

VARIAÇÃO MENSAL DA CONDIÇÃO TRÓFICA DO LAGO DAS GARÇAS (SÃO PAULO, SP, BRASIL)

NOGUEIRA, N.M.C.* & RAMIREZ R., J.J.**

* Universidade Federal do Maranhão.
Departamento de Oceanografia e Limnologia.
Praça Gonçalves Dias, 21, 65020-240 São Luís, Maranhão, Brasil.

** Universidade de Antioquia. Departamento de Biología.
Apartado aéreo 1226. Medellín, Colômbia.

RESUMO: Variação mensal da condição trófica do lago das Garças (São Paulo, SP, Brasil). O estado trófico do lago das Garças foi avaliado através de: a) valores absolutos de transparência (PS), b) concentrações de fósforo solúvel reativo (FSR), c) fósforo total (PT) e d) clorofila **a** (Cl. **a**). Os Índices de Estado Trófico (IET) de Carlson, de 1977 foram baseados em PS, PT e Cl. **a**, e o modificado de Toledo e colaboradores de 1983 incluiu além das variáveis de Carlson, o FSR. Foi aceito como critério inicial de avaliação trófica do lago que o corpo d'água é eutrófico. Isto foi especialmente verdade durante o início da época úmida, quando ocorreram florações de *Microcystis aeruginosa*, ocorreram diminuições na diversidade (de 3,60 a 1,90nats.indiv⁻¹) e equidade (de 0,57 a 0,27), bem como incrementos na dominância (de 0,05 até 0,39) na comunidade fitoplancônica. Com o emprego do IET de Carlson para PS, PT e Cl. **a** e do IET de Toledo para PS, o lago foi considerado como eutrófico ao longo do ano de amostragem, uma condição que contradiz o critério inicial. Com o IET de Toledo para FSR, o lago enquadra-se como oligotrófico em 75% do período de amostragem e baseado na Cl. **a** e PT, como mesotrófico em 91,7% e em 50%, respectivamente. No último caso, em 41,7% das amostragens, o corpo d'água foi classificado como eutrófico; coincidindo com o incremento de *M. aeruginosa* e as consequências derivadas do mesmo. Dos valores absolutos, o único conceito avaliador coerente com a condição do lago, foi o PT. Dos dois IET, só aquele de Toledo e colaboradores com base no PT explicou melhor as condições do lago e concordou com o critério inicial proposto. No entanto, recomenda-se basear as conclusões sobre estado trófico utilizando outros critérios além dos índices e as concentrações absolutas de algumas variáveis.

Palavras-chave: estado trófico, *Microcystis aeruginosa*, lago urbano.

ABSTRACT: Monthly variation of trophic condition of Garças' Lake (São Paulo, SP, Brazil). The trophic state of Garças' Lake was evaluated through: a) Secchi distance absolute measurements (SD), b) the concentrations of soluble reactive phosphorus (SRP), c) total phosphorus (TP) and d) chlorophyll **a** (Chl. **a**). The Trophic State Indexes (TSI) of

Carlson (1977) were based in SD, TP and Chl. *a*, and a modified TSI after Toledo and collaborators included, besides the variable of Carlson, the SRP. It was accepted as like an initial criterion for the trophic evaluation of the lake, that the water body is eutrophic. This was specially true during the beginning of humid period, when blooms of *Microcystis aeruginosa* happened, there were decreasing in diversity (from 3.60 to 1.90 nats.ind⁻¹) and evenness (from 0.57 to 0.27), as well as increasing in the dominance (from 0.05 to 0.39) within phytoplanktonic community were found. With the use of Carlson's TSI for SD, TP and Chl. *a* and Toledo's TSI for PS, the lake was considered as eutrophic throughout the sampling year, a condition that contradicts the initial criterion. With Toledo's TSI to SRP, the lake fits into oligotrophic in 75% of the sampling period, and based in Chl. *a* and TP, as mesotrophic in 91.7% and 50%, respectively. In the latter case, in 41.7% of the sampling time the water body was considered as eutrophic; this condition was coincident with the increasing of *M. aeruginosa* and the consequences derived from that. From the absolute values, the only evaluation concept coherent with the state of the lake was the TP. From the two TSI, only that of Toledo and collaborators based in PT, explained better the trophic conditions of the lake and agreed with the proposed initial criterion. However, we recommend to base the conclusions about the trophic state in the use of other criteria, in addition to indexes and the absolute concentrations of some variables.

Key-words: trophic state, *Microcystis aeruginosa*, urban lake

INTRODUÇÃO

Há coincidência dos resultados dos diferentes critérios de estado trófico utilizados para avaliar a variação estacional desta condição no lago das Garças? Com base nos trabalhos de Ramirez (1996) e Nogueira (1997) considera-se que o lago das Garças é eutrófico somente no final do ano de amostragem (1994), durante os meses que coincidem com a floração da cianobactéria *Microcystis aeruginosa* Kützing. Além disso, devido ao fato de alguns destes critérios terem sido criados para avaliar estados tróficos em outras latitudes, cada um acarretará respostas diferentes. Porém, quão distintas são estas respostas?

A eutrofização é um processo de superprodução de algas e macrófitas em um corpo d'água. O estado trófico é um fenômeno multidimensional e, conseqüentemente, um só indicador trófico não mede adequadamente este conceito (Kratzer & Brezonik, 1981). Entretanto, um índice multiparamétrico, tipo Shannon & Brezonik (1972), pode apresentar-se como de utilidade limitada devido ao número de variáveis que envolve (Carlson, 1977). Por isso, este mesmo autor, considera que o índice ideal é aquele que preserva as vantagens de ser multidimensional e conserva a simplicidade do unidimensional. Apesar disto, o problema não é fácil de resolver, já que alguns lagos podem ser considerados como eutróficos por um critério e como oligotróficos por outro. Este quadro se agrava porque os autores usam diferentes critérios de avaliação, dificultando ainda mais qualquer comparação, mesmo em regiões climática e geomorfologicamente semelhantes (Schäffer, 1988). Por isso, a avaliação do estado trófico deve ser abordada, se possível, sob diferentes pontos de vista, através de concentrações absolutas de variáveis físicas, químicas e biológicas e de índices que utilizem estas variáveis através de um cálculo matemático que ofereça um número comparativo que proporcione uma linguagem comum. Esta última condição é fundamental, já que como é bem conhecido, os engenheiros abordam o problema em relação a libras de DBO, os biólogos falam da presença e ausência de espécies chaves de peixes, fauna de fundo e plâncton e

os ecólogos discutem os valores de densidade, eqüidade e homeostase do sistema. Uma visão numérica do problema permitirá esboçar mais claramente a condição trófica e sua variabilidade em um sistema ecológico qualquer.

