

Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil

Comparison of two indexes of determination of the trophic state in the waters of Baixo São José dos Dourados, São Paulo, Brazil

Amanda Alves Domingos Maia¹, Sérgio Luís de Carvalho¹, Fernando Tadeu de Carvalho¹

RESUMO

Estudo realizado no período de fevereiro de 2010 a janeiro de 2011, no Baixo São José dos Dourados (BSJD), inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 18 (UGRHI), com o intuito de determinar o grau de trofia da água por meio do cálculo do índice de estado trófico (IET). Os pontos de coletas contemplavam as entradas diretas e difusas no trecho represado do curso d'água (pontos 1 e 2), intermediário (3) e próximo de sua confluência com o Rio Paraná (ponto 4). As amostras coletadas foram superficiais, de meio e de aproximadamente 1 m acima do leito. Em laboratório, foram determinados a clorofila-a, o fósforo total e o ortofosfato; a transparência da água foi determinada no local da coleta. Após determinados os parâmetros necessários foi possível classificar as águas como sendo oligotróficas e ultraoligotróficas.

Palavras-chave: índice de estado trófico; eutrofização; grau de trofia.

ABSTRACT

This Study conducted from February 2010 to January 2011, in the Baixo São José dos Dourados (BSJD), in the Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 18, in order to determine the trophic level of the water calculating the trophic state index (TSI) The points of collection were at the direct and diffuse inputs and dammed stretch of the watercourse (points 1 and 2), intermediate (3) and confluence with the Paraná River (point 4). The samples were superficial, medium and approximately 1 m above the riverbed. At the laboratory was determined chlorophyll-a, total phosphorus and orthophosphate, water transparency was determined at the collect place. After those parameters was possible to classify the waters as oligotrophic and ultraoligotrophic.

Keywords: trophic state index; eutrophication; trophic level.

INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional desencadeou uma enorme procura pela água, causando um grande aumento do consumo e, até mesmo, a sua escassez em algumas regiões. A sua utilização nas diversas atividades humanas, que variam entre consumo, despejo de esgotos e área de recreação, tem consequências muito variadas sobre os corpos hídricos, causando ao meio ambiente algum tipo de interferência, desde as mais simples até as mais complexas, já que cada atividade tem seus próprios requisitos de qualidade para consumo (CETESB, 2007).

O carregamento de parte dos fertilizantes utilizados em culturas agrícolas, além da grande carga de esgotos residenciais e industriais, tem levado cursos e reservatórios de água, naturais ou artificiais, a uma condição de desequilíbrio, caracterizado pela grande disponibilidade de nutrientes, acelerando o crescimento da vegetação aquática indesejável, eutrofizando os corpos d'água (CAVENAGHI, 2003).

No Brasil, diversos corpos d'água apresentam-se com médio ou elevado grau de trofia, principalmente aqueles próximos às áreas urbanas intensamente povoadas, ou em bacias hidrográficas com uso e ocupação desordenados, comprometendo a qualidade de água para diversos usos, inclusive o da geração de energia elétrica (TUNDISI, 2001).

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) - Sorocaba (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Amanda Alves Domingos Maia - Avenida Três de Março, 511 - Alto da Boa Vista - 18087-180 - Sorocaba (SP), Brasil - E-mail: aadmaia@yahoo.com.br

Recebido: 25/07/13 - Aceito: 23/02/15 - Reg. ABES: 121258

O objetivo deste trabalho foi classificar as águas do Baixo São José dos Dourados (BSJD) por meio da determinação do grau de trofia utilizando os índices de estado trófico de Toledo *et al.* (1983) que é utilizado principalmente em reservatórios de ambientes tropicais e também pelo método de Lamparelli (2004), que atualmente é utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Essa determinação do índice de estado trófico (IET) permitiu classificar o BSJD em diferentes graus de trofia, ou seja, possibilitou a avaliação da qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas na região.

Índice de estado trófico

Para ter conhecimento sobre o grau de trofia existente em um determinado ecossistema, pode-se calcular o IET, que representa entradas externas de nutrientes, como esgoto doméstico, resíduos industriais e agrícolas, e características específicas de cada reservatório, como tempo de retenção, vazão, regime hidrológico, servindo como base para um planejamento de controle da eutrofização e uso do corpo hídrico.

