

COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE CARLSON E DE CARLSON MODIFICADO APLICADOS A DOIS AMBIENTES AQUÁTICOS SUBTROPICAIS, SÃO PAULO, SP.

MERCANTE, C.T.J.* & TUCCI-MOURA, A.**

*Instituto de Pesca, Av. Francisco Matarazzo, 445,
05001-300 - São Paulo, SP, Brasil

**UEFS, Universidade Estadual de Feira de Santana
Departamento de Ciências Biológicas, Laboratório de Ficologia
Rodovia BR-116, km 3 - 44030-460 - Feira de Santana, BA

RESUMO: Comparação entre os índices de estado trófico de Carlson e Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo. O índice de Carlson (aplicado a lagos e reservatórios de regiões temperadas) é um dos mais utilizados no Brasil para se estimar o estado trófico de nossos sistemas aquáticos. Modificações neste índice foram feitas procurando adequá-lo às condições limnológicas de reservatórios tropicais. O presente estudo aplicou ambos índices em dois ambientes distintos (um reservatório pequeno e raso dominado por macrófitas aquáticas - Açude do Jacaré - e outro, de maior dimensão e com elevada entrada de matéria orgânica - Lago das Garças). Tais ambientes localizam-se na faixa subtropical do estado de São Paulo, Brasil. As variáveis usadas foram: fósforo total, fósforo solúvel reativo, clorofila *a* e transparência da água. Mediante aplicação (utilizando-se a média ponderada das referidas variáveis) dos índices original de Carlson e de Carlson modificado, o Açude do Jacaré foi classificado como eutrófico (IET = 56) e mesotrófico (IET = 47), respectivamente. O Lago das Garças foi classificado como hipereutrófico pela aplicação do índice de Carlson (IET = 68) e eutrófico aplicando o modificado (IET = 54). Entretanto, para o Açude do Jacaré, o procedimento experimental deveria ser revisto no sentido de se considerar o conteúdo de nutrientes associados às macrófitas para posterior avaliação.

Palavras-chave: estado trófico, índice de trofia, índice de Carlson, índice de Carlson modificado, reservatório tropical.

ABSTRACT: Comparison between the Indexes of Carlson and the Carlson Modified applied in two aquatic subtropical environments, São Paulo, SP, Brazil. Carlson trophic index (applied to lakes and reservoirs in temperate regions) is the most applied in Brazil to estimate the trophic status of

our aquatic systems. Modifications of this index were realized aiming at adequating it for the limnological conditions of tropical reservoirs. Present study compared both indexes in two distinct environments (Jacaré Pond, a small, shallow reservoir with extensive growth of aquatic macrophytes, and Garças Reservoir, a somewhat larger, deeper reservoir that receives waste water). Both systems are located in the subtropical area of state of São Paulo, Brazil. Parameters applied to the indexes were: total phosphorus, inorganic phosphate, chlorophyll *a*, and transparency of water. Jacaré Pond was classified as eutrophic (TSI = 56) by using the Carlson index and mesotrophic (TSI = 47) by the modified Carlson index. Garças Reservoir was classified as hipereutrophic (TSI = 68) by using the Carlson index and eutrophic (TSI = 54) by the modified Carlson index. However, experimental procedures should be reviewed for the Jacaré Pond in order to consider the nutrient contents associated to the macrophytes.

Key words: trophic status, trophy index, Carlson index, modified Carlson index, tropical reservoir.

INTRODUÇÃO

As dificuldades a serem solucionadas com relação a eutrofização de corpos d'água tanto artificiais quanto naturais são muitas. O rápido processo de degradação desses ambientes tem se tornado um problema agudo, sobretudo em países tropicais em desenvolvimento. Nesse sentido, estudos sobre a tipologia de lagos podem contribuir para trazer soluções eficazes, os quais, no entanto, foram desenvolvidos e aplicados por várias décadas a ecossistemas lacustres de regiões temperadas. Com o desenvolvimento das pesquisas limnológicas nos ambientes tropicais, tal tipologia tem sido aplicada a lagos desta região. Entretanto, a utilização de técnicas de regiões temperadas aplicadas a regiões tropicais tem gerado resultados muitas vezes inadequados e até mesmo inviáveis de serem utilizados (Esteves, 1988). Ainda, Salas & Martino (1990) revisando os modelos simplificados desenvolvidos principalmente com dados de lagos da zona temperada (OECD, 1982) chegaram à conclusão de que, devido às diferenças fundamentais entre estes e os de zona tropical (Castagnino, 1982), os mesmos não eram aplicáveis a maioria dos corpos d'água tropicais.