METODOLOGIA

O lago das Garças se localiza em uma área denominada Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) a 23°39' de latitude sul e 46°37' de longitude oeste, ao sul da cidade de São Paulo. Foi formado por processo de drenagem de alguns pequenos corpos de água circundantes, apresenta uma área de aproximadamente 87.067m² e forma aproximadamente cilíndrica (Fig.1). O clima da área onde se encontra é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média e precipitação média anuais de 19°C e 1400mm respectivamente e direção predominante do vento no sentido sudoeste (Sant'Anna et al., 1989).

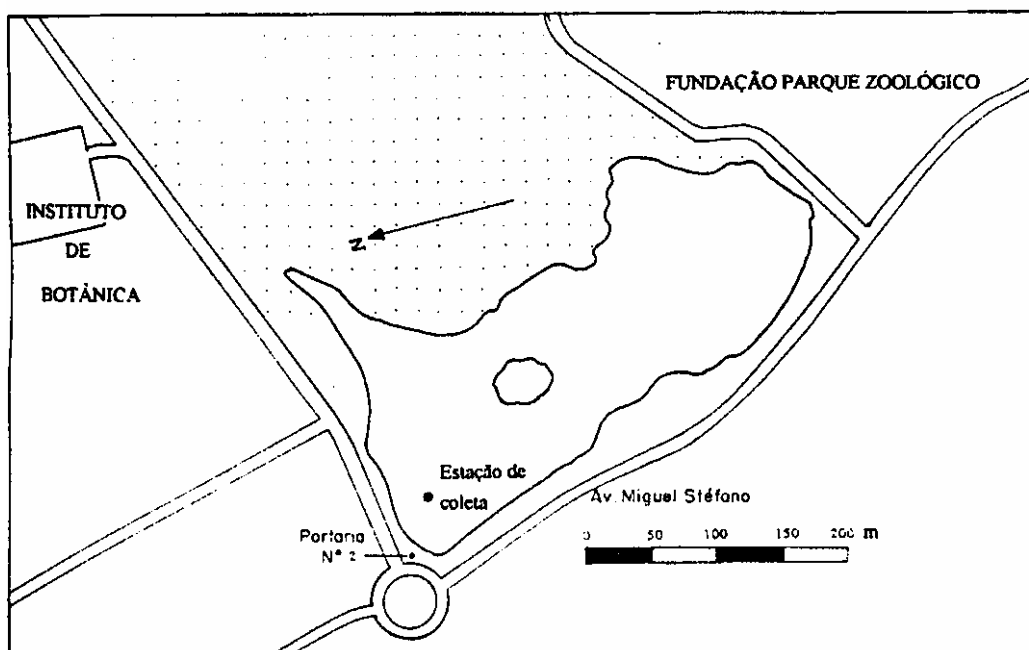


Figura 1. Mapa do lago das Garças indicando a estação de amostragem.

Apesar de estar situado em uma área de preservação, o lago sofre poluição orgânica proveniente de instituições vizinhas, principalmente do Parque Zoológico que despeja em suas águas uma alta carga de nitratos e fósforo solúvel reativo. Como consequência disto, este corpo d'água vem sofrendo processo contínuo de eutrofização cultural há alguns anos, confirmado por florações periódicas de *M. aeruginosa*, registradas pela primeira vez por Sant'Anna et al. (1989) durante o período de dezembro/82-março/83 e novembro-dezembro/83. Posteriormente Ramirez (1996) e Nogueira (1997) observaram as florações entre outubro-novembro de 1994.

As coletas foram realizadas mensalmente durante o período de fevereiro de 1994 a janeiro de 1995 em um ponto considerado como mais profundo (Fig. 1). Nele, foram escolhidas cinco profundidades de amostragem: 0m, 10%Io (Io = penetração de luz), 1%Io, 2m e 4m. As amostras foram coletadas com uma garrafa tipo Ruttner de 1 litro de capacidade. Para cada profundidade, foram coletados 2 litros de água e colocados em frascos de polietileno inerte para as análises físicas, químicas e biológicas. Além disso, foram coletadas amostras de 300ml para a contagem de *M. aeruginosa*, após fixação com lugol acético a 1% (Nogueira, 1997).

As variáveis usadas para avaliação do estado trófico do lago das Garças foram transparência (PS), fósforo solúvel reativo (FSR), fósforo total (PT) e clorofila **a** (Cl. **a**). Os valores usados neste trabalho para FSR, PT e Cl. **a** foram os valores médios das cinco profundidades de amostragem.

A transparência foi estimada com um disco de Secchi de 0,20m de diâmetro.

O fósforo total, previamente tratado com um oxidante forte e autoclavado, foi estimado pelo método do ácido ascórbico (Valderrama, 1981). O mesmo método foi utilizado para o fósforo solúvel reativo, porém sobre as amostras filtradas previamente em filtros Millipore AP-20 de 0,47mm de diâmetro. O fósforo particulado foi estimado subtraindo o fósforo total dissolvido do fósforo total. As concentrações atômicas de N e P foram calculadas a partir das concentrações de nitrogênio e fósforo obtidas para cada amostragem.

Usando as equações de Golterman et al. (1978) e acetona basicada a pH 8 como solvente, foi estimada a concentração de clorofila **a** ativa. Os feopigmentos foram estimados acidificando o extrato com HCl 0,25N.

Os Índices de Estado Trófico (IET) utilizados foram os de Carlson (1977) com base em PS, PT e Cl. **a** e o IET de Toledo et al. (1983) que é considerado uma modificação do IET de Carlson para corpos d'água tropicais e inclui também como variável avaliadora o FSR. A partir dos dados obtidos através de cada índice, um valor médio não ponderado foi obtido.

