

Simulação da eutrofização do lago Paranoá

Alice Pereira (1)

The present work deals with the Paranoá Lake's problem concerning the eutrophication point of view. Applying simplified mathematical models of Dillon-Rigler and Larsen-Mercier, we are able to foresee the trophic level of the lake and evaluate some solutions for the problem. The phosphorus removal percentage in the wastewater outflow, that is destined to the Paranoá Lake, is analysed as well as the validity of the modifications of the Brasília Wastewater Treatment Stations.

RESUMO

O presente trabalho discute a problemática do lago Paranoá no que concerne à eutrofização. Através da aplicação dos modelos matemáticos simplificados de Dillon e Rigler e de Larsen e Mercier, pode-se prever o nível trófico do lago e avaliar efetivamente algumas soluções para o problema. Discute-se ainda a porcentagem de remoção de fósforo que o efluente sanitário, que é destinado ao lago Paranoá, deverá sofrer e a validade da reestruturação das Estações de Tratamento de Esgoto do Plano-Piloto no Distrito Federal.

1 Introdução

Uma ferramenta largamente utilizada em previsões de níveis futuros de poluição em recursos hídricos é a aplicação de modelos matemáticos. Estes permitem a análise de um problema futuro, possibilitando assim a criação de soluções mais efetivas e mais econômicas.

O presente trabalho objetiva a análise do problema do lago Paranoá, através da aplicação dos modelos matemáticos de Dillon-Rigler e Larsen-Mercier, incluindo algumas possíveis soluções para o problema analisado.

Os modelos aplicados neste trabalho são simplificados e foram desenvolvidos para o estudo da eutrofização, considerando como nutriente limitante o fósforo.

2 O lago Paranoá

O lago Paranoá está a 15°48' latitude Sul e 47°47' longitude Oeste. A bacia drena uma área de 1.015 km² e possui uma densidade demográfica de 41 hab./km² e os principais tributários são o riacho Fundo, o córrego Cabeça de Veado e os ribeirões do Gama, Bananal e Torto.

Os dados fornecidos pela Caesb (1, 2) e Estação Meteorológica da Universidade de Brasília tentam resumir as condições hidrológicas e de qualidade da água do lago Paranoá no ano de 1980.

O volume do lago Paranoá é de 564,68.10⁶ m³, a profundidade média de 14,3 m, apresentando uma profundidade

de máxima de 38 m e uma área de espelho líquido de 40 km². A precipitação na bacia foi, em 1980, de 1.296,7 mm e a evaporação de 1.144,1 mm.

A tabela 1 mostra o balanço hídrico e de aporte de fósforo para o Lago Paranoá em 1980, sendo que a contribuição por escoamento subterrâneo foi determinada por diferença.

Os valores de concentração de fósforo para os tributários, ETEs e saída da barragem foram fornecidos pela Caesb (2), bem como os valores de concentração de fósforo nas galerias de águas pluviais, que serviram para determinar o teor de fósforo nas águas de escoamento superficial da área urbana mediamente ocupada.

Tabela 1 — Balanço hídrico e de aporte de fósforo ao lago Paranoá para o ano de 1980

FONTES	Balanço Hídrico	Porcentagem do total	conc. Fósf. total	carga fósforo	Porcentagem do Total
TRIBUTÁRIOS	M ³ /S	%	µg/l	ton/ano	%
Torto Lago	4,24	15,14	39,00	5,22	4,48
Bananal	3,27	11,68	27,35	2,82	2,42
Guará	0,79	2,82	-	16,06	13,78
Riacho Fundo	4,78	17,07	91,40		
Gama	2,63	9,39	31,45	2,61	2,24
Cabeça de Veado	0,63	2,25	19,31	0,38	0,33
Precipitação Direta	1,65	5,89	0,02 **	0,80	0,69
Estação de tratamento de Esgoto Sul	0,65	2,32	2934,17	60,15	51,62
Estação de tratamento de Esgoto Norte	0,27	0,96	2197,35	18,71	16,06
Escoamento subterrâneo Direto	4,63	16,54	20,00 **	2,92	2,50
Escoamento superficial rural	1,98	7,07	0,011 **	1,62	1,39
Escoamento superficial de área baixamente ocupada	1,51	5,39	30,75 **	1,46	1,25
Escoamento superficial de área mediamente ocupada	0,97	3,46	123,50	3,78	3,24
Total de Entrada	28,00	100	-	116,53	100
Saída da barragem vazão turbinada e vertida	26,55	94,82	27,30	22,86	100
Evaporação	1,45	5,18	-	-	-
Total de saída	28,00	100	-	22,86	100
Acúmulo	-	-	-	93,67	-

(1) Assessora de Meio Ambiente da Presidência da Eletronorte.