Vários métodos qualitativos e quantitativos vêm sendo utilizados para avaliar a eutrofização, sendo importante o acúmulo de dados e métodos seguros (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1992). Aspectos comparativos da avaliação quantitativa entre lagos tropicais e temperados, têm sido enfatizados por esses autores, enfocando o problema da eutrofização de lagos e represas no Brasil.

O índice de Carlson (1977) é um dos índices mais utilizados no Brasil, para estimar o estado trófico de sistemas aquáticos. Este índice relaciona as concentrações de fósforo total, clorofila *a* e a transparência da água para avaliar a situação trófica do ambiente sem, entretanto, delimitar os estados tróficos. Para

tanto, Kratzer & Brezonick (1981), propuseram critérios para o estabelecimento desses limites, separando os lagos em ultra-oligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos.

No Brasil, dentre os trabalhos que utilizaram o índice de Carlson (1977), destaca-se o de Schäffer (1988), no qual a aplicabilidade do índice foi discutida em um estudo sobre a tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul. O autor propôs ainda, uma modificação deste índice para utilização de lagoas costeiras, sugerindo a substituição da clorofila *a* pela demanda química do oxigênio, devido a baixa correlação da clorofila *a* com os demais parâmetros utilizados. Silva (1995), utilizou 17 indicadores de trofia e concluiu que 12 desses indicadores, inclusive o índice de Carlson, incluíram o lago Monte Alegre, São Paulo, na categoria eutrófico. Outros trabalhos, tais como os de Matsumura-Tundisi et al. (1986), Calijuri (1988), Oliveira (1993), Brondi (1994) e Caleffi et al. (1994), aplicaram o índice de Carlson para determinar o estado trófico de diferentes sistemas aquáticos.

Toledo et al. (1983) descreveram alguns tópicos relacionados aos modelos simplificados desenvolvidos em clima temperado, baseando-se no trabalho de Vollenweider (1976). As modificações propostas foram feitas através dos dados levantados na reservatório de Barra Bonita, estado de São Paulo, onde foram determinados os coeficientes de sedimentação e exportação do fósforo a partir de seu balanço de massa. De posse do resultado do balanço de massa os autores concluíram que a expressão proposta por Vollenweider (1976) deveria ser ligeiramente modificada para permitir melhor estimativa do coeficiente de sedimentação (Ks). Essa nova estimativa proposta para o Ks implicou em uma velocidade de sedimentação do fósforo cerca de 1,7 vezes maior que a prevista pela expressão original e como consequência, o tempo de residência hidráulico do reservatório de Barra Bonita necessário para atingir o estado estacionário seria 19 vezes menor do que utilizando-se a primeira estimativa. No modelo original de Vollenweider (1968), o critério de estado trófico estava baseado nas concentrações críticas permissível e excessiva. A partir dos dados médios mensais de clorofila *a*, calculados para o reservatório nos anos de 1978 a 1980 aqueles autores chegaram a uma redefinição das cargas críticas de clorofila, baseadas na nova estimativa de Ks, o mesmo ocorrendo para o fósforo e para o fósforo solúvel reativo. A redefinição das cargas críticas para a profundidade Secchi foi feita tomando como base os novos valores de cargas permissível e excessiva do fósforo total e inorgânico dissolvido. A partir da redefinição das cargas críticas permissíveis e excessivas para as quatro variáveis foi feita uma classificação limnológica do estado trófico para Barra Bonita. Para satisfazer essa classificação limnológica, o índice de Carlson foi então recalculado.

No presente estudo, foram aplicados os índices de Carlson e de Carlson modificado a dois ambientes localizados na região sudeste do Brasil localizados na faixa subtropical - Açude do Jacaré e Lago das Garças - tendo como principais

objetivos: (1) classificar o estado trófico dos ambientes estudados através do índice de Carlson e de Carlson modificado; (2) comparar os resultados da aplicação dos índices de Carlson e de Carlson modificado; e (3) verificar qual dos índices é mais adequado às condições físicas, químicas e biológicas observadas nos referidos ambientes.

ÁREA DE ESTUDO

O Açude do Jacaré localizado na Estação Experimental de Moji Guaçu, estado de São Paulo (22° 18' S, 47° 13' W), é um corpo d'água artificial pequeno e raso colonizado por exuberante vegetação de macrófitas aquáticas tanto fixas quanto flutuantes. O açude é alimentado através de uma nascente e se localiza dentro de reserva biológica sob proteção ambiental, fato que o leva a apresentar características próximas a ambiente natural. A profundidade média do açude é de 0,9m, área total de 3.162m² e volume total de 2.954m³. O clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico, de inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen (Marinho, 1994; Mercante, 1993; Mercante & Bicudo, 1996).