O IET também tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2009). Um IET funciona como um registro das atividades humanas em várias bacias hidrográficas, podendo permitir o planejamento, o controle da eutrofização e os usos dessas bacias.

O IET de Carlson (1977) permite uma avaliação limnológica bastante aproximada do nível de enriquecimento nutricional de um corpo aquático e abrange apenas três parâmetros, a transparência da água, a clorofila-a e a concentração do fósforo total. Trata-se de uma forma simples de analisar um conceito multidimensional que envolve critérios de oxigenação, transparência, nutrientes eutrofizantes, biomassa, composição e concentração de fito e zooplâncton, entre outros dados (Von SPERLING, 1994).

Toledo *et al.* (1983) propuseram modificações na formulação matemática do IET de Carlson (1977), visando adaptá-lo às condições climáticas de ambientes tropicais.

Das quatro variáveis citadas para o cálculo do IET de Toledo *et al.* (1983), clorofila-a, fósforo total, ortofosfato e transparência da água, atualmente, aplicam-se apenas duas no cálculo de Lamparelli (2004), a clorofila-a e o fósforo total, já que os valores de transparência muitas vezes podem não ser representativos para o estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo delimitada neste trabalho está inserida na sub-bacia do BSJD conhecida como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 18 (UGRHI 18).

Os municípios dessa sub-bacia são Aparecida D'Oeste, Ilha Solteira, Marinópolis, Pereira Barreto, Sud Menucci e Susanópolis e localizam-se em uma região de baixa densidade demográfica. Sua principal fonte de renda é obtida do setor primário, como pecuária, cana-de-açúcar, laranja, café e culturas temporárias, como milho e arroz. Os usos da água estão destinados para abastecimento público, afastamento de efluentes domésticos, irrigação de plantações e para as principais atividades industriais, como usinas, destilarias, curtumes, frigoríficos e laticínios (CETESB, 2001).

O Rio São José dos Dourados possui cerca de 285 km de extensão, apresentando seu trecho final represado como um dos braços do Reservatório de Ilha Solteira, com foz no Rio Paraná e cerca de 72 km de extensão, sendo conhecido como BSJD (IGRÉCIAS, 2009).

É caracterizado principalmente pelos seus usos múltiplos, como praias, navegação, produção de energia, consumo e também piscicultura para produção de tilápia. Todas essas atividades contribuem para intensificar a degradação da qualidade da água na região. Sendo de extrema importância a realização de estudos para a caracterização e classificação da água na região, visando uma maior segurança para a população local, evitando doenças e contaminações e melhorando a saúde pública.

Coletas

As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro, março e novembro de 2010 e janeiro de 2011, em 4 pontos previamente estabelecidos, contemplando entradas diretas e difusas no trecho represado do curso d'água em questão (pontos 1 e 2), intermediário (3) e próximo de sua confluência com o Rio Paraná (ponto 4), e foram realizadas por meio de garrafa de Van Dorn com capacidade para 5 L, na água sub-superficial, intermediária e de fundo.

Depois de realizadas as coletas, as amostras foram conservadas em isopor e encaminhadas para o Laboratório de Saneamento da UNESP *campus* de Ilha Solteira, onde foram realizadas as análises de clorofila-a, concentração de fósforo total e ortofosfato. A transparência da água foi medida *in loco* por meio do disco de Secchi, sendo determinada pela média calculada com base na profundidade de desaparecimento do disco e do seu reaparecimento.

O fósforo total foi determinado pelo método HACH, utilizando o Kit PhosVer 3, com ácido ascórbico. O ortofosfato foi determinado pelo método do Persulfato de Potássio (GOLTERMAN; CLYMO; OHNSTAD, 1978) e a clorofila-a foi determinada pela filtração em

membrana e posterior extração com choque térmico com etanol a 80% (NUSCH & PALME, 1975). Aplicaram-se o índice proposto por Carlson (1977), modificado por Toledo *et al.* (1983), e o de Lamparelli (2004).

