancoradouros de barcos, hotéis e clubes náuticos.

Essa pequena cidade é dotada de um valo de oxidação, cujo efluente é lançado diretamente na represa, justamente onde as águas são habitualmente lânticas, seja pelo aterro por sobre o qual passa a via Anchieta ou, atualmente, pela barragem Anchieta.

De qualquer modo, ao caminhar, posteriormente, para a zona G (braço do rio Grande), notam-se sensíveis quedas nas concentrações de nitrogênio, que no gráfico n.º 1, anexo, apareceu com valores negativos, pelo fato de se estar trabalhando com logaritmos neperianos.

O fósforo, embora consumido pelas algas em quantidades muito menores que o nitrogênio, não deixa de ser um fator altamente importante como condicionamento do ambiente eutrófico, favorável a sua proliferação. Isso ocorre por ser ele um elemento mais raro que o nitrogênio, nas águas em condições naturais. Nas águas que recebem forte poluição por esgotos domésticos, porém, essa situação, em geral, se inverte, pois se as algas exigem nitrogênio e fósforo numa proporção $\text{N/P} = 15$ a $30/1$, nos esgotos essa relação é da ordem de $\text{N/P} = 8/1$, havendo, assim, um excesso de fósforo em relação à demanda.

Essa proporção de fósforo tende, ainda, a ser progressivamente aumentada nos esgotos domésticos e industriais, em face do crescente uso de detergentes que contêm esse elemento.

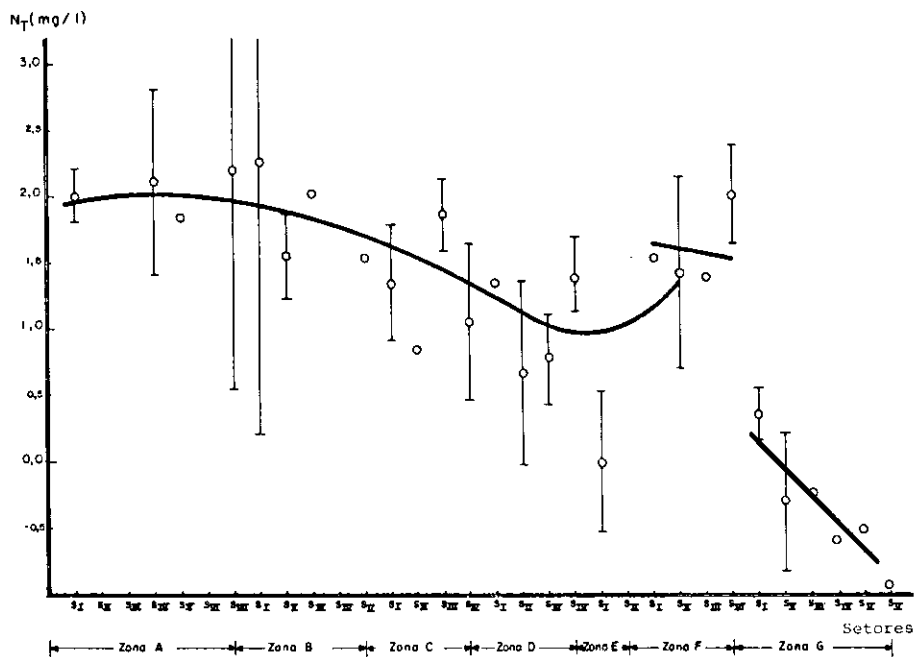


Gráfico 1 — Distribuição espacial das médias dos logaritmos naturais das medianas dos valores de nitrogênio total

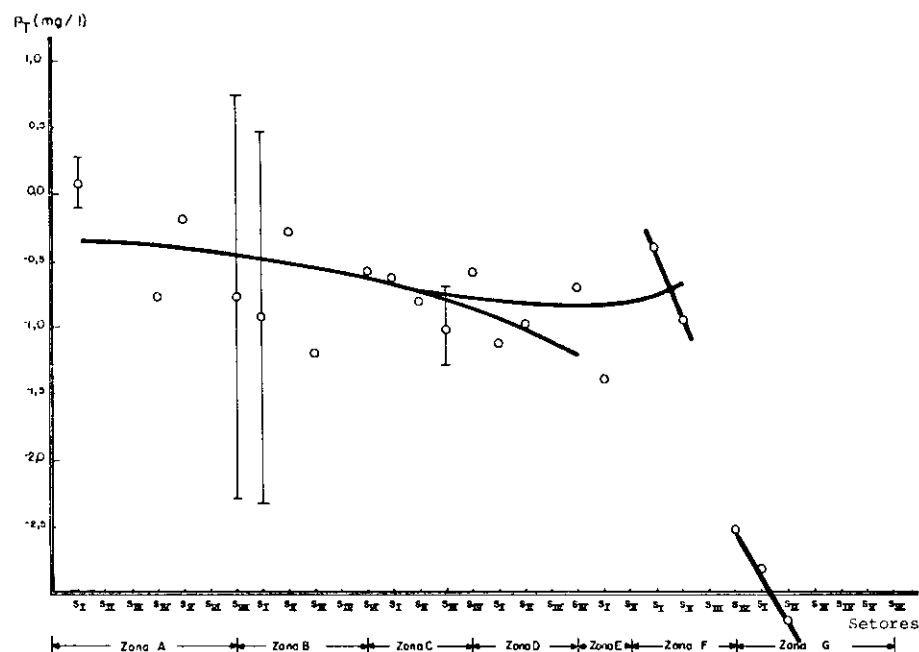


Gráfico 2 — Distribuição espacial das médias dos logaritmos naturais das medianas dos valores de fósforo total

A análise do fósforo total gráfico n.º 2, anexo, elaborado a partir dos dados da tabela n.º 1, anexa, evidencia a mesma sequência e fenômenos ocorridos com o nitrogênio total, inclusive aquele comentado nas zonas F e G.

Clorofila-a, Série de Nitrogênio e Fósforo, e as Algas

Os estudos realizados na represa Billings, no que se refere a clorofila-a, existem apenas nos anos de 1966, 1975, 1978 e 1979.

Em 1966, houve, respectivamente, três campanhas na zona C, setor IV e duas nas zonas D, setor IV e F, setor II, quando, em nenhum dos casos, foram observados valores superiores a $0,15 \mu\text{g/l}$, conforme a tabela n.º 2, anexa.

Nos anos subsequentes (1975, 1978 e 1979), foram realizados levantamentos mais representativos, com dados de clorofila-a cobrindo vários setores das zonas A, B, C, D, E, e G, encontrando-se em várias oportunidades valores maiores, excedendo 100, 200,

300 e até 860 µg/l, também apresentados na tabela n.º 2, anexa.