O Lago das Garças, localiza-se no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, no Município de São Paulo, (23° 39' S, 46° 37' W). O referido ambiente foi formado pelo represamento de vários córregos e ocupa área aproximada de 87.067m², tem um volume de 402.895m³ e profundidade média de 2,8m. O clima da região é do tipo Cwb, mesotérmico de inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen (Sant'Anna et al., 1989). A presença da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms foi registrada a qual, para o período estudado (março de 1994), ocupava cerca de 5% da área total do lago (comunicação pessoal, Tucci-Moura). O Lago das Garças é um corpo d'água artificial de dimensões maiores e mais profundo do que o Açude do Jacaré e, embora esteja localizado numa área de preservação ambiental, vem recebendo constante aporte de matéria orgânica "in natura", provenientes de instituições circunvizinhas. Este aporte de nutrientes leva frequentemente à ocorrência de florações da cianofíceia *Microcystis aeruginosa* (Nogueira, 1997; Sant'Anna et al., 1989; Sant'Anna et al., 1997). Ainda, Tucci-Moura (1996) discutiu que as concentrações das diferentes formas de nitrogênio (exceto amônio) detectadas para o Lago das Garças podem ser comparáveis às encontradas na Lagoa do Taquaral, Campinas, SP, um ambiente classificado como hipereutrófico, raso e com intensas florações de *Microcystis aeruginosa* (Matsumura-Tundisi et al., 1986).

MATERIAL E MÉTODOS

Os índices utilizados para a estimativa do estado trófico dos ambientes em questão foram:

a) Índice de Carlson (1977), através das seguintes equações:

$$\text{IET (DS)} = 10 \left(6 - \frac{\ln \text{DS}}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 1a}$$

$$\text{IET (CHL)} = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln \text{CHL}}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 2a}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{\text{PT}}}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 3a}$$

onde: IET (DS) = índice de estado trófico para o disco de Secchi

IET (CHL) = índice de estado trófico para a clorofila *a*

IET (PT) = índice de estado trófico para o fósforo total

Os limites estabelecidos por Kratzer & Brezonick (1981) foram:

Ultra-oligotrófico	< 20
Oligotrófico	21 - 40
Mesotrófico	41 - 50
Eutrófico	51 - 60
Hipereutrófico	> 61

b) Índice de Carlson recalculado, incluindo uma expressão para o fósforo solúvel reativo:

$$\text{IET (DS)} = 10 \left(6 - \frac{0,64 + \ln \text{DS}}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 1b}$$

$$\text{IET (CHL)} = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,695 \ln \text{CHL}}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 2b}$$

$$\text{IET (PSR)} = 10 \left(6 - \frac{\ln (21,67 / \text{PSR})}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 3b}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left(6 - \frac{\ln (80,32 / \text{PT})}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 4b}$$

onde: IET (DS) = índice de estado trófico para o disco de Secchi

IET (CHL) = índice de estado trófico para a clorofila *a*

IET (PT) = índice de estado trófico para o fósforo total

IET (PSR) = índice de estado trófico para o fósforo solúvel reativo

O critério para aplicação desse índice foi:

Oligotrófico	IET < 44
Mesotrófico	44 < IET > 54
Eutrófico	IET > 54

Toledo et al. (1983) evidenciaram que a equação obtida para a profundidade Secchi apresentava uma deficiência para o valor limite do estado oligotrófico e julgaram que tal parâmetro não era bastante representativo do estado trófico, devido a alta turbidez mineral do reservatório por eles estudado. Propuseram, então, a utilização da média ponderada atribuindo menor peso ao índice referente à profundidade Secchi, ao invés de simplesmente eliminá-lo. Os mesmos autores sugeriram que uma ponderação adequada seria: Equação 1c

$$\overline{\text{IET}} = \frac{\text{IET (DS)} + 2[(\text{IET(PT)} + \text{IET(PSR)} + \text{IET(CHL)})]}{7}$$

Baseando-se nas equações descritas acima, aplicou-se o Índice de Estado Trófico de Carlson (1977) e o Índice de Estado Trófico modificado de Carlson, incluindo a ponderação da equação 1c proposta por Toledo et al. (1983) ao Açude do Jacaré e ao Lago das Garças. As variáveis utilizadas para o cálculo dos referidos índices foram: fósforo total, fósforo solúvel reativo, transparência da água e clorofila *a*.

As coletas no Açude do Jacaré foram feitas mensalmente no período de janeiro a dezembro de 1990. As amostras utilizadas foram obtidas na subsuperfície em uma única estação de coleta. As coletas no Lago das Garças foram realizadas, na subsuperfície, a intervalos de três dias, nos meses de fevereiro (dias 22, 25 e 28) e março (dias 03, 06, 09, 12 e 15, 18 e 21) de 1994, totalizando 10 coletas.