Precipitação e temperatura

Os dados mensais de pluviosidade e temperatura atmosférica para o período de janeiro de 2010 a janeiro de 2011 foram obtidos no banco de dados climatológicos do DEFERS – UNESP.

Índice de determinação de estado trófico

No presente trabalho, aplicaram-se o índice proposto por Carlson (1977), modificado por Toledo *et al.* (1983), que considera as medidas de transparência da água por meio do disco de Secchi (m), a concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), a concentração de ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e a concentração de clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$), e também o índice de Lamparelli (2004), que considera apenas a clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e o fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), sob a forma proposta pela CETESB (2009).

Para a determinação do IET pelo método modificado por Toledo *et al.* (1983), foram utilizadas as Equações 1 a 5, observadas a seguir.

$$IET(S) = 10^* \left[6 - \left(\frac{0,64 + \ln S}{\ln 2} \right) \right] \quad (1)$$

$$IET(PT) = 10^* \left[6 - \left(\frac{8,32 / PT}{\ln 2} \right) \right] \quad (2)$$

$$IET(\text{Chla}) = 10^* \left\{ 6 - \frac{[2,04 - 0,95 * (\ln \text{Cla})]}{\ln 2} \right\} \quad (3)$$

$$(PO_1) = 10^* \left\{ 6 - \frac{(\ln 21,67/PO_4)}{\ln 2} \right\} \quad (4)$$

$$IETm = \frac{IET(S) + 2 \{ IET(PT) + IET(Cla) + IET(PO_4) \}}{7} \quad (5)$$

Onde:

S: leitura da transparência da água pela profundidade do disco de Secchi (m)

PT: concentração de fósforo total na superfície ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

PO_4 : concentração de fosfato inorgânico (ortofosfato) na superfície ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

Chla: concentração de clorofila na superfície ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

IETm: índice de estado trófico médio

Para a determinação do IET especificado por Lamparelli (2004), utilizaram-se as Equações 6 a 8, abaixo.

$$IETCL = 10^* 6 - 0,92 - 0,34 * \ln CL \ln 2 \quad (6)$$

$$IETPT = 10^* 6 - 1,77 - 0,42 * \ln PT \ln 2 \quad (7)$$

$$IET = IET PT + IET CL2 \quad (8)$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

ln: logaritmo natural

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitação e temperatura

Os dados mensais de pluviosidade e temperatura atmosférica para o período de janeiro de 2010 a janeiro de 2011 podem ser observados na Tabela 1. Os valores mostram um ciclo sazonal bem definido, com período de verão quente e chuvoso e um período de inverno com temperaturas amenas e menor pluviosidade. O nível de chuva no período de estudo foi elevado, caracterizando, dessa forma, como período chuvoso os meses em que ocorreram as coletas.

Nos 4 meses de coleta os níveis de chuva variaram de 138 mm, em novembro de 2010, até 233 mm, em janeiro de 2011, e os índices pluviométricos foram elevados, apresentando médias mensais variando de 4,6 até 7,5 mm, enquanto nos meses sem coletas a média de chuva na região variou entre 0 e 7,4 mm. Nos dias das coletas, os níveis de pluviosidade variaram entre 0 e 2,8 mm.

A precipitação total anual registrada foi de 1.477,1 mm de chuva. Foi constatada ainda, intensa precipitação no mês de janeiro de 2010,

Tabela 1 - Valores de temperatura média e pluviosidade para o período de estudo no Baixo São José dos Dourados.

Temperatura e pluviosidade do período de estudo			
Meses	Temperatura média °C	Pluviosidade total (mm)	Pluviosidade média
Jan/10	31,5	228,1	7,4
Fev/10	27	173,7	6,2
Mar/10	24,3	206,5	6,7
Abr/10	24,6	55,1	1,8
Mai/10	24,5	24,1	0,8
Jun/10	17,7	5,1	0,2
Jul/10	22,8	0	0
Ago/10	26,1	0	0
Set/10	27,7	93,2	2,1
Out/10	24,3	133,1	4,3
Nov/10	23,5	138,9	4,6
Dez/10	27,7	186,2	6
Jan/11	27,4	233,1	7,5

atingindo 228,1 mm. Nos meses da estação seca, a estiagem foi intensa, com destaque para maio, junho, julho e agosto, com precipitações nulas ou próximas a zero.