Todavia, os estudos de 1975 foram aqueles que contaram com coletas semanais, durante os meses de fevereiro e março, não somente na superfície, mas em diversas profundidades

nas seguintes zonas (e setores): zona A (setor VII), B (setores I e V), C (setor III), D (setores II e III) e G (setor I). Essa campanha de amostragem foi, também, acompanhada de análises qualitativas e quantitativas de fitoplâncton e da determinação da série de nitrogê-

nio e fósforo, estando todos esses dados inseridos nas tabelas de n.os 3 a 16, anexas.

Analisando as variações de concentração da clorofila-a correlacionadas às disponibilidades de nitrogênio e fósforo, verifica-se um comportamento di-

Tabela 2 — Valores mínimos, máximos e mediana da clorofila-a

ZONA	SETOR	ANO	CLOROFILA (µg/l)			
			MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	Nº DADOS
A	I	1979	8,00	160,00	59,50	4
	II	1975	10,60	17,80	14,20	8
	VII	1975	2,27	23,26	14,91	7
B	I	1975	3,89	25,58	18,43	7
	II	1975	15,00	20,80	13,00	8
	IV	1975	0,02	0,14	0,11	3
	V	1975	0,00	0,09	0,05	8
			1975	7,49	79,44	18,00
C	III	1975	105,20	107,80	106,50	8
		1975	11,05	866,82	26,14	7
	IV	1966	0,03	0,14	0,10	3
		1975	22,50	313,50	167,90	8
D	II	1975	16,55	377,72	89,32	7
	III	1979	72,70	97,00	84,90	8
	IV	1966	0,03	0,14	0,09	2
		1975	20,94	213,11	68,07	-
E	I	1978	12,80	26,70	19,80	2
F	II	1966	0,04	0,15	0,10	2
	IV	1979	6,30	82,00	33,30	4
G	I	1975	17,75	42,38	34,64	-
		1978	17,20	21,70	19,50	2

Tabela 3 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona A — Setor VII — Fevereiro/75

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	2,37	0,004	0,016	1,51	2,39	5,59	0,034	0,707	70	10,58	11.687
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,56	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,63	-
5	3,85	0,004	0,014	1,56	3,87	4,97	0,049	0,765	79	3,72	8.744
8	3,70	0,006	0,022	1,15	3,73	4,65	0,047	0,768	79	3,84	8.533
médias	3,31	0,005	0,017	1,41	3,33	5,07	0,043	0,747	77	7,87	9.654

Tabela 4 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona A — Setor VII — Março/75

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	3,55	0,005	0,020	1,02	3,57	4,58	0,036	0,585	99	17,74	1.631
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,91	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,03	-
8	3,47	0,005	0,020	1,09	3,50	4,58	0,058	0,722	60	8,12	4.955
médias	3,51	0,005	0,020	1,06	3,54	4,58	0,047	0,654	75	12,70	3.293

Tabela 5 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona B — Setor I — Fevereiro/75

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	3,51	0,0075	0,015	3,00	3,53	6,51	0,038	0,830	95	14,92	13.435
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,95	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,13	-
5	3,75	0,0075	0,020	2,42	3,78	6,17	0,045	0,650	85	4,38	9.086
8	3,68	0,0075	0,023	2,32	3,71	6,00	0,037	0,670	98	5,19	6.395
médias	3,65	0,0075	0,019	2,58	3,67	6,23	0,040	0,717	92	10,71	9.638

Tabela 6 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona B — Setor I — Março/75

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	3,22	0,020	0,070	0,91	3,31	4,13	0,032	0,428	103	20,77	11.820
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,27	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,74	-
8	3,43	0,010	0,020	0,89	3,46	4,29	0,035	0,460	99	13,53	7.015
médias	3,33	0,015	0,045	0,90	3,39	4,21	0,034	0,444	100	18,08	9.417

**Tabela 7 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona B — Setor V — Fevereiro/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	3,6	0,010	0,022	1,72	3,63	5,25	0,041	0,611	89	29,0	15.731
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,6	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,5	-
5	3,7	0,006	0,012	2,07	3,71	4,90	0,044	0,553	85	1,7	14.175
8	3,6	0,010	0,020	0,94	3,63	4,63	0,040	0,631	91	9,8	11.618
médias	3,7	0,008	0,018	1,57	3,65	4,93	0,042	0,598	86	14,92	13.841

**Tabela 8 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona B — Setor V — Março/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	3,10	0,093	0,113	1,55	3,30	4,65	0,034	0,304	97	30,3	8.724
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,9	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,8	-
8	3,26	0,036	0,073	0,75	3,36	4,02	0,045	0,349	75	13,6	10.856
médias	3,18	0,065	0,093	1,15	3,33	4,34	0,040	0,327	83	20,2	9.790

**Tabela 9 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona C — Setor III — Fevereiro/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	3,54	0,0175	0,030	0,85	3,59	4,39	0,031	0,453	116	22,57	13.064
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,73	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,61	-
5	3,69	0,020	0,033	0,92	3,74	4,36	0,049	0,566	76	9,96	7.565
8	3,31	0,015	0,025	0,98	3,35	4,29	0,025	0,512	134	10,19	10.270
médias	3,51	0,0175	0,029	0,91	3,56	4,35	0,035	0,510	102	16,01	10.299

**Tabela 10 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona C — Setor III — Março/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	1,81	0,303	0,637	2,37	2,75	4,18	0,025	0,582	110	313,65	48.381
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	111,06	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,81	-
8	3,62	0,050	0,090	0,86	3,76	4,49	0,040	0,383	94	12,48	4.800
médias	2,72	0,176	0,364	1,61	3,26	4,34	0,033	0,483	99	114,0	26.590

**Tabela 11 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona D — Setor III — Fevereiro/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	2,09	0,380	0,610	1,16	3,08	3,42	0,098	0,447	31	97,10	5.509
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51,28	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,21	-
5	2,37	0,310	0,532	1,10	3,212	3,44	0,127	0,411	25	28,79	6.006
8	2,24	0,180	0,600	1,11	3,02	3,70	0,094	0,470	32	20,36	6.224
mê-dias	2,23	0,290	0,581	1,12	3,10	3,52	0,106	0,443	29	43,55	5.913

**Tabela 12 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona D — Setor III — Março/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	1,38	0,403	1,157	1,42	2,94	2,80	0,036	0,366	81	72,81	9.239
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,26	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,13	-
8	1,48	0,395	0,965	1,09	2,84	2,56	0,051	0,220	56	15,66	2.934
mê-dias	1,43	0,399	1,061	1,25	2,89	2,68	0,044	0,293	66	45,22	6.086