Métodos para análise das variáveis foram os mesmos para os dois ambientes excetuando-se a análise da clorofila *a*. Determinação do fósforo total seguiu a técnica descrita em Valderrana (1981); fósforo solúvel reativo foi analisado de acordo com Strickland & Parsons (1960). As medidas de transparência da água foram feitas com disco de Secchi de 20 cm de diâmetro. Os pigmentos totais (clorofila + feofitina) foram analisados segundo Golterman & Clymo (1969) para o Açude do Jacaré. Para o Lago das Garças, estimou-se a clorofila *a* de acordo com a técnica de Golterman & Clymo (1969) modificada de Wetzel & Likens (1991). A nomenclatura utilizada neste trabalho foi: PT = fósforo total ; PSR = fósforo solúvel reativo; DS = transparência da água; CHL = Clorofila *a*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I são apresentados os valores dos índices de Carlson e Carlson modificado calculados a partir das médias anuais e das médias ponderadas do

fósforo total, fósforo solúvel reativo, clorofila *a* e transparência da água. Na Tab. II, os limites para as categorias tróficas segundo os critérios da OECD (1982).

Tabela I. Classificação do estado trófico dos ambientes estudados, a partir da média anual dos índices de Carlson e Carlson modificado: (O) oligotrófico, (M) mesotrófico, (E) eutrófico e (HE) hipereutrófico.

	Açude do Jacaré		Lago das Garças	
	IET Carlson	IET Modificado	IET Carlson	IET Modificado
PT	48 (M)	40 (O)	70 (E)	63 (E)
PSR	-	36 (O)	-	29 (O)
CHL	58 (E)	58 (E)	65 (E)	66 (E)
DS	69 (E)	60 (E)	72 (E)	63 (E)
IET Médio	56 (E)	47 (M)	68 (HE)	54 (E)

** Média ponderada (Eq. 1c)

Tabela II. Valores limites para categorias tróficas segundo OECD (1982).

	Ultra-oligotrófico	oligotrófico	mesotrófico	eutrófico	hipereutrófico
*PT	<4	4-10	10-35	35-100	>100
*CHL	<1	1-2,5	2,5-8	8-25	>25
**DS	>12	12-6	6-3	3-1,5	<1,5

*média anual $\mu\text{g.l}^{-1}$ **somente para lagos que não tenham turbidez inorgânica em metros

Açude do Jacaré

a) Fósforo total e fósforo solúvel reativo

Considerando o fósforo total, o ambiente foi classificado como mesotrófico, segundo o índice de Carlson (IETC = 48) e como oligotrófico, segundo o modificado (IETM = 40) (Tab. I). O açude foi classificado como oligotrófico, quando utilizado o fósforo solúvel reativo.

O Açude do Jacaré apresenta vegetação exuberante tanto de macrófitas submersas como fixas e livres flutuantes as quais entre outros fatores condicionam a dinâmica do sistema (Mercante, 1993; Marinho, 1994; Mercante & Bicudo, 1996). As concentrações de fósforo solúvel reativo e fósforo total apresentaram oscilações similares ao longo do ano com valores mais elevados no verão (período chuvoso) (Fig. 1a-b). Comparando-se a média anual de $22,58\mu\text{g.l}^{-1}$ de PT obtida no açude, com os critérios da OECD (Tab. II), tal ambiente seria mesotrófico. Pesquisas realizadas por Canfield & Jones (1984), para determinação do estado trófico de lagos da Flórida (Estados Unidos da América) dominados por macrófitas, mostraram a inadequação do índice de Carlson para uma classificação trófica. De acordo com estes últimos autores, as amostragens convencionais, feitas somente na água livre, não consideram os nutrientes associados à biomassa das plantas. Tal associação entre as macrófitas e outros indicadores tróficos, como fósforo, clorofila *a*, transparência Secchi e nitrogênio, devem ser consideradas pois, segundo os referidos autores, as mudanças na abundância das macrófitas influenciam as características