Nos meses de coleta a temperatura média variou entre 24,2 e 28,8°C. A maior temperatura média durante todo o período de estudo foi observada no mês de janeiro de 2010, atingindo 31,5°C. Segundo Lopes, Amaral e Hojaj (2010), em períodos chuvosos, a quantidade de material suspenso aumenta acentuadamente a turbidez, havendo indícios de carreamento de fósforo nos corpos d'água, como pode ser observado na Tabela 2.

Fósforo

Pode-se observar que no Rio São José dos Dourados os valores de fósforo total variaram entre 0,27 $\mu\text{g.L}^{-1}$, ocorrido em fevereiro de 2010, na amostra de fundo do ponto 2, e 7,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no mês de novembro de

2010 na amostra de fundo do ponto 4. Os valores em destaque ultrapassaram o valor limite de 3,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$, valor máximo permitido pelo método de análise utilizado (Tabela 3).

Levando em consideração todos os pontos amostrados, o valor médio global dos teores de fósforo total obtidos no período estudado foi de 1,39 $\mu\text{g.L}^{-1}$, porém, se analisarmos os valores obtidos de acordo com a sua profundidade, notamos que nos pontos de superfície o menor valor médio encontrado foi de 0,365 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no P1, e o maior valor médio, de 0,715 $\mu\text{g.L}^{-1}$. No P4, nas amostras de meio, o menor valor médio foi de 0,5225 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no P3, e o maior valor médio, de 0,5725 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Nas amostras de fundo, o menor valor médio de fósforo total foi encontrado no P3, sendo de 1,8125 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e o maior valor nessa profundidade foi no P2, no valor de 3,525 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Os maiores valores médios de fósforo total foram encontrados nas amostras de fundo de todos os pontos. Esses valores estão provavelmente associados à estação do ano com maior pluviosidade, demonstrando grande influência do deflúvio da bacia no aumento desse nutriente (VILAR, 2009). Na coleta 3, têm-se nos pontos de fundo 1, 2 e 4, os maiores valores de fósforo total encontrados nos meses de estudo, sendo estes bem superiores a 3,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

A Figura 1 permite uma comparação entre todos os valores obtidos em todo o período de estudo. Dessa forma, pode-se dizer que o mês de novembro de 2010, na coleta 3, apresenta nos pontos de fundo 1, 2 e 4 os maiores valores de fósforo total encontrados nos meses de estudo, sendo estes bem superiores a 3,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$. A Figura mostra também que na coleta 1, no mês de fevereiro de 2010, período chuvoso, os valores obtidos na maioria dos pontos são inferiores aos observados nos mesmos pontos em períodos diferentes, exceto pelas amostras de fundo do P1 e do P3, que apresentaram valores elevados.

A Tabela 4 apresenta a classificação da concentração do fósforo total por meio do índice de Toledo *et al.* (1983). Em todos os pontos amostrados durante o período de coleta, a classificação foi predominantemente oligotrófica, ou seja, nenhum valor desse IET foi superior a 44 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo que o valor máximo atingido foi na amostra de fundo do P4, no mês de novembro de 2010, atingindo 33 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e o menor valor para esse índice foi no P2, na amostra de superfície, no mês de fevereiro de 2010, atingindo apenas -0,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

A classificação para os valores de fósforo por meio do índice de Lamparelli (2004) foi predominantemente ultraoligotrófica, ou seja, os valores do IET para a concentração de fósforo em todo o período amostrado e em todos os pontos não ultrapassou 47 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 5).

Apesar de distintos e bem variados, os valores da concentração de fósforo tanto para Toledo *et al.* (1983) quanto para Lamparelli (2004) se enquadram em classificações parecidas, sendo que ambas indicam um baixo grau de trofia. A classificação de Lamparelli

Tabela 2 - Valores de temperatura média e pluviosidade encontrados para os dias de coleta de água no Baixo São José dos Dourados.