Como critério de avaliação, foram usados também os valores absolutos das concentrações de FSR, PT e Cl. **a**. Como escala avaliadora usou-se a de Toledo et al. (1983).

Como medida de tendência central foi usada a média aritmética. Como medidas de dispersão absoluta e relativa foram usados o desvio padrão e o coeficiente de variância relativa de Pearson, respectivamente.

Os testes t de Student e de regressão múltipla foram realizados com o programa estatístico Statgraphics, versão 5,0. Para a realização do teste t de Student, foi testada a homogeneidade das variâncias mediante a prova F. No caso de não homogeneidade, aplicou-se o teste aproximado de Welch, sugerido por Sokal & Rohlf (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores numéricos gerados através do uso de Índices de Estado Trófico (IET), não definem a condição de eutrofia, somente podem ser considerados como indicadores dela, já que o melhor indicador do estado trófico pode variar entre lagos e ainda estacionalmente. Por isso, Carlson (1977) considera que existem certos pressupostos que devem ser cumpridos antes de decidir qual é o IET mais apropriado para um sistema ecológico particular. Estas considerações podem estender-se ao IET de Toledo et al. (1983), por ser uma modificação do IET de Carlson (1977).

Com relação à transparência como indicador trófico, Carlson (1977) considera que o índice baseado nela não pode ser aplicado a lagos com material particulado diferente do algal, nem em lagos extremamente claros. Cumpre-se esta condição no lago das Garças? Com a finalidade de checar esta possibilidade realizou-se uma análise de regressão linear simples Cl. a-PS, cujos resultados ($r^2 = 4\%$, $p = 0,5402$, $n = 12$) mostram que as reduções da transparência, não estão significativamente associadas apenas com o aumento do material fitoplanctônico presente já que 96% da variação da mesma é explicada por outros fatores, por exemplo material particulado de origem inorgânica. Por isto, a PS não pode ser considerada um bom indicador do estado trófico do lago.

Segundo o mesmo autor, o uso do IET para fósforo total, assume que o nutriente limitante é o fósforo e não o nitrogênio. O conceito de nutriente limitante baseia-se na premissa de que, dada uma determinada estequiometria celular das plantas aquáticas, o nutriente que controlará a quantidade máxima de biomassa vegetal é aquele que primeiro é consumido ou que alcança um mínimo antes de outros nutrientes relativos a tal estequiometria (Salas & Martino, 1981). Sobre este particular, pode-se observar na Tab. I que o valor da relação NT/PT foi maior que nove em 75% das amostragens, o que segundo Vollenweider (1983) significa limitação potencial por P no ecossistema estudado. O mesmo sucedeu com a razão N/P (Tab. I), cujos valores maiores que cinco em 100% das coletas têm a mesma implicação que no caso anterior (Chiaudani & Virgilis, 1974). Entretanto, usando o modelo gráfico elaborado pelo Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS), que relaciona nitrogênio total com fósforo total pode-se ver que em 67% dos casos, o lago das Garças esteve limitado por P e em 33% por N, estando estes últimos pontos muito próximos do limite proposto para a razão N:P (Fig. 2).

Devido a esse fato, calcularam-se as razões percentuais PP/PT e FSR/PT (Tab. I), encontrando-se no primeiro caso um valor médio de 71,3% e no segundo de 3,9%, que significa que a fração disponível de fósforo na água do lago é pequena e que uma alta proporção do mesmo está ligada à biomassa algal (forma orgânica), reforçando a conclusão de que o fósforo é realmente o elemento limitante e de que este elemento e suas formas são função da biomassa algal presente. Esta última conclusão é outra das condições de Carlson (1977) para poder usar o IET com base no fósforo total.

Ainda na Tab. I, pode-se observar que nos meses em que ocorreu floração de *M. aeruginosa* (setembro, outubro, novembro, dezembro) os valores das razões NT/PT, N/P e FSR/PT foram os mais baixos. Além disso, a razão PP/PT apresentou nos mesmos meses os maiores valores. Isto reforça o fato da influência do PP como maior fração do PT e sua relação com o incremento de *M. aeruginosa*.

No que se refere a clorofila *a*, Carlson (1977) é menos exigente que nos outros dois casos, considerando que os IET obtidos com base nesta variável são os mais seguros, sobre-

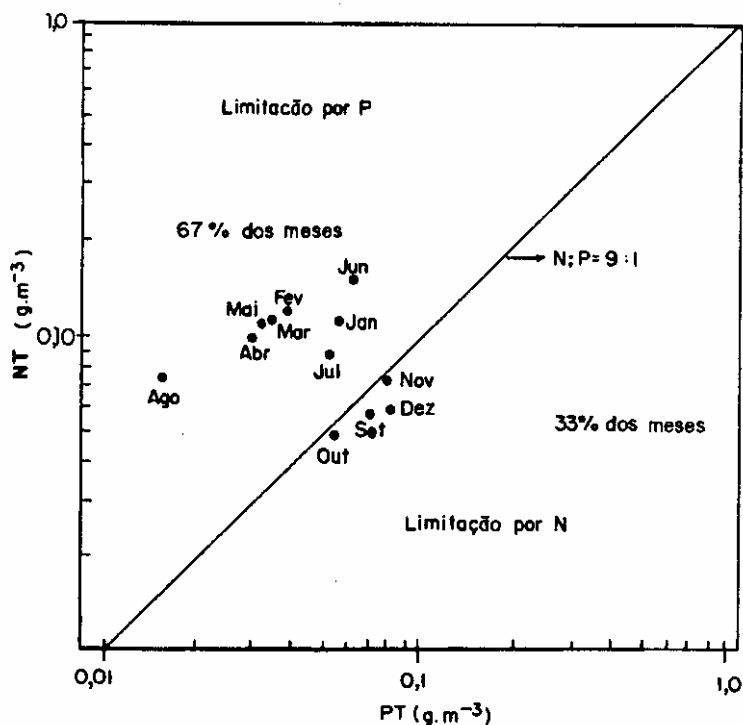


Figura 2. Ajuste das concentrações de nitrogênio e fósforo ao modelo desenvolvido por CEPIS (1981-1990) para encontrar o nutriente limitante.