**Tabela 13 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona D — Setor II — Fevereiro/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	2,61	0,1200	0,280	1,765	3,01	4,37	0,039	0,401	77	107,90	30.411
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53,62	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,32	-
5	2,93	0,0775	0,415	1,220	3,42	4,23	0,080	0,339	43	13,37	5.543
8	2,93	0,0775	0,370	1,415	3,38	4,34	0,080	0,394	42	13,40	8.088
mê-dias	2,82	0,092	0,355	1,466	3,27	4,31	0,066	0,378	50	42,92	14.680

**Tabela 14 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona D — Setor II — Março/75**

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	0,72	0,326	0,915	2,047	1,96	2,77	0,034	0,275	58	105,33	12.366
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52,93	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,68	-
8	2,35	0,200	0,440	0,880	2,99	3,23	0,043	0,334	70	14,40	2.789
mê-dias	1,54	0,263	0,677	1,463	2,48	3,00	0,039	0,305	64	50,34	7.577

Tabela 15 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona G — Setor I — Fevereiro/75

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	1,60	0,38	0,320	0,88	2,30	2,48	0,024	0,152	96	31,59	14.280
1	-	-	-	-	1,29	-	-	-	-	81,76	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53,83	-
5	0,80	0,20	0,290	0,83	-	1,63	0,017	0,110	78	24,34	9.390
8	1,50	0,09	0,040	0,78	1,63	2,28	0,024	0,185	68	11,28	10.350
médias	1,30	0,22	0,220	0,83	1,74	2,13	0,022	0,149	79	40,56	11.340

Tabela 16 — Distribuição vertical das médias dos valores de nutrientes, clorofila-a e fitoplâncton
Zona G — Setor I — Março/75

PROF. (m)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	N org. (mg/l)	N inor. (mg/l)	N total (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P total (mg/l)	N:P	CLOROF.-a (µg/l)	FITOP. (nº org/ml)
0	0,370	0,087	0,387	0,97	0,844	1,19	0,021	0,065	40	28,62	10.917
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,83	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,68	-
8	0,505	0,055	0,245	0,70	0,805	1,20	0,028	0,125	29	17,73	6.950
médias	0,438	0,071	0,316	0,83	0,83	1,20	0,025	0,095	33	24,46	8.933

versificado de acordo com as zonas e setores, embora, como se percebe pela análise do gráfico n.º 3, anexo, onde são plotados os valores médios, máximos e mínimos, ocorra um acentuado gradiente. Entretanto, fica patente haver uma nítida diferença entre as zonas A e B, e as demais zonas estudadas.

Dos sete setores estudados, as concentrações médias de clorofila-a mais altas na coluna d'água ocorreram na zona C, setor III, no mês de março; na zona D, setores II e III, e na zona G, setor I, em fevereiro e março.

Comparando os dados da Billings com os de outras represas de São Paulo (quadro n.º 1), verifica-se que, mesmo nas mais produtivas, as concentrações de clorofila-a são sempre inferiores às observadas nas zonas C, D e G. Entretanto, as zonas A e B apresentam clorofila-a em concentrações comparáveis às de outros reservatórios.

Le Gren et al (1980) ressaltam que, de acordo com Moss, os teores de clorofila acima de 400 µg/l ocorrem, geralmente, quando há populações predominantes de cianofíceas, aliás como é o caso da represa Billings.

Golterman (1957) assinala que os lagos Tarfala e Varese, na Itália, ape-

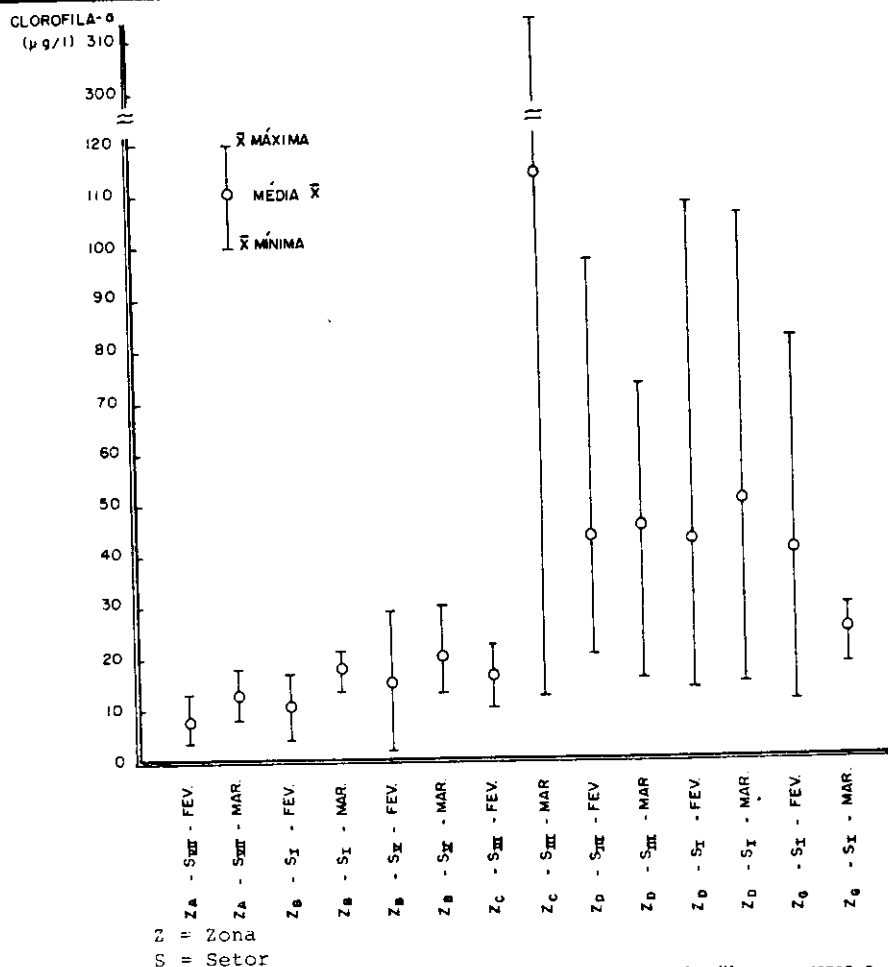


Gráfico 3 — Intervalo das variações das médias das concentrações de clorofila-a nas zonas e setores do reservatório Billings nos estudos realizados em fevereiro e março de 1975