	Temperatura e pluviosidade nos dias de coleta	
	Temperatura média (°C)	Pluviosidade (mm)
19/fev/2010	28,8	0
10/mar/2010	27,4	0
11/nov/2010	24,8	0
05/jan/2011	24,2	2,8

Tabela 3 - Valores de fósforo obtidos nos pontos coletados no Baixo São José dos Dourados durante as quatro coletas.

	Valores de PT ($\mu\text{g.L}^{-1}$)			
	P1	P2	P3	P4
Coleta 1				
A	0,3	0,28	0,29	0,43
B	0,58	0,47	0,31	0,31
C	4	0,27	2,43	0,36
Coleta 2				
A	0,39	0,42	0,75	0,79
B	0,81	0,85	0,59	0,61
C	1,56	2,04	1,77	0,59
Coleta 3				
A	0,45	0,75	0,74	0,66
B	0,38	0,35	0,46	0,72
C	4,46	6,94	1,26	7,79
Coleta 4				
A	0,32	0,66	0,89	0,98
B	0,47	0,58	0,73	0,65
C	3,97	4,85	1,79	5,2

PT: concentração de fósforo total na superfície; P1: ponto de coleta 1; P2: ponto de coleta 2; P3: ponto de coleta 3; P4: ponto 4 de coleta; A: coleta de superfície; B: coleta de meio; C: coleta de fundo.

(2004), porém, é a mais adequada, porque, mesmo atingindo valores maiores, ser classificado como ultraoligotrófico indica menor índice de eutrofização.

Comparando-se com o trabalho realizado por Vilar (2009), observa-se que os açudes Bola I e Namorados tiveram como menores teores de fósforo total, valores médios de 90,4 e 74,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente, sendo estes bem superiores ao valor médio global encontrado para a concentração de fósforo, o qual foi de apenas 1,39 v.

Altas concentrações do nutriente fósforo em bacias hidrográficas podem ter forte relação com o nível de ocupação urbana. Esgotos domésticos, efluentes liberados por indústrias e uso de fertilizantes em regiões rurais são fatores que ajudam a aumentar os níveis desse nutriente no meio aquático e podem, consequentemente, acelerar o processo de eutrofização das águas (LEAL, 2006).

Assim como o aumento das formas nitrogenadas no reservatório, o incremento do fósforo também pode estar associado ao

carreamento de fertilizantes através do escoamento superficial (GARCIA, 2007). Devlin e Brodie (2005) constataram que a poluição por fósforo, em algumas zonas costeiras da Austrália, foi principalmente por descargas associadas ao desenvolvimento da agricultura de bacias adjacentes.

Ortofósforo

Os valores de ortofósforo nos pontos de coleta de A, B e C variaram entre 0,02 $\mu\text{g.L}^{-1}$, ocorrido em fevereiro de 2010, na amostra de superfície do ponto 1 e de meio do ponto 4, e também em março de 2010, nas amostras de meio dos pontos 2 e 4, e 1,46 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no mês de novembro de 2010, na amostra de fundo do ponto 4. Considerando-se valores médios globais obtidos para esse parâmetro, nota-se que a profundidade C, logo acima do leito, foi onde mais se encontrou ortofósforo, principalmente no P2 e P4, na frente do Canal de Pereira Barreto e próximo à confluência do BSJD com o Rio Paraná, indicando uma possível interferência desses diferentes sistemas no BSJD. A Figura 2