Tabela I. Matriz básica dos valores mensais das razões relacionadas com nitrogênio e fósforo no lago das Garças.

| Meses | NT/PT | N/P | FSR/PT(%) | PP/PT(%) |
|--------|-------|------|-----------|----------|
| Fev/94 | 28,9 | 20,0 | 9,3 | 53,5 |
| Mar/94 | 39,0 | 27,0 | 1,1 | 67,9 |
| Abr/94 | 35,3 | 24,6 | 0,3 | 69,2 |
| Mai/94 | 29,0 | 20,1 | 3,0 | 73,4 |
| Jun/94 | 28,7 | 19,8 | 2,1 | 95,6 |
| Jul/94 | 18,7 | 13,0 | 2,2 | 79,2 |
| Ago/94 | 51,0 | 35,3 | 10,9 | 20,0 |
| Set/94 | 8,2 | 5,7 | 2,9 | 78,4 |
| Out/94 | 8,6 | 6,0 | 1,1 | 87,0 |
| Nov/94 | 9,3 | 6,5 | 0,8 | 89,4 |
| Dez/94 | 7,6 | 5,2 | 4,2 | 73,9 |
| Jan/95 | 17,7 | 12,2 | 6,7 | 67,6 |
| M | 23,2 | 16,3 | 3,9 | 71,3 |
| S | 14,1 | 9,8 | 3,3 | 19,7 |
| CV(%) | 60,0 | 60,0 | 83,8 | 27,6 |

N = Nitrogênio atômico ($\mu\text{g.l}^{-1}$); P = fósforo atômico ($\mu\text{g.l}^{-1}$); PP = fósforo particulado ($\mu\text{g.l}^{-1}$); PT = fósforo total ($\mu\text{g.l}^{-1}$); NT = nitrogênio total ($\mu\text{g.l}^{-1}$); FSR = fósforo solúvel reativo ($\mu\text{g.l}^{-1}$); m = média aritmética; S = desvio padrão; CV = coeficiente de variância.

udo quando são corrigidos para feopigmentos, o que foi feito em todos os casos para o lago das Garças. Então é seguro este critério para catalogar o estado trófico do lago das Garças?

Ainda que alguns destes critérios sejam de utilidade limitada quando usados individualmente, podem ser de considerável valor quando são considerados em conjunto.

Os valores obtidos para o IET de Carlson (1977) com base em PS, PT e Cl. a, mostram o lago das Garças como um ecossistema eutrofizado durante todo o tempo de amostragem (Fig. 3). Entretanto, como já tem sido estabelecido anteriormente, os resultados

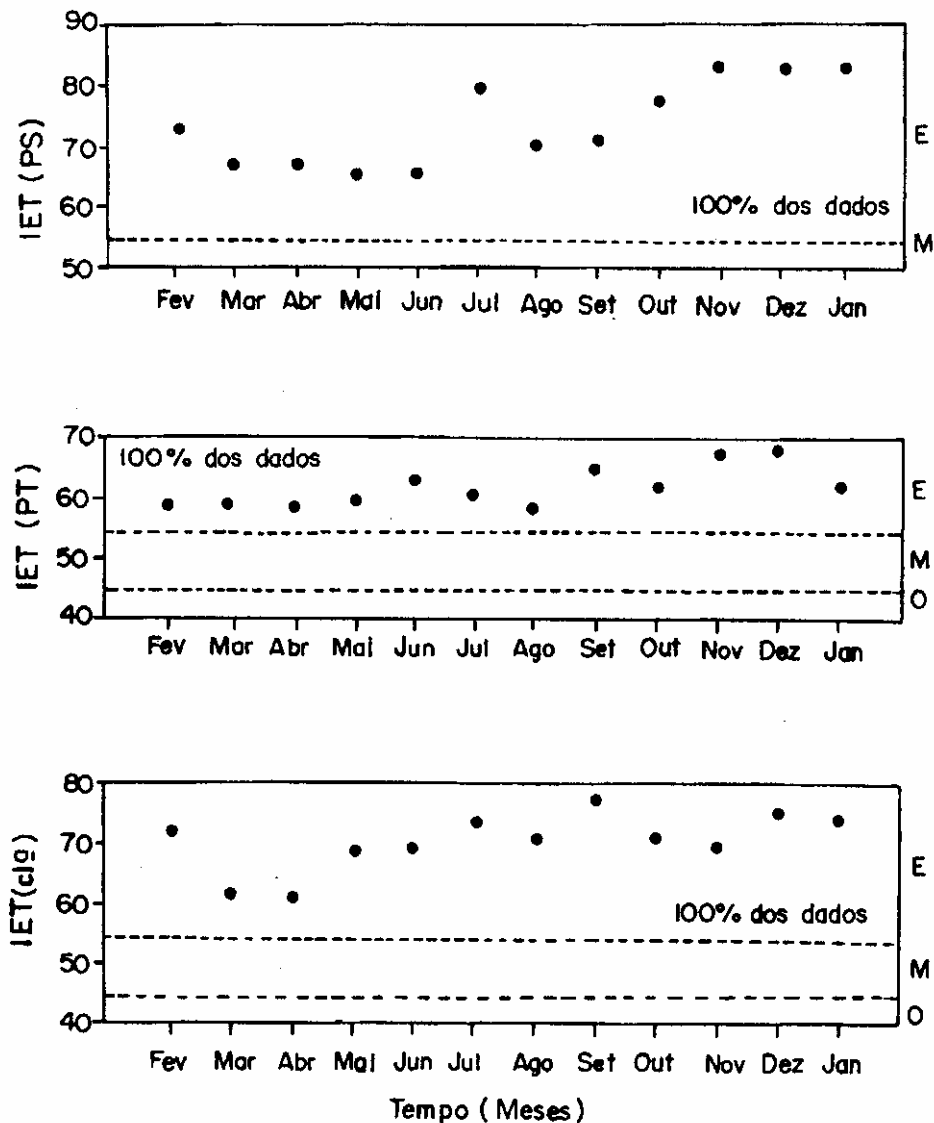


Figura 3. Variação mensal do estado trófico do lago das Garças segundo os IET de Carlson (1977) para profundidade de Secchi (PS), fósforo total (PT) e clorofila a (Cl. a).