* Valores obtidos em g/m²/ano

** Valores obtidos na literatura

Segundo o relatório Hidrologia da Região do Distrito Federal, Caesb (1), as áreas de escoamento superficial se dividem em:

— áreas rurais: a ocupação do solo praticamente não altera seu comportamento hidrológico.

— áreas urbanas baixamente ocupadas: áreas residenciais da periferia, ainda pouco ocupadas, e áreas edificadas extensamente ajardinadas.

— áreas urbanas mediamente ocupadas: áreas mais densamente ocupadas no Plano-Piloto.

Os valores de concentração de fósforo para o escoamento superficial dos dois primeiros tipos de área, definidas anteriormente, foram determinados na literatura, bem como os de escoamento subterrâneo e os de precipitação direta (8).

A tabela 2 resume alguns parâmetros físicos e biológicos das águas do lago Paranoá para o ano de 1980 (2). Observa-se que, de uma maneira geral, o lago Paranoá encontra-se fora dos padrões aceitáveis para o fim a que se destina, embora, devido à sua conformação morfológica, que lhe confere diversos braços quase que independentes, o lago ainda ofereça pontos onde o esporte, a recreação e a pesca sejam possíveis.

A figura 1 mostra a localização das estações de amostragem, tanto no corpo do lago, como nos principais tributários, além das Estações de Tratamento de Esgoto Sul e Norte e das galerias de águas pluviais.

Apesar da grande carga de fósforo afluente pelos tributários, as maiores fontes poluidoras são as ETEs Sul e Norte, que contribuem com mais de 70% da carga total de fósforo. Assim, concentrar-se-á atenção nestas duas fontes de fósforo, procurando soluções através de um tratamento dos efluentes destas ETEs.

3 Modelos matemáticos

A escolha dos modelos, que serão expostos a seguir, deve-se ao fato de que estes modelos são clássicos nas aplicações de modelos simplificados e, portanto, passíveis de uma análise comparativa com outros trabalhos de mesma abordagem.

Os modelos selecionados foram desenvolvidos para regiões temperadas, o que restringe a aplicação para lagos quentes; entretanto, devido ao alto metabolismo da vida vegetal e animal em regiões tropicais, sabe-se que a carga que tais lagos suportam, sem se eutrofizar, é maior que em regiões temperadas. Por isso, apenas em uma análise preliminar do estado trófico de um lago quente estes modelos são aplicáveis.

Tabela 2 — Dados de qualidade da água para pontos no corpo do lago Paranoá no ano de 1980

Local de Amostragem	Profundidade (m)	Transparência (cm)				Oxigênio dissolvido (mg/l)				Biomassa Fitoplânctônica (µg/l)				Fósforo Total (µg/l)				Temperatura da água (°C)			
		x	σ	xmax	xmin	x	σ	xmax	xmin	x	σ	xmax	xmin	x	σ	xmax	xmin	x	σ	xmax	xmin
A	1			110	50	7,1	1,4	9,5	4,2	17,1	19,7	64,0	3,7	75,35	25,33	146	33	25,0	1,3	27	23
	data	74	15																		
	10			26/2	12/2	2,2	2,0	6,0	0,2									24,0	1,4	27	22
B	1			120	50	7,9	1,1	10,0	6,3	18,3	8,3	31,0	4,0	31,64	6,38	43	23	26,0	1,3	27	23
	data	80	19																		
	10			15/7	12/2	4,1	2,0	6,8	0,8									25,0	1,2	27	22
C	1			120	60	6,8	1,4	9,0	4,5	20,0	6,8	36,0	12,0	27,78	7,93	44	18	25,0	1,3	27	22
	data	86	16																		
	10			29/7	16/2	4,0	1,5	6,0	0,9	11,9	5,6	24,5	3,0					24,0	1,0	25	22
D	1			85	40	7,0	1,2	8,3	4,9	21,7	8,3	33,0	7,0	27,35	9,30	55	17	25,0	1,2	26	22
	data	63	13																		
	10			13/11	26/2	3,9	2,3	7,5	0,5									24,0	1,0	25	22
E	1			100	50	6,9	1,8	10,0	3,5	23,1	12	51,0	10,0	37,43	8,34	62	28	25,0	1,3	26	22
	data	75	17																		
	10			9/4	20/5	3,2	2,4	7,7	0,1									24,0	1,2	25,5	22
	data							10/9	9/4											23/4	15/7