Quadro n.º 1 — Clorofila-a em reservatórios ou lagos do Brasil

RESERVATORIO OU LAGO		CLOROFILA-a* (µg/l)	AUTOR E DATA
D. HELVECIO	(MG)	7 - 12	BARBOSA et al 1980
CARIOCA	(MG)	1 - 5	PONTES, 1980
LOBO ("BROA")	(SP)	5 - 15	TUNDISI, 1977
GUARAPIRANGA	(SP)	zero - 66,6	JUREIDINI, 1983**
AMERICANA	(SP)	18,9 - 50,7	GLANESELLA-GALVÃO, 1981
ATIBAINHA	(SP)	7,2 - 9,9	IDEM
CABUÇU	(SP)	1,2 - 8,2	IDEM
CACHOEIRA	(SP)	14,2 - 35,6	IDEM
JAGUARI	(SP)	1,5 - 3,2	IDEM
PEDRO BEICHT	(SP)	9,9 - 20,9	IDEM
RIBEIRÃO DO CAMPO	(SP)	1,5 - 6,6	IDEM
SANTA BRANCA	(SP)	2,8 - 5,9	IDEM
TAJAÇUPEBA	(SP)	10,5 - 31,7	IDEM
BILLINGS	(Z. A-SETOR VII)	3,7 - 17,7	ROCHA, 1984
BILLINGS	(Z. B-SETOR I)	4,4 - 20,8	IDEM
BILLINGS	(Z. B-SETOR V)	1,7 - 30,3	IDEM
BILLINGS	(Z. C-SETOR III)	10,0 - 313,6	IDEM
BILLINGS	(Z. D-SETOR III)	15,7 - 97,1	IDEM
BILLINGS	(Z. D-SETOR II)	13,4 - 107,9	IDEM
BILLINGS	(Z. G-SETOR I)	11,3 - 81,8	IDEM

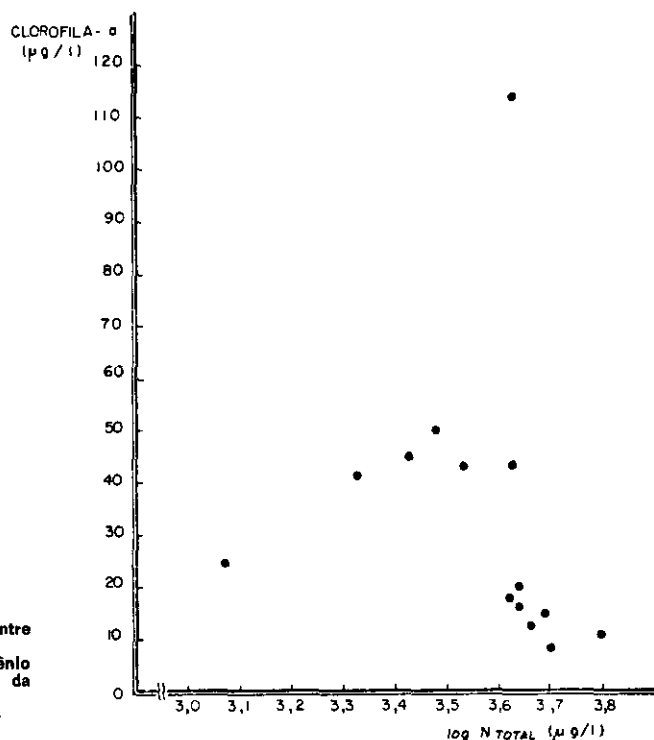
* Mínimas e Máximas das Médias de Concentrações

** Não publicado

sar de apresentarem zona eufótica com a mesma extensão, têm produtividade sensivelmente diferente, aparentemente devido à maior abundância de nutrientes no lago Varese. Neste último, as próprias algas provocam auto-sombreamento, diminuindo a penetração da luz, enquanto que, no outro, existe argila em suspensão. Na represa Billings, a Estação Elevatória da Pedreira, em 1975, bombeou a vazão média de 80 m³/s nos meses de fevereiro e março, elevando a má qualidade da água nas zonas A e B, onde há resíduos em suspensão, o que diminui a transparência. A análise das relações N total/clorofila e P total/clorofila (gráficos n.ºs 4 e 5 e tabela n.º 17) demonstram que esses eventos podem ter contribuído para a baixa produtividade da clorofila-a.

Mas, a partir do aterro da rodovia dos Imigrantes, entre as zonas C e D, que estreitou a passagem das águas, a situação é modificada, pois, há a retenção de materiais em suspensão que

Gráfico 4 — Relação entre os logaritmos da concentração do nitrogênio total e a concentração da clorofila-a na represa Billings, em fevereiro e março de 1975.