encontrados por Ramirez (1996) e Nogueira (1997) permitem pensar que o lago é eutrófico somente em alguns períodos do ano, especialmente para o final das amostragens até o início da época úmida. Evidências claras disto são a estratificação térmica desenvolvida, os valores baixos de oxigênio hipolimnético (Tab. II), as florações de *Microcystis aeruginosa* (Figs. 4 e 6) (Ramírez, 1996; Nogueira, 1997), as reduções na diversidade ($H' = 1,90\text{nat.ind}^{-1}$) e a equidade ($E = 0,27$), os aumentos na dominância ($D = 0,39$) e a redundância ($R = 0,73$) que a comunidade fitoplanctônica apresenta durante este período do ano (Ramírez, 1996). No resto do ano, o lago mostra misturas profundas e equivalentes à espessura da coluna d'água no ponto de coleta (aproximadamente 4,5m), concentrações altas de oxigênio em toda sua extensão vertical, altos valores de diversidade (média = $3,60\text{nat.ind}^{-1}$) e equidade (média = $0,57$), baixos valores de dominância (média = $0,047$) e uma composição fitoplanctônica bastante distinta, na qual chama a atenção a baixa densidade de *M. aeruginosa* (Ramírez, 1996; Nogueira, 1997).

Com base no anterior, conclui-se que o IET de Carlson (1977) não mostrava as condições reais do lago das Garças durante o tempo de amostragem, decidindo-se então usar o IET modificado por Toledo et al. (1983) para corpos de água tropicais, cujos resultados são observados na Fig. 4. Pode-se ver nesta figura que o IET baseado no PT apresenta o lago das Garças como mesotrófico em 50% do tempo de amostragem e como eutrófico em 41,7% do mesmo, correspondendo esta última condição ao momento do florescimento de *Microcystis*, ao aumento dos valores da razão PP/PT (Tab. I) na concentração do fósforo particulado e às reduções hipolimnéticas na porcentagem de saturação de oxigênio (Tab. II), registradas por Nogueira (1997) e que são sinais claros de eutrofização. A regressão múltipla efetuada entre o IET (PT) e as concentrações de fósforo particulado, clorofila **a** e a densidade de *M. aeruginosa*, incluiu como variável significativa unicamente o fósforo particulado. A equação encontrada foi:

$$\text{IET (PT)} = 37,96 + 0,03\text{Cl. a} + 0,34\text{PP} - 0,000041\text{M. aeruginosa} \quad (F = 22,21, r^2 = 0,85, \\ p = 0,0003, SE = 2,62, n = 12).$$

Tabela II. Matriz básica da variação mensal dos subscritores considerados por Toledo et al. (1983) para a avaliação do estado trófico e seus respectivos resultados no lago das Garças.

| Meses | PS | Cl. a | PT | FSR |
|--------|---------|----------|---------|--------|
| Fev/94 | 0,40(E) | 57,0(E) | 44,7(M) | 4,2(O) |
| Mar/94 | 0,60(E) | 30,0(E) | 33,1(M) | 0,4(O) |
| Abr/94 | 0,60(E) | 24,6(E) | 29,6(M) | 0,1(O) |
| Mai/94 | 0,65(E) | 43,4(E) | 44,6(M) | 1,4(O) |
| Jun/94 | 0,65(E) | 56,7(E) | 60,7(E) | 1,3(O) |
| Jul/94 | 0,25(E) | 61,1(E) | 48,7(M) | 1,1(O) |
| Ago/94 | 0,50(E) | 47,9(E) | 14,9(O) | 1,6(O) |
| Set/94 | 0,47(E) | 101,3(E) | 69,1(E) | 2,0(O) |
| Out/94 | 0,30(E) | 47,8(E) | 54,7(E) | 0,6(O) |
| Nov/94 | 0,20(E) | 4,4(E) | 77,5(E) | 0,6(O) |
| Dez/94 | 0,20(E) | 92,0(E) | 79,8(E) | 3,3(O) |
| Jan/95 | 0,20(E) | 68,6(E) | 55,9(E) | 3,8(O) |

PS = profundidade Secchi (m); Cl. **a** = clorofila **a** ($\mu\text{g.l}^{-1}$); PT = fósforo total ($\mu\text{g.l}^{-1}$); FSR = fósforo solúvel reativo ($\mu\text{g.l}^{-1}$).