LAGO PARANOÁ — Estações de amostragem mantidas pela Caesb

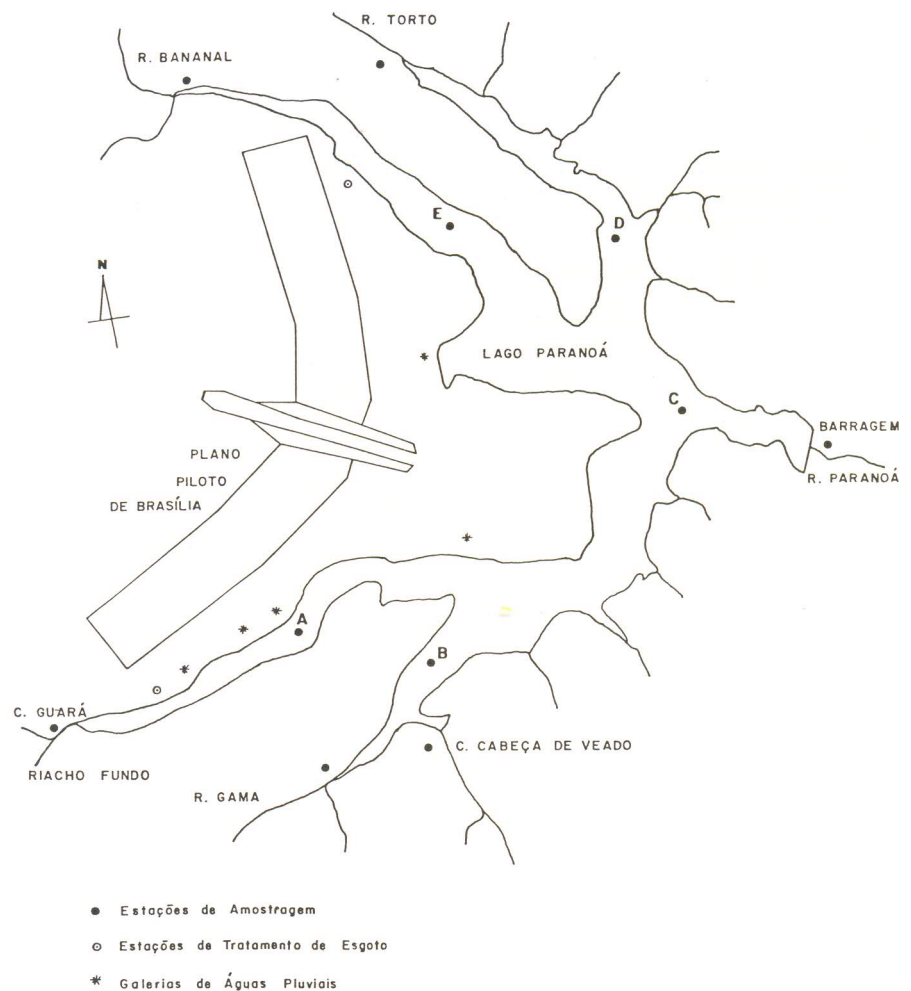


Figura 1

3.1 Modelo de Dillon e Rigler (1974)

A partir do modelo de Vollenweider e baseados nas mesmas hipóteses, Dillon e Rigler (5) desenvolveram um modelo em que todos os termos da equação são facilmente mensuráveis, a saber:

$$L = \frac{[P] \cdot \bar{Z}}{tw \cdot (1-Rp)} \dots \dots \dots (1)$$

onde:

- L é a carga de fósforo
- [P] é a concentração de fósforo no lago
- \bar{Z} é a profundidade média do lago
- tw é o tempo de residência hidráulica.
- Rp é o coeficiente de retenção de fósforo.

Na figura 2 tem-se a carga superficial de fósforo $(L(1-Rp) \cdot tw)$ versus a profundidade média (\bar{Z}), para valores de concentração de fósforo de $10 \mu\text{g/l}$ e $20 \mu\text{g/l}$. Estas concentrações foram definidas como permissível e perigosa, respectivamente, por Sawyer (7), através de uma análise limnológica de diversos lagos no mundo.