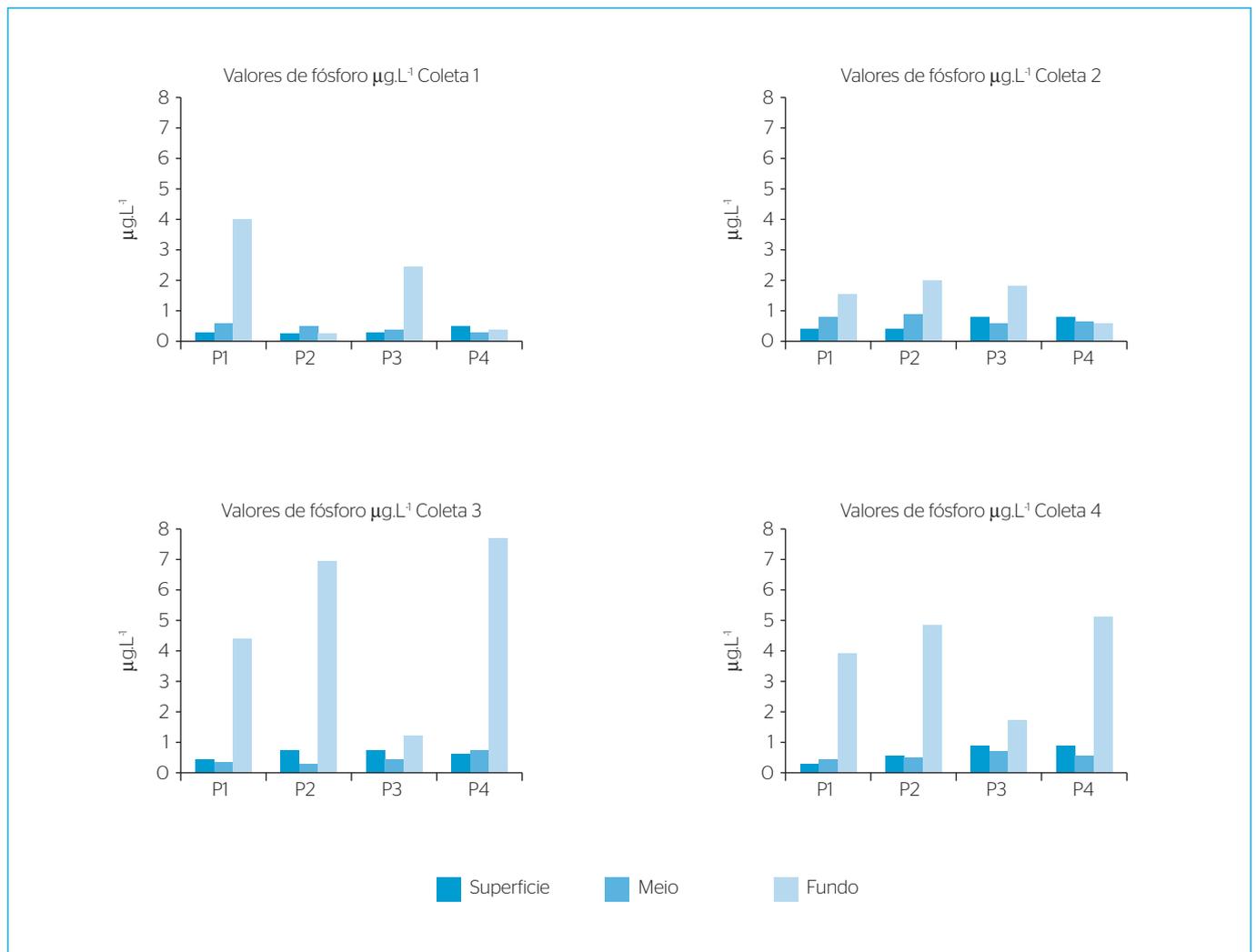


Figura 1 - Valores de fósforo total obtidos durante o período de estudo no Baixo São José dos Dourados.

Tabela 4 – Classificação obtida pela determinação do grau de trofia utilizando índice de Toledo *et al.* (1983) nas águas do Baixo São José dos Dourados.

	Classificação de IET (PT) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) - Toledo <i>et al.</i> (1983)							
	P1		P2		P3		P4	
Coleta 1								
A	0,43	oligo	-0,3	oligo	0,09	oligo	4,03	oligo
B	7,02	oligo	4,92	oligo	0,76	oligo	0,76	oligo
C	26,3	oligo	-0,6	oligo	21,35	oligo	2,25	oligo
Coleta 2								
A	3,05	oligo	3,79	oligo	9,59	oligo	10,1	oligo
B	10,4	oligo	10,8	oligo	7,19	oligo	7,52	oligo
C	16,9	oligo	19,6	oligo	18,18	oligo	7,19	oligo
Coleta 3								
A	4,48	oligo	9,59	oligo	9,46	oligo	8,31	oligo
B	2,79	oligo	1,97	oligo	4,7	oligo	9,18	oligo
C	27,4	oligo	31,8	oligo	14,78	oligo	33	oligo
Coleta 4								
A	1,07	oligo	8,31	oligo	11,3	oligo	12,3	oligo
B	4,92	oligo	7,02	oligo	9,32	oligo	8,16	oligo
C	26,3	oligo	28,3	oligo	18,29	oligo	29	oligo