estruturais e funcionais dos lagos. Sugeriram ainda, a determinação do conteúdo de nutrientes na água mais o conteúdo de nutrientes nas macrófitas aquáticas, pois verificaram que o efeito das macrófitas sobre os valores de fósforo na coluna d'água dependem da quantidade relativa de macrófitas por volume total do lago; tal procedimento estima o conteúdo potencial de fósforo total no ambiente. Como exemplo os autores citaram o caso da lago Fairview (Flórida, Estados Unidos da América), extensivamente colonizado por macrófitas submersas. As concentrações de fósforo total na água (10mg.m^{-3}) levou a uma classificação do lago como oligotrófico (IET = 37) e usando o conteúdo de nutrientes na água mais o conteúdo de nutrientes nas macrófitas (conteúdo potencial de fósforo total 80mg.m^{-3}) o lago foi classificado como eutrófico (IET = 67). Entretanto, a metodologia empregada para se chegar a essas estimativas exige um intenso trabalho de laboratório, levando os autores a sugerirem o uso desse critério tendo como base a extensão da cobertura das macrófitas por porcentagem de área do lago. Além disso, sua aplicação seria mais viável para lagos pequenos dominados por vegetação aquática. Outros autores têm discutido a influência de macrófitas aquáticas na definição do estado trófico de lagos. Carlson (1984) sugeriu que, por exemplo, um lago com elevada entrada de nutrientes mas igual utilização pela biomassa das plantas, poderia ser considerado como oligotrófico, mas com alto potencial de eutrofia. Barbosa (1994) ressaltou, ainda, que a utilização isolada de parâmetros químicos inorgânicos para identificação do estado trófico pode levar a interpretações errôneas em ambientes com elevada biomassa de macrófitas, as quais podem provocar baixas concentrações de nutrientes na água devido a assimilação.

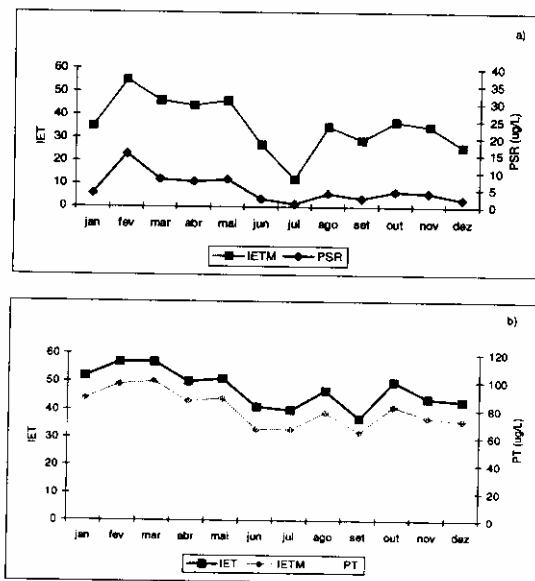


Figura 1. a) Variações temporais nas concentrações de fósforo solúvel reativo e no índice de Carlson modificado, IETM (a); nas concentrações de fósforo total, e nos respectivos Índices de Carlson original (IET) e modificado, IETM (b) no Açude do Jacaré.

b. Clorofila *a* e transparência da água

É importante ressaltar que devido a problemas metodológicos, os dados apresentados para o Açude do Jacaré são de pigmentos totais (não corrigidos pela feofitina). Embora, grande parte dos trabalhos apresentem a estimativa de clorofila *a*, julgamos que os resultados obtidos poderiam subsidiar a discussão. As máximas concentrações de pigmentos totais ocorreram no outono e primavera variando pouco no restante do ciclo anual (Fig. 2a). O açude foi classificado como eutrófico levando-se em conta ambos os índices (IET = 68) (Tab. I). Tal fato ocorreu porque a redefinição nos valores de carga crítica para a clorofila, teve uma alteração mínima com relação a Equação original (equação 2a). Comparando-se os valores de média anual ($23,90\mu\text{g.l}^{-1}$) com os critérios da OECD (Tab. II), o açude seria classificado como eutrófico. Carlson (1984), assinalou a fragilidade do uso do índice através da biomassa algal, por não considerar mudanças na biomassa das macrófitas, enfatizando que este fato não é contemplado nem nos índices nem nos modelos de carga de nutrientes. Sugeriu que, neste caso, se poderia pensar num sistema duplo de classificação: um termo estado trófico, baseado na atual condição do lago e outro termo, estado potencial, baseado na carga de nutrientes. Com relação à transparência da água, à exceção do mês de fevereiro, pouco variou durante o estudo (Fig. 2b). Ambos os índices classificaram o ambiente como eutrófico com valores de IET iguais a 69 e 60, respectivamente para Carlson e Carlson modificado. Embora os valores do índice modificado estejam abaixo do original ao redor de 10 unidades, Toledo et al. (1983) expuseram que tal índice, quando afetado por alta turbidez mineral, não é bastante representativo do estado trófico,