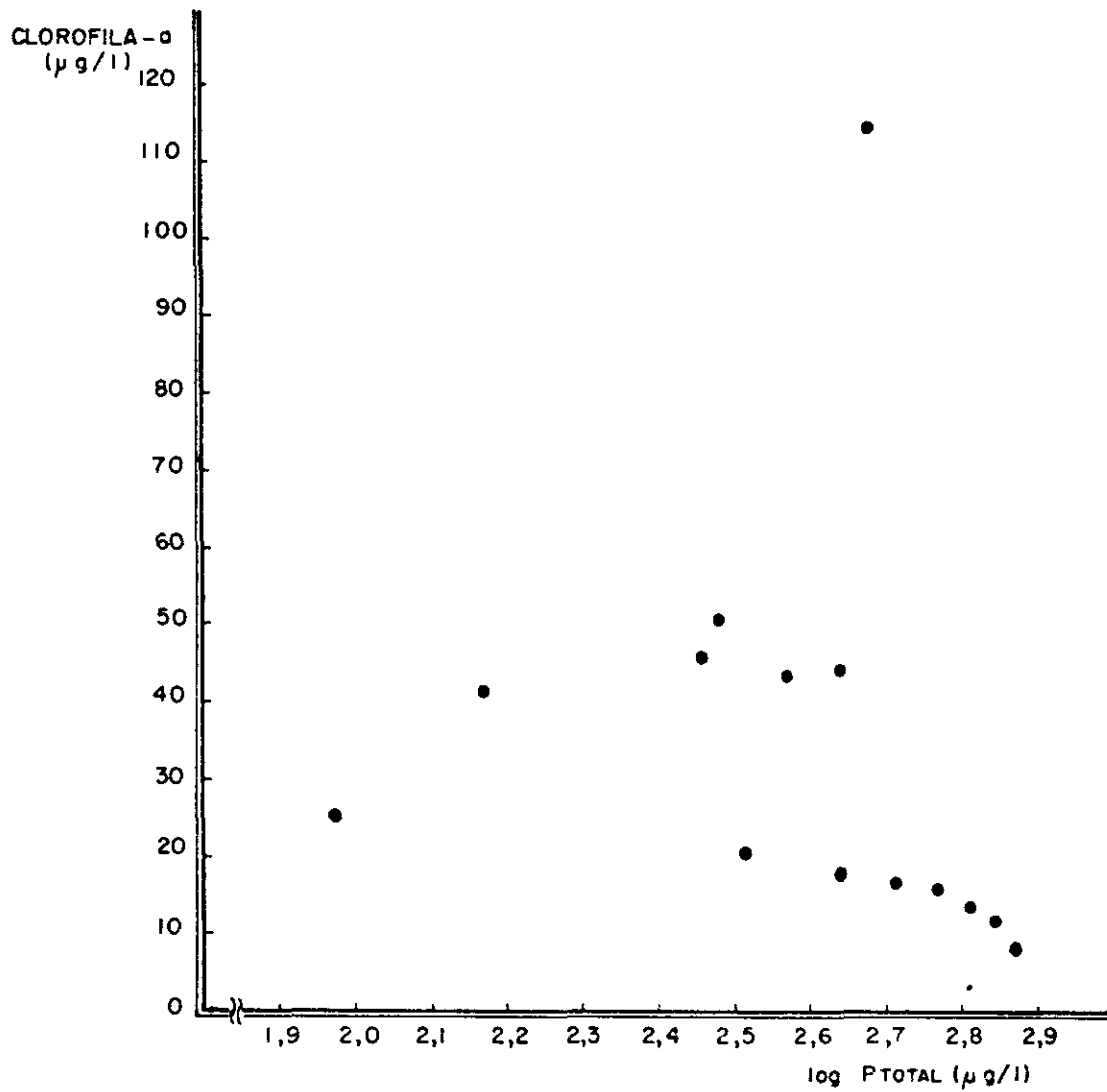


Gráfico 5 — Relação entre o logaritmo da concentração do fósforo total e a concentração da clorofila-a na represa Billings, em fevereiro e março de 1975.

Tabela 17 — Média mensal dos valores de nutrientes e clorofila-a

ZONA - SETOR	MES	CLOROFILA-a µg/l	P TOTAL µg/l	PO ₄ µg/l	N TOTAL µg/l	N INORGÂNICO µg/l
Zona A - Setor VII	fev	7,87	747	43	5.070	3.330
	mar	12,70	654	47	4.580	3.540
Zona B - Setor I	fev	10,71	717	40	6.227	3.670
	mar	18,08	444	34	4.210	3.390
Zona B - Setor V	fev	14,92	598	42	4.927	3.630
	mar	20,15	327	40	4.335	3.340
Zona C - Setor III	fev	16,01	510	35	4.346	3.560
	mar	114,00	483	33	4.335	3.260
Zona D - Setor II	fev	42,92	378	66	4.313	3.270
	mar	50,34	305	39	3.000	2.480
Zona D - Setor III	fev	43,55	443	106	3.520	3.100
	mar	45,22	293	44	2.680	2.890
Zona G - Setor I	fev	40,56	149	22	2.130	1.740
	mar	24,46	95	25	1.195	830

advêm da Pedreira, conforme atestam as concentrações de nitrogênio total e fósforo total, inseridas na tabela n.º 17.

Nas zonas D e F, em 1975, havia também influência das águas de melhor qualidade do rio Grande, (zona G), que se misturavam concorrendo para tornar o ambiente aquático mais satisfatório, do ponto de vista da produtividade. Outro fator deve ter sido as precipitações pluviométricas, características dos meses de fevereiro e março, proporcionando maior transparência e, conseqüentemente, maior produtividade, como evidencia o gráfico n.º 3, anexo.

Examinando o gráfico n.º 6, anexo, não se observa qualquer correlação entre os valores de clorofila-a e o de fósforo, sob a forma de ortofosfato (PO_4). Enquanto, isso, no gráfico n.º 7, anexo, fica óbvia uma correlação entre as mais altas concentrações de nitrogênio inorgânico (amoniaco NH_3 + nitrato NO_3) e as menores concentrações de clorofila-a. Tal fato ocorre em quase a metade dos setores estudados.

A mesma tendência é observada na relação nitrogênio amoniacal e clorofila-a, no gráfico n.º 8, anexo, tornando-se mais evidente nas zonas A e B, e na zona C no mês de fevereiro, onde os valores de NO_2 e NO_3 estão a indicar o início de mineralização da matéria orgânica (tabela n.º 17).

Nos gráficos ns.º 9 e 10, anexos, o nitrato e o nitrito são, respectivamente, relacionados à clorofila-a. Evidencia-se, no caso do nitrato, uma tendência a altos valores de clorofila-a quando as concentrações estão acima de 200 g/l de NO_3 , e, para nitrito, quando os valores são maiores que 90 g/l de NO_2 .

No gráfico n.º 11, anexo, a clorofila-a está relacionada em função da razão N:P. Verifica-se que 50% dos setores apresentam baixos valores de clorofila-a em relação às altas razões N:P, entre 75 e 102. Alguns dados, de clorofila-a, porém, são altos e encontram-se na mesma faixa de variação da razão N:P.

Essa mesma tendência já não é observada entre as relações nitrato NO_3 /Clorofila-a (gráfico n.º 10, anexo), pois as concentrações de clorofila são mais altas, quando tanto o NO_3 como o NO_2 são, também, mais elevados.

A análise dos gráficos citados, e da tabela n.º 17, anexa, das zonas C, mês de março, D e G, em fevereiro e março, permite corroborar a assertiva de que a matéria orgânica está, então, em franca mineralização.