IET: índice de estado trófico; PT: concentração de fósforo total na superfície; P1: ponto de coleta 1; P2: ponto de coleta 2; P3: ponto de coleta 3; P4: ponto 4 de coleta; A: coleta de superfície; B: coleta de meio; C: coleta de fundo.

Tabela 5 – Classificação obtida pela determinação do grau de trofia utilizando índice de Lamparelli (2004) nas águas do Baixo São José dos Dourados.

	Classificação de IET (PT) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) - Lamparelli (2004)							
	P1		P2		P3		P4	
Coleta 1								
A	27,16	ultra	26,74	ultra	26,95	ultra	29,34	ultra
B	31,15	ultra	29,88	ultra	27,36	ultra	27,36	ultra
C	42,86	ultra	26,52	ultra	39,84	ultra	28,26	ultra
Coleta 2								
A	28,75	ultra	29,2	ultra	32,71	ultra	33,03	ultra
B	33,18	ultra	33,47	ultra	31,26	ultra	31,46	ultra
C	37,15	ultra	38,77	ultra	37,91	ultra	31,26	ultra
Coleta 3								
A	29,61	ultra	32,71	ultra	32,63	ultra	31,94	ultra
B	28,59	ultra	28,09	ultra	29,75	ultra	32,46	ultra
C	43,52	ultra	46,2	ultra	35,85	ultra	46,9	ultra
Coleta 4								
A	27,55	ultra	31,94	ultra	33,75	ultra	34,33	ultra
B	29,88	ultra	31,15	ultra	32,55	ultra	31,84	ultra
C	42,81	ultra	44,02	ultra	37,98	ultra	44,45	ultra

IET: índice de estado trófico; PT: concentração de fósforo total na superfície; P1: ponto de coleta 1; P2: ponto de coleta 2; P3: ponto de coleta 3; P4: ponto 4 de coleta; A: coleta de superfície; B: coleta de meio; C: coleta de fundo.