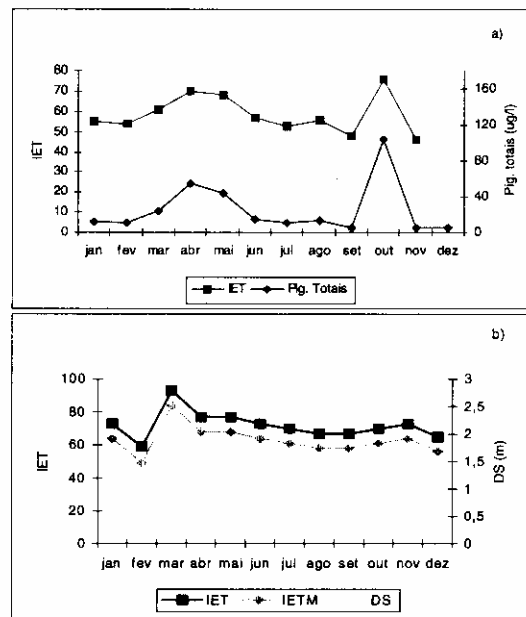


Figura 2. Variações temporais nas concentrações de pigmentos totais no índice de Carlson, IET (a); nas concentrações de transparência da água (DS), e nos respectivos Índices de Carlson original (IET) e modificado, IETM (b) no Açude do Jacaré.

sugerindo que sua utilização deva ser feita apenas como uma referência grosseira. Devido à presença das macrófitas no açude pode-se supor que a quantidade de detritos advinda dessa comunidade seja elevada nesse ambiente, o que faz crer que as observações do referido autor devam ser levadas em conta no presente estudo. Utilizando-se o critério da OECD (Tab. II) o açude seria classificado como hipereutrófico, com média anual de 0,50m.

Lago das Garças

a. Fósforo total e fósforo solúvel reativo

O Lago das Garças foi incluído na categoria eutrófico, utilizando-se o fósforo total, tanto a partir do índice de Carlson original (IET = 70) como modificado (IETM = 63). Entretanto, a partir do fósforo solúvel reativo o ambiente foi classificado como oligotrófico (IETM = 29). Foram pequenas as variações temporais nas concentrações de fósforo total e solúvel reativo, este em geral ocorrendo em concentrações cronicamente abaixo do limite de detecção do método (Fig. 3a-b).

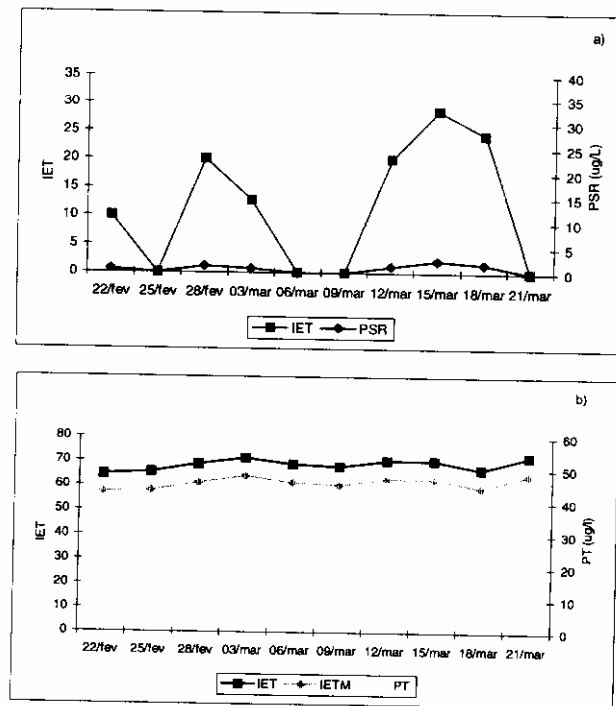


Figura 3. Variações temporais nas concentrações de fósforo solúvel reativo no índice de Carlson modificado, IETM (a); nas concentrações de fósforo total, e nos respectivos Índices de Carlson original (IET) e modificado, IETM (b) no Lago das Garças.

É importante ressaltar que a presença de macrófitas aquáticas (*E. crassipes*), abrangia, durante o período estudado, uma pequena extensão do lago (ca. 5% da área total) (comunicação pessoal, Tucci-Moura). Assim, se considerarmos a pequena participação dessa comunidade neste ambiente, pode-se supor que das quatro variáveis relacionadas ao processo de eutrofização, duas delas (fósforo total e solúvel reativo) estariam relacionadas com as causas do processo e as demais (clorofila *a* e transparência da água) com os efeitos do processo, inferiu-se que a entrada excessiva de fósforo nesse sistema aumentou a produtividade primária do mesmo, fato que corrobora a classificação trófica obtida por ambos índices. Embora o Lago das Garças seja um ambiente predominantemente eutrófico, a concentração de fósforo solúvel reativo esteve abaixo do índice de detecção do método, o que faz supor que este elemento parece estar sendo rapidamente assimilado pela comunidade fitoplânctonica não sendo detectado na coluna d'água (Tucci-Moura, 1996). Tundisi & Matsumura-Tundisi (1990) obtiveram baixos valores desse nutriente na coluna d'água do reservatório de Barra Bonita entretanto, altos valores foram encontrados no sedimento e na água intersticial. Castagnino (1982) analisando a taxa de sedimentação do fósforo para lagos tropicais, concluiu que valores de sedimentação são altos em lagos tropicais, e que isto poderia produzir uma baixa concentração deste elemento na coluna d'água. Comparando-se os valores obtidos de fósforo total para o lago ($30\mu\text{g.l}^{-1}$, média mensal) com os critérios da OECD (Tab. II) tal ambiente seria classificado como hipereutrófico.