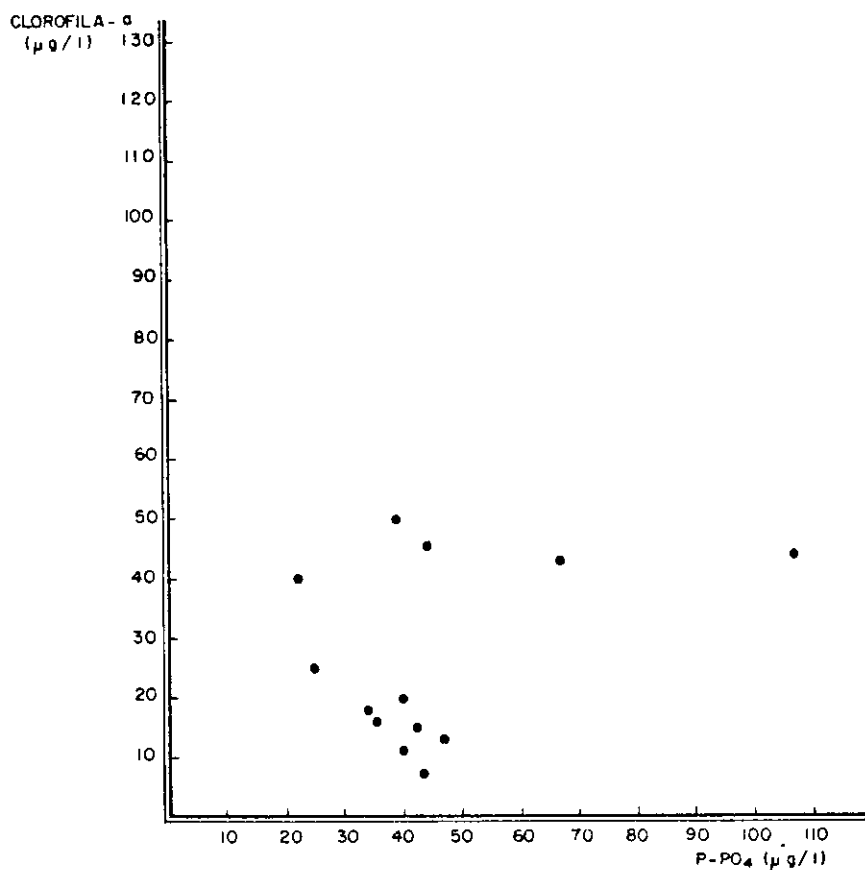


Gráfico 6 — Relação entre a concentração de PO_4 e a concentração de clorofila-a nos setores da represa Billings nos estudos de fevereiro e março/1975

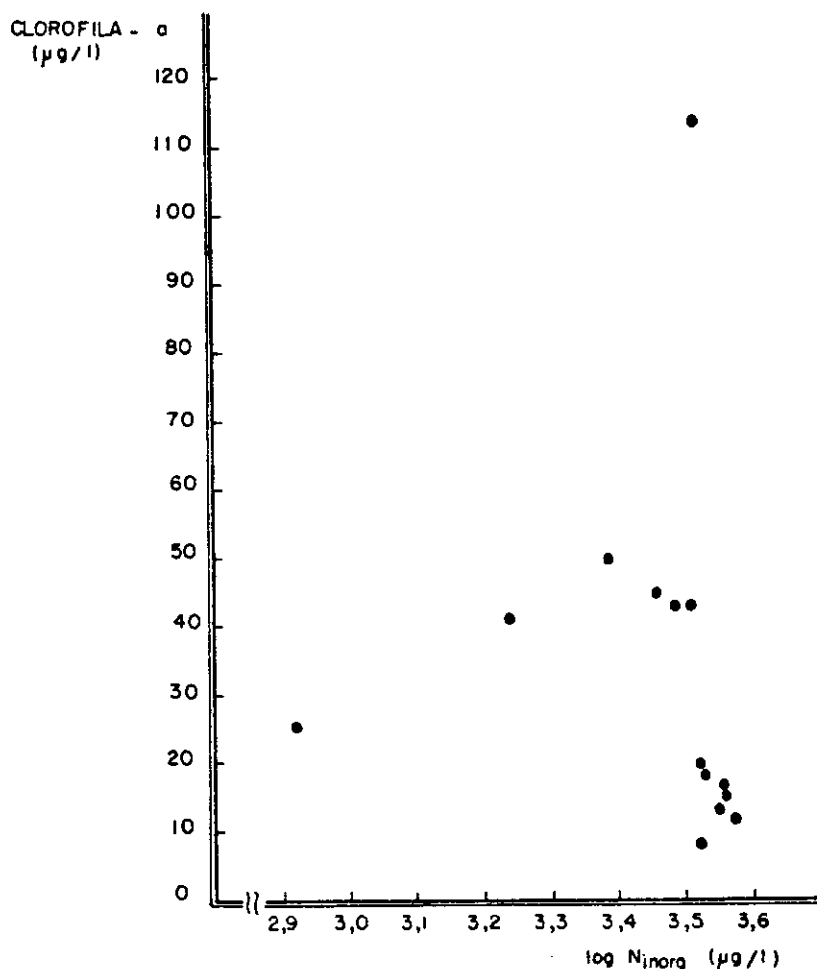


Gráfico 7 — Relação entre o logaritmo da concentração de nitrogênio inorgânico ($NH_3 + NO_3 + NO_2$) e a concentração de clorofila-a na represa Billings