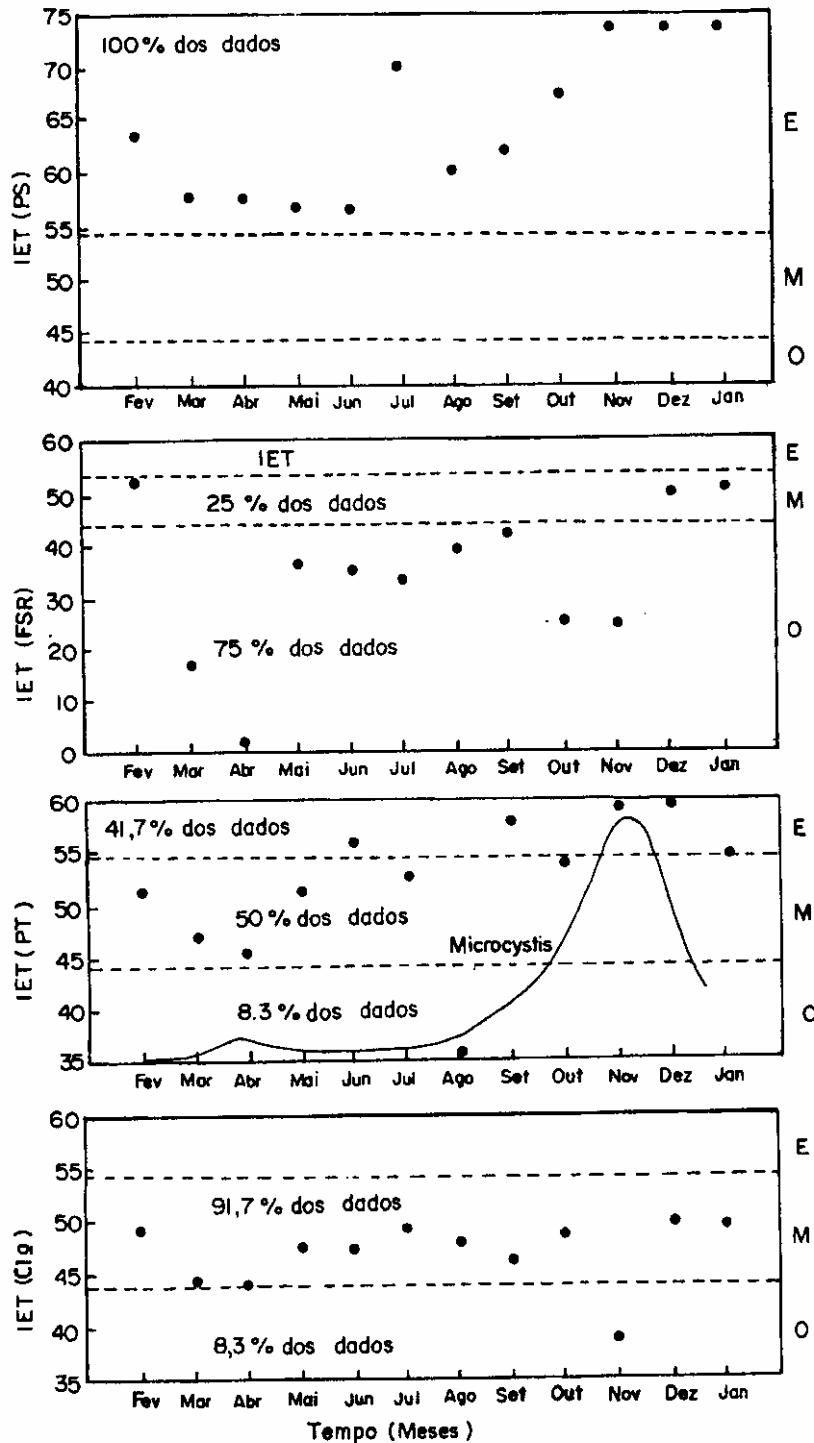


Figura 4. Variação mensal do estado trófico do lago das Garças segundo os IET de Toledo et al (1983) para profundidade Secchi (PS), fósforo solúvel reativo (FSR), fósforo total (PT) e clorofila a (Cl. a).

O efeito dos componentes individuais é observado na Fig. 5 acompanhado de sua respectiva matriz de correlações e os valores de significância de cada um. Esta equação é citada somente para demonstrar a validade do critério de Toledo et al. (1983) com base no PT para esta investigação, já que dado o pequeno número de dados considerados, não apresenta um alto valor preditivo nem um caráter de modelo. No entanto, a razão entre as inclinações das retas de PP:Cl. *a* e PP:*M. aeruginosa* deram respectivamente 11,3:1 e 8292,2:1 mostrando claramente a alta influência do PP no índice. Na matriz de correlações da Fig. 5 mostra-se que nem sempre incrementos no PP ou na densidade dos organismos são seguidos por incrementos na Cl. *a* ativa.

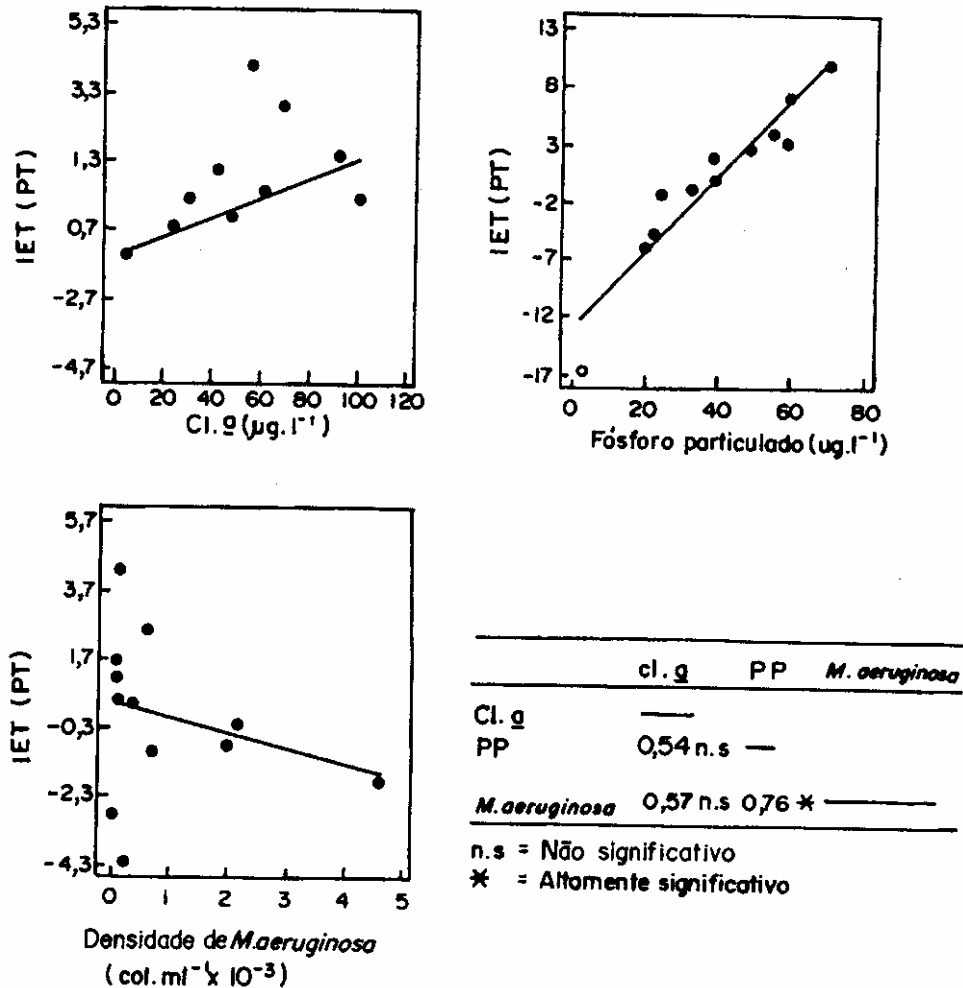


Figura 5. Efeito dos componentes clorofila *a* (A), fósforo particulado (B) e densidade de *Microcystis aeruginosa* em relação ao valor do IET (PT) de Toledo et al. (1983).