b. Clorofila *a* e transparência da água

A clorofila no Lago das Garças teve variação temporal acentuada onde nos dias seis e nove de março ocorreu uma queda de seus valores, quando a transparência da água pouco variou (Fig. 4a-b). Ambos os índices, original e modificado (65 e 66, respectivamente; Tab. I), usando a clorofila como variável classificaram o Lago das Garças como eutrófico. Os resultados estão de acordo com os valores obtidos para o fósforo total, como já discutido pode-se sugerir uma correspondência entre causa e efeito, corroborando a classificação deste ambiente como eutrófico. O mesmo observou-se para a transparência da água, onde ambos os índices - original e modificado - classificaram o ambiente como eutrófico (IET = 72 e IETM = 63, respectivamente). Existiu, portanto, uma correspondência entre causa e efeito, onde a elevada entrada de fósforo aumentou a produtividade do fitoplâncton e, conseqüentemente, elevada biomassa de algas que resultou na diminuição da transparência da água. Segundo os critérios da OECD (Tab. II), a média mensal obtida de $36,7\mu\text{g.l}^{-1}$ para a clorofila *a* classificaria o lago como hipereutrófico, o mesmo para a transparência da água com média anual de 0,55m.

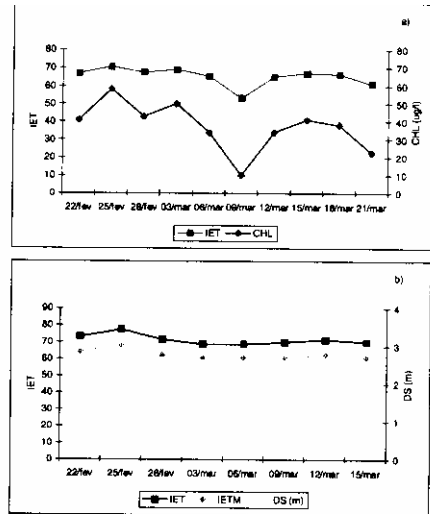


Figura 4. Variações temporais nas concentrações de clorofila *a* e no índice de Carlson, IET (a); nas concentrações de transparência da água (DS), e nos respectivos Índices de Carlson original (IET) e modificado, IETM (b) no Lago das Garças.

CONCLUSÕES

O Açude do Jacaré foi classificado como eutrófico através do índice de Carlson e como mesotrófico pelo índice modificado e o Lago das Garças como hipereutrófico aplicando o índice de Carlson e como eutrófico através do índice modificado. Devido à abundância de macrófitas aquáticas no Açude do Jacaré faz-se necessária uma reavaliação da metodologia de amostragem utilizada, no sentido de se considerar o conteúdo de nutrientes das macrófitas a fim de se obter resultados mais conclusivos quanto a aplicabilidade de ambos os índices. Para o Lago das Garças, entretanto, ambos os índices apresentaram uma correspondência quanto à classificação trófica, embora, recomende-se o uso do índice modificado pois este foi ajustado com base em estudos feitos em reservatórios tropicais.

Finalmente, faz-se necessário que a aplicação de tais índices seja feita com cautela, somente como um indicador do potencial do estado trófico, devendo-se considerar ainda os seguintes aspectos:

1. a dinâmica temporal e espacial das variáveis físicas, químicas e biológicas do sistema aquático;
2. os diferentes compartimentos de cada sistema principalmente em relação ao conteúdo de nitrogênio e fósforo.
3. os aspectos regionais particulares de cada bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS CITADAS

Barbosa, F.A.R. 1994. Why a Brazilian programme on conservation and management of aquatic ecosystems? *Acta Limnol. Bras.*, 5: 13-18.