Com os dados da tabela 1, calcula-se que Rp é igual a 80%, tw é igual a 0,64 ano e L é igual a $2,91 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}$. Assim, a carga superficial $L(1-Rp) \cdot tw$ será igual a $0,365 \text{ g/m}^2$ e sendo a profundidade média igual a 14,3 m tem-se que, pela figura 2, o modelo de Dillon e Rigler classifica o lago Paranoá como eutrófico.

3.2 Modelo de Larsen e Mercier (1976)

Larsen e Mercier (6) desenvolveram um modelo de retenção de fósforo com base nas seguintes hipóteses:

- a vazão de entrada e de saída é igual e permanente;
- o sistema é completamente misturado em qualquer tempo;
- a perda por sedimentação é anual.

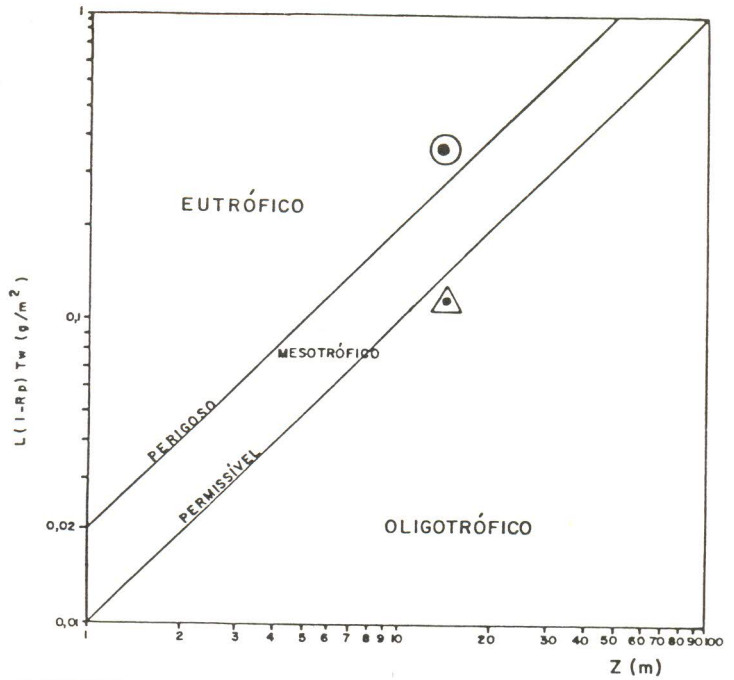
A equação básica do modelo é:

$$[P] = [P] e \cdot (1-Rp) \dots \dots \dots (2)$$

onde:

- [P] é a concentração de fósforo no lago.
- [P] e é a concentração de fósforo afluente ao lago.
- Rp é o coeficiente de retenção de fósforo.

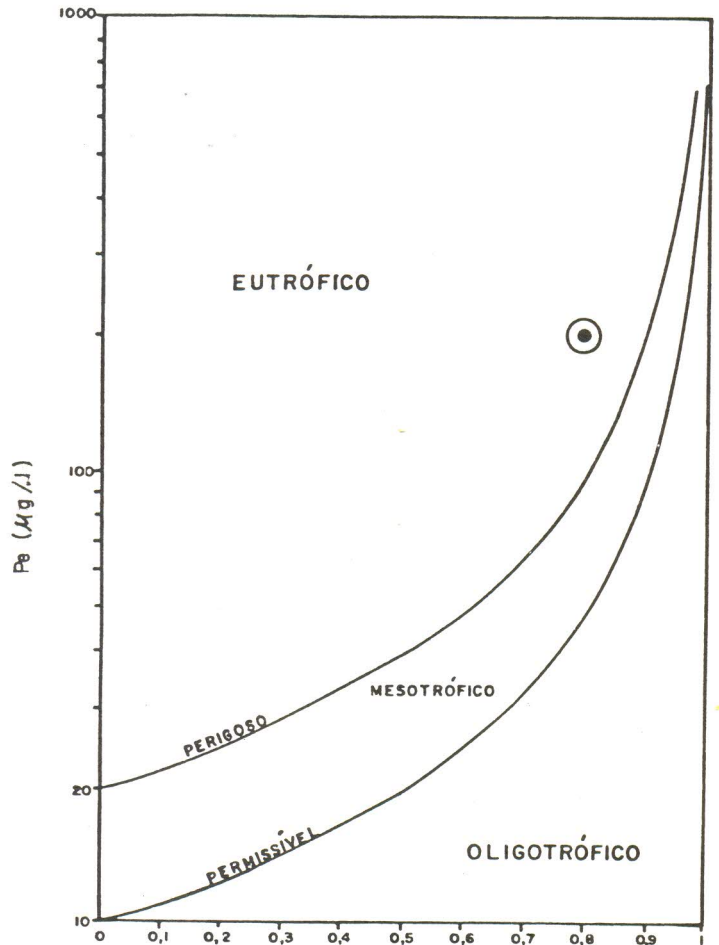
A figura 3 mostra as curvas da concentração de fósforo que entra no lago ([P] e) versus o coeficiente de retenção (Rp), para as mesmas concentrações limites usadas por Dillon e Rigler, ou seja, limite permissível de $10 \mu\text{g/l}$ e limite perigoso de $20 \mu\text{g/l}$.