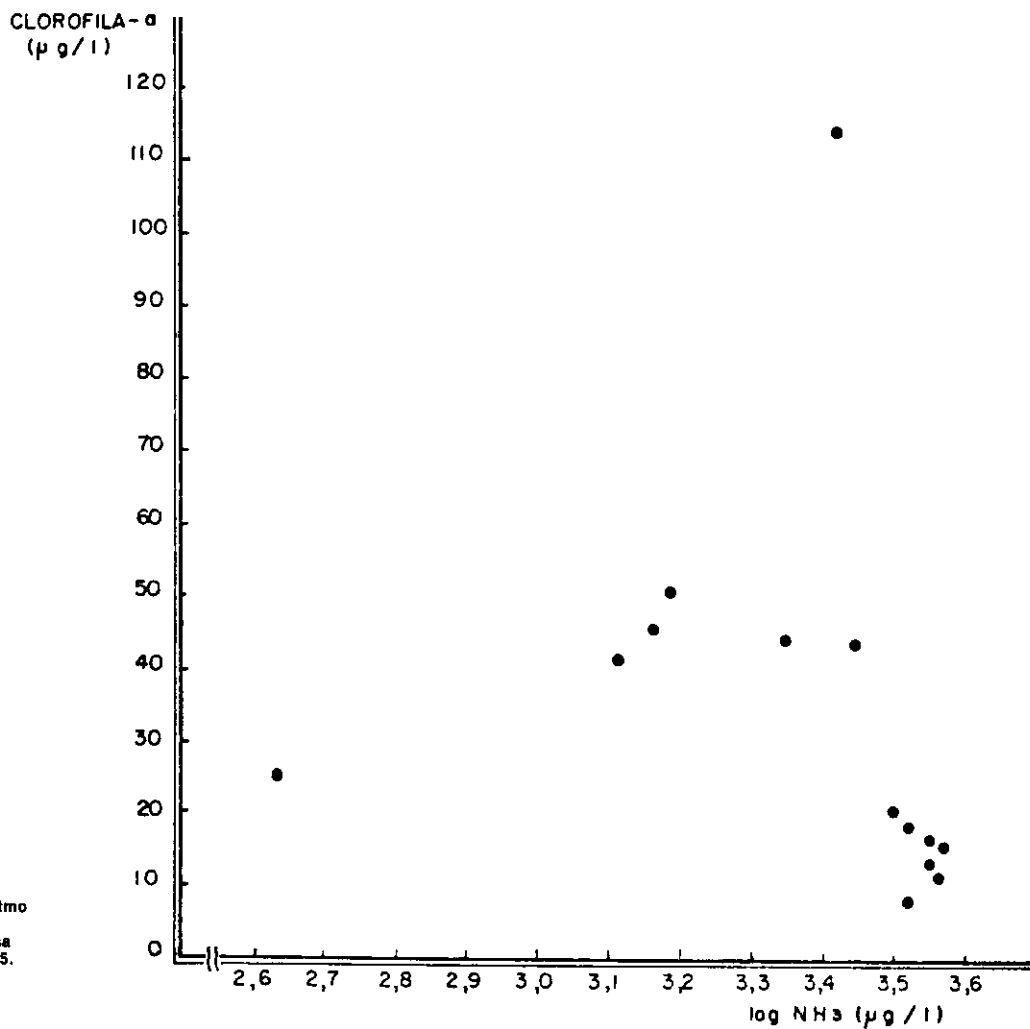


Gráfico 8 — Relação entre o logaritmo da concentração do NH₃ e a concentração da clorofila-a na represa Billings em fevereiro e março de 1975.

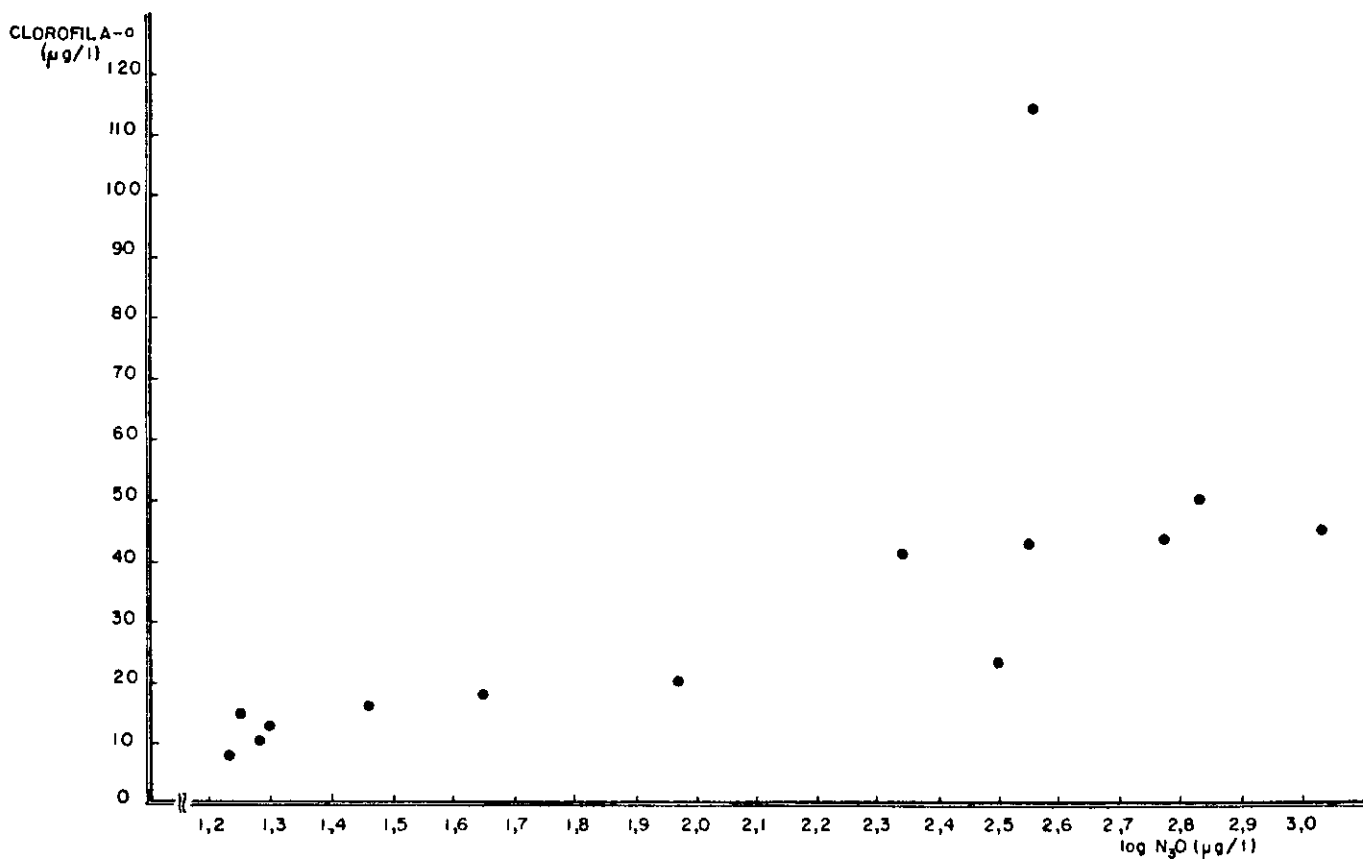


Gráfico 9 — Relação entre o logaritmo da concentração de NO₃ e a concentração da clorofila-a na represa Billings em fevereiro e março de 1975

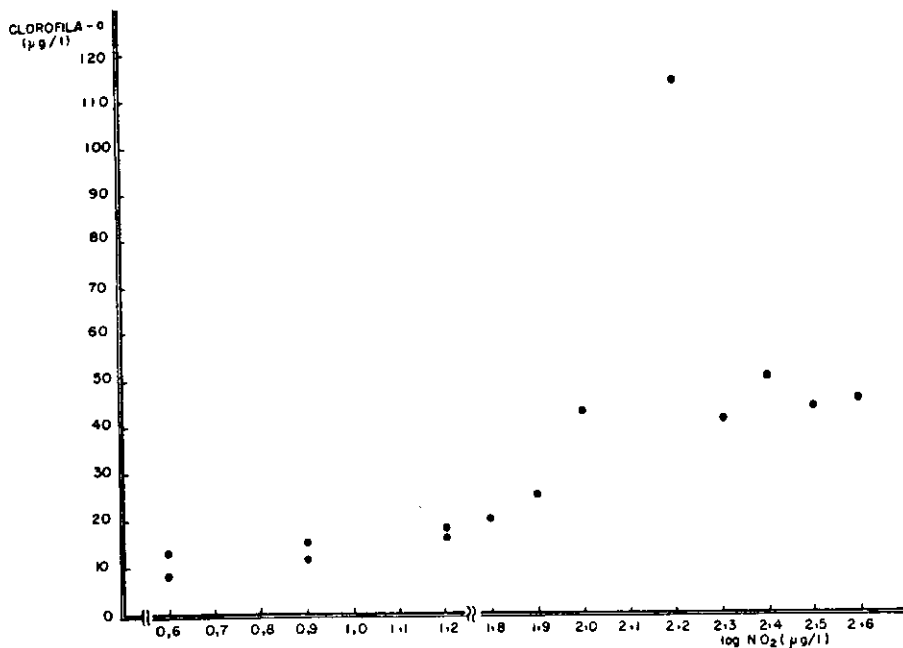


Gráfico 10 — Relação entre o logaritmo da concentração de NO₂ e a concentração de clorofila-a na represa Billings em fevereiro e março de 1975