- Brondi, S.H.G. 1994. Eutrofização da represa de Barra Bonita e comportamento da comunidade fitoplanctônica. São Carlos, Universidade de São Paulo, 172p (Dissertação)
- Caleffi, S., Zanardi, E. & Beyruth, Z. 1994. Trophic state of Guarapiranga reservoir in 1991-92. Verh. Int. Ver. theor. Angew. Limnol., 25: 1306-1310.
- Calijuri, M.C. 1988. Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 293p (Tese)
- Canfield, D.E. & Jones, J.R. 1984. Assessing the trophic status of lakes with aquatic macrophytes. In: 3rd Annual Conference. EPA-US Environmental Protection Agency - Lake and Reservoir, Cincinnati. p. 446-451.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr., 22: 361-380.
- Carlson, R.E. 1984. The trophic state concept: a lake management perspective. In: 3rd Annual Conference. EPA-US Environmental Protection Agency - Lake and Reservoir. p. 427-430.
- Castagnino, W.A. 1982. Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales. Organización Pan Americana de Saúde, Washington. 27p. (mimeografado).
- Esteves, F.A. 1988. Considerações sobre a aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais. Acta Limnol. Bras., 2: 3-28.
- Golterman, H.L. & Clymo, R.S. 1969. Methods for chemical analysis of freshwater. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 171p.
- Kratzer, C.R. & Brezonick, P.L.A. 1981. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. Water Res. Bull., 17: 713-714.
- Marinho, M.M. 1994. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica de um pequeno reservatório raso densamente colonizado por macrófitas aquáticas submersas (Açude do Jacaré, Mogi-Guaçu, SP, Brasil). São Paulo, Universidade de São Paulo, 150p (Dissertação)
- Matsumura-Tundisi, T., Hino, K. & Rocha, O. 1986. Características limnológicas da Lagoa do Taquaral (Campinas, SP) um ambiente hipereutrófico. Ciênc. Cult., 38: 420-425.
- Mercante, C.T.J. 1993. *Croasdalea marthae* (Zygnemaphyceae): estudo da distribuição espaço-temporal e avaliação das características taxonômicas em função de variáveis ambientais no Açude do Jacaré, Moji Guaçu, estado de São Paulo. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 212 p (Dissertação)
- Mercante, C.T.J. & Bicudo, C.E.M. 1996. Variação espacial e temporal de características físicas e químicas no Açude do Jacaré, Moji Guaçu, Estado de São Paulo. Acta Limnol. Bras., 8: 75-101.
- Nogueira, 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. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 109p (Dissertação)

- OECD - Organisation for Economic Co-operation and development. 1982. Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Paris. 155p.
- Oliveira, H.T. 1993. Avaliação das condições de um compartimento (braço do rio Capivara) e sua interação com o reservatório de Barra Bonita, SP, com ênfase na comunidade fitoplanctônica. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 328p (Tese)
- Salas, H.J. & Martino, P. 1990. Metodologias simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos calidos tropicales. CEPIS/HPE/OPS, Washington. 51p.
- Sant'Anna, C.L., Azevedo, M.T.P. & Sormus, L. 1989. Fitoplâncton do Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil: estudo taxonômico e aspectos ecológicos. *Hoehnea*, 16: 89-131.
- Sant'Anna, C.L., Sormus, L., Tucci, A. & Azevedo, M.T.P. 1997. Variação sazonal do fitoplâncton do Lago das Garças, São Paulo, SP. *Hoehnea*, 24: 67-86.
- Schäffer, A. 1988. Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Limnol. Bras.*, 2: 29-55.
- Silva, L.H.S. 1995. Variabilidade temporal na estrutura da comunidade fitoplanctônica de um reservatório eutrófico - Lago Monte Alegre, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 142p (Dissertação)
- Strickland, J.D. & Parsons, T.R. 1960. A manual of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 125: 1-185.
- Toledo Jr., A.P., Talarico, M., Chinez, S.J. & Agudo, E.G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: *Anais do 12 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. p.1-34.
- Tucci-Moura, A. 1996. Dinâmica da estrutura da comunidade fitoplanctônica num ambiente eutrófico a curto período de tempo: comparação entre chuva e seca. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 172p (Dissertação)
- Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. 1990. Limnology and eutrophication of Barra Bonita Reservoir, São Paulo State, Southern Brazil. *Verh. Int. Ver. theor. Angew. Limnol.*, 33: 661-667.
- Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. 1992. Eutrophication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives. In: Cordeiro-Marino, M., Azevedo, M.T.P., Sant'Anna, C.L., Tomita, N.Y. & Plastino, E.M. (eds.) *Algae and environment: a general approach*. Sociedade Brasileira de Ficologia, São Paulo. 131p.
- Valderrana, J.C. 1981. The simultaneous analysis of nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.*, 10: 109-122.
- Vollenweider, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lakes eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 53-83.
- Wetzel, R.G. & Likens, G.E. 1991. *Limnological analyses*. 2ª ed. Springer Verlag, New York. 391p.