LEGENDA:

- Situação do lago Paranoá em 1980
- ▲ Situação do lago Paranoá após remoção de P.

Figura 2 — Modelo de Dillon e Rigler



LEGENDA:

- Situação do Lago Paranoá em 1980

Figura 3 — Modelo de Larsen e Mercier

Pela tabela 2 pode-se calcular a concentração média de fósforo no lago como sendo igual a 39,84 µg/l e sendo Rp igual a 0,8, a concentração de fósforo afluente será igual a 203,08 µg/l. Entrando com este valor na figura 3 obtém-se a classificação eutrófica para o lago Paranoá, segundo o modelo de Larsen e Mercier.

4 Discussão

Uma comparação entre as cargas permitível e perigosa para os dois modelos é apresentada na tabela 3.

Tabela 3 — Carga de fósforo permitível e perigosa para o lago Paranoá pelos modelos de Dillon-Rigler e Larsen-Mercier

L (mg P.m ⁻² .ano ⁻¹)	MODELOS	
	DILLON-RIGLER	LARSEN-MERCIER
PERMISSÍVEL	1120	1104
PERIGOSA	2230	2208

A carga de fósforo ao lago Paranoá é de 2.910 mg/m²/ano, garantindo a classificação eutrófica para o mesmo, pelos dois modelos.

Utilizando as curvas do modelo de Dillon-Rigler (vide figura 2), observa-se que a máxima carga superficial que o lago Paranoá suportaria sem se eutrofizar é de 0,29 g/m² ou uma carga de 90,63 t/ano. A remoção de fósforo para o lago deverá ser de 23%. Esta redução corresponde a uma remoção de 26,8 t/ano na carga de fósforo. Considerando só as ETEs, temos:

ETE Sul: 60,15 t/ano
ETE Norte: 18,71 t/ano
Total: 78,86 t/ano

Aplicando a redução, dever-se-ia baixar a carga de fósforo das ETEs para 51,1 t/ano, o que corresponde a uma remoção de 33%. Por exemplo, aplicando-se o processo de lodos ativados com adição de sais de sulfato, para a remoção de fósforo nas ETEs, ter-se-ia uma porcentagem de remoção de 98%, baixando para oligotrófico o nível trófico do lago Paranoá (vide figura 2).

5 Conclusões

Considerando-se as análises feitas anteriormente e usando-se dados para lagos temperados na aplicação dos modelos matemáticos, chega-se às seguintes conclusões:

- O aporte total de fósforo no ano de 1980 ao lago Paranoá foi de 116,53 t/ano.

- As maiores fontes de fósforo que afluem ao lago são as ETEs Sul e Norte, com cargas de 60,15 t/ano e 18,71 t/ano, respectivamente.

- O lago Paranoá retém 80% de toda a carga que recebe, provocando um acúmulo de fósforo em seu sistema.

- Os modelos de Dillon-Rigler e Larsen-Mercier classificam o lago Paranoá, já em 1980, como eutrófico.

- Para diminuir o nível trófico do lago devem-se aplicar processos de remoção de fósforo nas fontes poluidoras. Considerando que, em 1980, as ETEs Sul e Norte participaram com maior carga de entrada de fósforo no lago, a remoção deve atingir, principalmente, estas duas fontes.