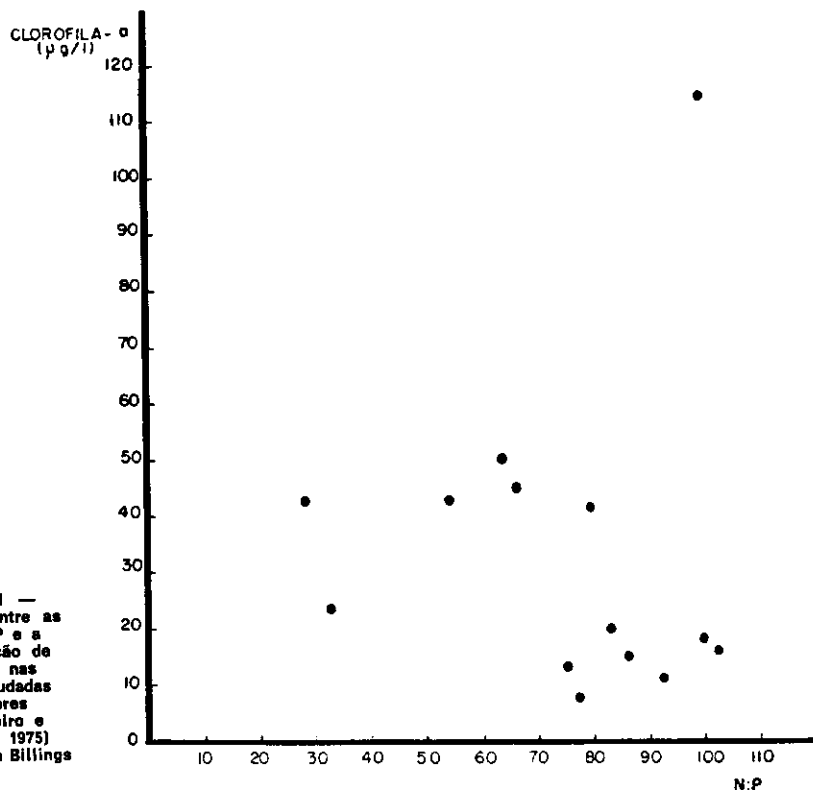


Gráfico 11 — Relação entre as razões N:P e a concentração de clorofila-a nas zonas estudadas (sete setores em fevereiro e março de 1975) na represa Billings

As relações entre as razões N:P e clorofila-a, vistas no gráfico n.º 11 anexo, mostram que os setores que apresentam baixas concentrações de clorofila-a localizam-se, preferencialmente, como foi relatado, relacionados às altas razões de N:P, entre os intervalos de 75 a 102. Possivelmente, o fato deve ser consequência da falta de condições de luminosidade, temperatura, presença de micronutrientes etc.

Porém, os setores de altas concentrações de clorofila encontram-se em áreas limitrofes e superpostas no grá-

fico, entre os intervalos de 29 a 99, portanto, muito maiores que as razões tidas como ótimas para o desenvolvimento do fitoplâncton, conforme Schindler (1978): Rhee et al (1980) e Gianesella Galvão (1981).

Conclusões

Do ponto de vista ecológico-sanitário, considerando as variações de nutrientes, a represa Billings pode ser caracterizada em três seções. A primeira, estendendo-se desde a barragem da Pedreira até o aterro e parte

da rodovia dos Imigrantes, onde há grandes concentrações de nitrogênio e fósforo, ainda nas formas orgânicas e não totalmente disponíveis ao fitoplâncton.

A segunda seção, que se estende desde a rodovia dos Imigrantes até ao **Summit Control** e via Anchieta, onde as características anteriores já não são tão conspícuas, havendo nutrientes sob formas já estabilizadas. A terceira seção é representada pelos braços do rio Pequeno e do rio Grande, cuja qualidade da água permite a sua utilização para usos múltiplos e a mineralização do material orgânico propicia constantes disponibilidades de nutrientes que, em certas épocas, facilitam a proliferação do fitoplâncton.

Referências bibliográficas

1. BARBOSA, F. A. R. & TUNDISI, J. G. Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow quaternary lake at Eastern Brazil. *Arch. Hydrobiol.*, 90 (2): 139-161, 1980.
2. GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. Produção primária e suas relações com alguns fatores físico-químicos em reservatórios do Estado de São Paulo, 1981 (Tese de doutoramento — Instituto Oceanográfico — USP).
3. GOLTERMAN, H. L. *Physiological Limnology: an approach to the physiology of lake ecosystems*. Amsterdam, Elsevier, 1975.
4. KAWAI, H. Modelo matemático para avaliação do desenvolvimento do fenômeno da eutrofização na Represa Billings. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária 9.º. Belo Horizonte, 1977. *Cetesb. São Paulo*, 1977 (V), p. 1-20.
5. LE GREN, E. D. & LOWE — Mc CONNELL, R. H. *The functioning of freshwater ecosystems*. Cambridge 1.ª ed. Cambridge Univ. Press (IBP Handbook, 22), 1980.
6. PONTES, M. C. F. Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago D. Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce, MG, São Carlos, 1980. (Dissertação de mestrado — Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Biológicas).
7. RHEE, G. Y. & GOTHAM, I. J. Optimum N: P ration and coexistence of planktonic algae. *J. Phycol.* Washington 16: 486-489, 1980.
8. ROCHA, A. A. A Ecologia, os Aspectos Sanitários e de Saúde Pública da Represa Billings na Região Metropolitana de São Paulo, uma contribuição à sua recuperação, 1984 (Tese de Livre-Docência — Faculdade de Saúde Pública — USP).
9. SCHINDLER, D. W. Factors regulating phytoplankton production and standing-crop in the world's freshwaters. *Limnol. Oceanogr.* 23: 478-486, 1978.
10. TUNDISI, J. G. et al Primary production, standing-stock of phytoplankton and ecological factors in a shallow tropical reservoir (Represa do Broa, São Carlos, Brasil, 1977). Apud *Produção primária e suas relações com alguns fatores físico-químicos em reservatórios do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981. Sonia M. F. Gianesella-Galvão (Tese de doutoramento — Inst. Oceanográfico — USP).