Os valores do IET de Toledo et al. (1983) para PS coincidiram em parte com o encontrado através do IET de Carlson (1977). O IET(FSR) considerou o lago como oligotrófico em 75% dos meses e como mesotrófico nos 25% restantes. Entretanto o IET(Cl. a) considera o lago como mesotrófico em 11 meses do ano (91,7% das amostragens). Vale a pena destacar que, como seria de esperar, os valores do IET(FSR) e o IET(Cl. a) diminuíram drasticamente durante o período de aumento da densidade de *M. aeruginosa* concordando com o registrado por Nogueira (1997) para as concentrações absolutas destas variáveis (Tab. II).

Com relação às médias não ponderadas dos IET de Carlson e Toledo et al. (1983), pode-se ver que novamente diferem amplamente na classificação trófica obtida (Fig. 6). O teste t de Student realizado concluiu que existem diferenças significativas entre os valores médios de ambos os índices ($t = 0,08$, $p = 6,8 \times 10^{-9}$). Os dados do IET médio de Toledo et al. (1983) apresentaram-se um pouco mais dispersos (Fig. 7). Enquanto o IET promédio de Carlson (1977) considera o lago das Garças como eutrófico em 100% do tempo de amostragem, o IET promédio de Toledo et al. (1983) considerou o lago como eutrófico em 3,3% dos meses de coleta (dezembro de 1994 e janeiro de 1995), correspondentes ao momento em que *M. aeruginosa* diminuiu sua densidade (Fig. 6). Por isso, pode-se considerar que nenhum dos dois índices mostra as condições estacionais reais do lago das Garças.

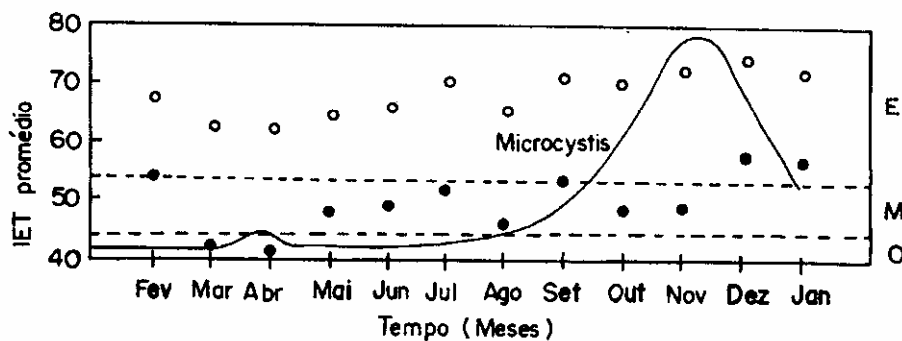


Figura 6. Variação mensal dos valores médios não ponderados dos IET de Carlson (1977) (o) e Toledo et al. (1983) (o) no lago das Garças.

A transparência e a concentração de clorofila *a* como critérios avaliativos do estado trófico estão muito relacionados. No lago das Garças, ambos os critérios não responderam em ao estabelecer este estado porque a transparência foi diminuída pelo coeficiente de atenuação da água e as substâncias dissolvidas nela contidas (K_w) mais que pela própria biomassa algal. Isto ocorre principalmente nos lagos pouco profundos como o estudado, que são facilmente misturados pelo vento, aumentando assim os valores de atenuação de luz (Carlson, 1980). Deve-se levar em conta também que a atenuação da luz na água está mais relacionada com a área superficial das partículas que desviam a luz que com o conteúdo de clorofila *a* das mesmas (Edmonson, 1980). Finalmente, deve-se considerar que ainda que a profundidade do disco de Secchi responda bem a concentrações baixas de clorofila *a*, chega a ser insensível a concentrações de clorofila maiores que $30 \mu\text{g.l}^{-1}$ (média = $52,9 \mu\text{g.l}^{-1}$ no lago das Garças). Assim, a transparência perde resolução onde mais precisa: em lagos onde as densidades da população algal são altas. A sensibilidade do disco de Secchi diminui também em águas coloridas. Por isso, lagos com K_w alto seriam interpretados como eutróficos, ainda

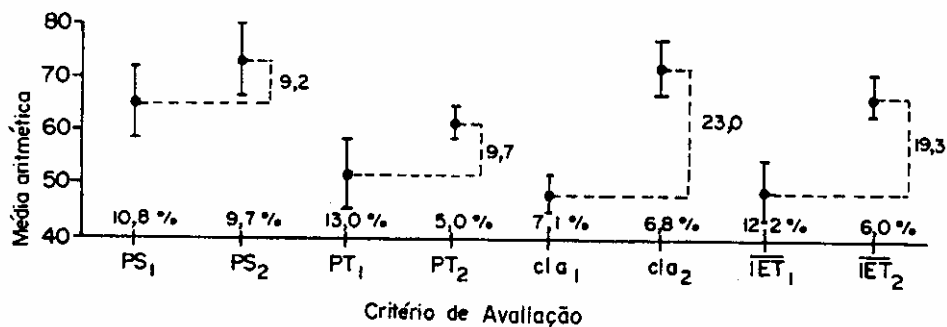
que a biomassa algal fosse baixa (Meggard et al., 1980).

Devido à limitação do fósforo e a sua maior concentração na biomassa algal, como foi demonstrado anteriormente para o lago das Garças, não se poderia esperar que um índice baseado na concentração de FSR funcionasse como critério adequado de estado trófico neste corpo d'água.