- A remoção mínima de fósforo, considerando a totalidade do lago, deve ser de 23%. Esta remoção garante ao lago a classificação mesotrófica.

- Aplicando-se nas ETEs Sul e Norte o processo de lodos ativados com adição de sulfato de alumínio (precipitação química) obtém-se uma remoção de 98% de fósforo, levando o lago Paranoá à condição oligotrófica.

Para que isto aconteça, entretanto, deve-se considerar que todos os outros parâmetros deverão permanecer constantes, o que atualmente não ocorre. Provavelmente nos próximos anos haverá um incremento da agricultura da região, instalação de indústrias e uma nova ocupação da bacia de drenagem. Todas estas modificações acarretarão aumentos na carga de fósforo, pela chuva, pelo escoamento superficial e pelas novas cargas de efluentes sanitários.

Assim, a consideração de aportes futuros é mais complexa do que simplesmente tratar da modificação de uma só fonte poluidora.

Cabe ainda apresentar alguns pontos que deverão complementar os resultados deste trabalho. Como exemplo pode-se citar a determinação da população limite na bacia de ocupação do lago Paranoá a fim de que este não se torne eutrófico, bem como as limitações de áreas agrícolas, da pecuária, da criação suína e granjeira. Ter-se-ia, então, um ponto de partida para projetos urbanísticos de periferia, para projetos de agropecuária na região do Distrito Federal e, principalmente, as reais necessidades das estações de tratamento de esgoto no Plano-Piloto e cidades-satélites. Não tendo o Programa de Recuperação do

lago Paranoá (3) proposto pela Caesb feito referência aos tratamentos dos efluentes sanitários das cidades-satélites, essa omissão poderá transformar os tributários do lago Paranoá em futuros focos de poluição. Utilizando os modelos matemáticos, aplicados neste trabalho, poderia ser determinado o grau de tratamento necessário nos lançamentos a estes tributários, evitando, assim, a eutrofização do lago compatibilizando-se o tratamento de todas as fontes poluidoras com o processo de tratamento terciário que será destinado aos efluentes sanitários do Plano-Piloto. Desta maneira poder-se-ia integrar os projetos de expansão do Distrito Federal com a preservação do meio ambiente, através de um plano racional de aproveitamento das áreas disponíveis.

Abrem-se assim itens interessantes de pesquisas futuras, para que a avaliação do processo de eutrofização em lagos quentes seja uma ferramenta largamente utilizada em todos os ramos do gerenciamento científico.

Agradecimentos

Agradece-se ao CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro através da Bolsa de Iniciação Científica, processo n.º 108863/83, à Caesb - Cia. de Água e Esgoto de Brasília pelo fornecimento dos dados necessários à aplicação dos Modelos Matemáticos e ao eng. Marco Antonio Almeida de Souza pelo apoio e orientação.

6 Referências bibliográficas

- 1 — Cia. de Água e Esgoto de Brasília (Caesb). **Hidrologia da Região do Distrito Federal**. Relatório Interno (Vols. 1 e 2), dezembro, 1978.
- 2 — Cia. de Água e Esgoto de Brasília (Caesb). **Investigação de modelos simplificados de eutrofização em lagos tropicais**, Relatório 1 (vols. 1 e 2) — Dados do Lago Paranoá, Projeto de Cooperação Caesb/Cepis, maio, 1982.
- 3 — Cia. de Água e Esgoto de Brasília (Caesb). **Programa de recuperação do Lago Paranoá**. Setembro, 1984.
- 4 — Cordeiro Netto, O. M. & Colares, S. A. P. **Avaliação do nível de eutrofização dos lagos Paranoá e Descoberto, no Distrito Federal**, (não publicado).
- 5 — Dillon, P. J. & Rigler, F. H. A. **test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water**. Journal Fisheries Research Board of Canada, 31 (11): 1771-1778, 1974.
- 6 — Larsen, D. P. & Mercier, H. T. **Phosphorus retention capacity of lakes**. Journal Fisheries Research Board of Canada, 33: 1742-1750, 1976.
- 7 — Sawyer, C. N. **Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage**. Journal New. Engl. Water Works Association, 61:109-127, 1947 in Cetesb.
- 8 — Willrich, T. L. & Smith, G. E. **Agricultural practices and water quality**. The Iowa State University Press, 1st. ed, Ames, 1970.