Na Fig. 7, observa-se que as maiores diferenças entre as médias dos IET foram encontradas para a Cl. **a** (23,0 unidades) e as menores para a PS (9,2 unidades). Igualmente observa-se que o IET de Toledo et al. (1983) mostrou sempre maiores coeficientes de variação que o IET de Carlson (1977). Estas diferenças entre as médias, ainda que aparentemente pequenas no caso dos dois primeiros critérios (PS e PT), permitem chegar a conclusões completamente contraditórias com relação à condição trófica do lago, como já foi mencionado anteriormente. No caso dos IET (PS) e IET (Cl. **a**); ambos apresentaram valores de dispersão parecidos. Nas Figs. 3 e 6 observa-se que os IET (PT) e os IET promédios de Carlson (1977) foram mais uniformes; porém menos dispersos quando comparados com os valores dos mesmos IET modificados de Toledo et al. (1983). Na Fig. 4, estas menores dispersões nos valores dos IET de Carlson (1977) não significam melhores resultados na avaliação do estado trófico; mas, sim insensibilidade frente às condições mutantes desta condição no lago das Garças. As diferenças entre os valores médios dos dois IET com base em PS ($t = -3,24$, $p = 3,79 \times 10^{-3}$, $n = 12$), PT ($t = -4,48$, $p = 1,86 \times 10^{-4}$, $n = 12$) e Cl. **a** ($t = -13,6$, $p = 3,58 \times 10^{-12}$, $n = 12$) foram consideradas estatisticamente significativas em todos os casos.

Com base nas escalas de Toledo et al. (1983) para PS, PT, FSR e Cl. **a** (Tab. II), observou-se novamente que o único critério avaliador coerente com o proposto é o PT.

Segundo Lambou et al. (1983) da maioria dos critérios usados para medir estado trófico, são mais efetivos aqueles em que utilizam-se os nutrientes, isto é, as causas do processo (especialmente o PT), que os em que utilizam-se as manifestações biológicas ou efeitos do fenômeno de eutrofização (aumento da concentração de Cl. **a** e reduções de FSR e PS). No entanto, seria melhor não usar apenas um tipo de critério e basear as conclusões obtidas sobre o IET em valores numéricos calculados através de índices, em concentrações absolutas e em critérios biológicos que associem clorofila **a** macrófitas, etc. O conhecimento prévio do corpo de água também representa um papel muito importante na escolha do melhor critério.



1. IET modificado de Toledo et al (1983)
2. IET de Carlson (1977)

Figura 7. Magnitude das diferenças entre as médias aritméticas dos diferentes critérios de avaliação usados pelos IET de Toledo et al. (1983) e Carlson (1977). Na parte inferior observam-se os valores respectivos do coeficiente de variação de Pearson.

CONCLUSÕES

1) As respostas obtidas com os índices de Carlson (1977) e Toledo et al. (1983) efetivamente são distintas, sendo as diferenças obtidas em todos os casos estatística e biologicamente significativas com probabilidades maiores que 99%.

2) Antes de aplicar qualquer tipo de IET, deve-se examinar os pressupostos exigidos por cada um deles.

3) O índice que melhor explica as condições do ecossistema lêntico lago das Garças durante o tempo de estudo é o IET de Toledo et al. (1983) com base no fósforo total conjuntamente com os critérios avaliativos de suas concentrações absolutas. Seus resultados concordam amplamente com a hipótese proposta no início deste trabalho. Recomenda-se aplicá-los em amostras sucessivas, já que são os únicos critérios conhecidos e corrigidos para aplicar em zonas tropicais.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 361-369.
- Carlson, R. E. 1980. More complications in the chlorophyll-Secchi disk relationship. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 379-382.
- Chiaudani, G. & Virgilis, M. 1974. The N:P ratio and test with *Selenastrum* to predict eutrophication in lakes. *Water Res.*, 8: 1063-1069.
- Edmonson, W. T. 1980. Secchi disk and chlorophyll. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 378-379.
- Golterman, H. L.; Clymo, R. S. & Ohstadt, M. A. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2^a ed. Oxford. Blackwell Scientific Publications. 213p.
- Kratzer, C. H. R. & Brezonik, P. L. 1981. A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Wat. Res. Bull.*, 17: 713-715.
- Lambou, V. W.; Taylor, W. D.; Hern, S. C. & Williams, L. R. 1983. Comparison of trophic state measurements. *Water Res.*, 17: 1619-1626.
- Meggard, R. O.; Settles, J. C.; Boyer, H. A. & Combs, W. S., J. R. 1980. Light, Secchi disk and trophic states. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 373-377.
- Nogucira, N. M. C. 1997. Dinâmica populacional de *Microcystis aeruginosa* Kützing (Cyanophyceae/Cyanobacteria) ao longo de um ano no Lago das Garças, São Paulo, SP. Brasil. Universidade Estadual Paulista. 109p. (Dissertação).
- Ramirez, J. J. 1996. Variações espacial vertical e nictemeral da estrutura da comunidade fitoplânctônica e variáveis ambientais em quatro dias de amostragem em diferentes épocas do ano no Lago das Garças, São Paulo. Universidade de São Paulo. 283p. (Tese).
- Salas, H.J. 1983. Resumen del II encuentro del Proyecto Regional «Desarrollo de Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Tropicales». OPS-CEPIS. 25p.
- Salas, H. J. & Martino, P. 1981. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. Lima. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS. 73p.
- Sant'Anna, C. L.; Azevedo, M. T. P. & Sormus, L. 1989. Fitoplâncton do Lago das Garças. Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil: estudo taxonômico e aspectos ecológicos. *Hoehnea*, 16: 89-131.
- Schäffer, A. (1988). Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Limnol. Brasil.*, 2: 29-55.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1995. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd ed. New York. W.H. Freeman and Company. 887p.

- Toledo, A P.; Talarico, M.; Chinez, S. J. & Agudo, E. G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e ambiental Camboriú. 57p.
- Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.
- Vollenweider, R. A. 1983. Eutrophication. Notes distributed during the II Meeting of The Regional Project on the Eutrophication of Tropical Lakes. Brasilia, Brazil. CEPIS.