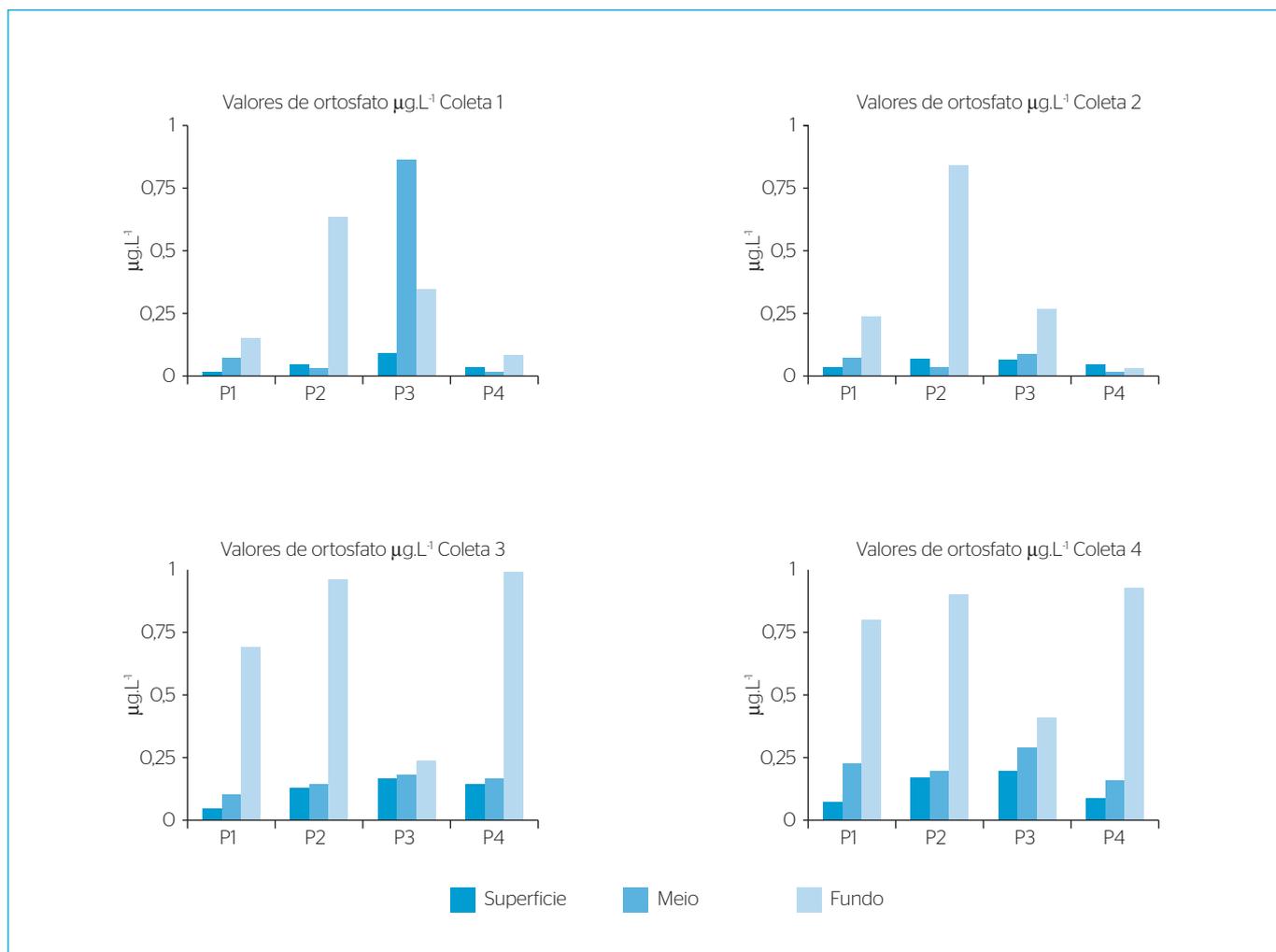


Figura 2 - Valores de ortofosfato obtidos nas coletas durante o período de estudo no Baixo São José dos Dourados.

e a Tabela 6 apresentam os valores de ortofosfato encontrados nos pontos coletados.

De forma geral, levando em consideração a média global para todos os pontos amostrados de cada coleta, o mês de janeiro de 2011 foi o que apresentou os maiores teores de ortofosfato ao longo de todo o reservatório, com valor médio global de $0,38 \mu\text{g.L}^{-1}$. O mês de fevereiro de 2010 teve uma média global de ortofosfato de $0,20 \mu\text{g.L}^{-1}$; em março de 2010, essa média atingiu o menor de todos os valores nos meses de estudo, sendo de apenas $0,15 \mu\text{g.L}^{-1}$, e, em novembro de 2010, o valor da média global foi de $0,36 \mu\text{g.L}^{-1}$.

A classificação do ortofosfato por meio do índice de Toledo *et al.* (1983) durante o período de coleta foi oligotrófica na maioria dos pontos, havendo, porém, pontos classificados como mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico, ou seja, os valores variaram de $2,15 \mu\text{g.L}^{-1}$, até $104,9 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Rocha & Martin (2005) avaliaram a influência do núcleo industrial na qualidade da água e observaram que os valores de ortofosfato ficaram entre $190 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $12.740 \mu\text{g.L}^{-1}$, os quais são resultados bem superiores aos encontrados no BSJD, porém, esses valores elevados comprovam a interferência da ação antrópica, através de despejos de efluentes domésticos e industriais.

Lamparelli (2004) observou que as concentrações de ortofosfato são maiores durante o período de estiagem, tanto em rios como em reservatórios. No período chuvoso, o fósforo está concentrado nas algas e, como a análise de fósforo total não diferencia o que está sob forma particulada ou solúvel, somente na análise de fósforo inorgânico dissolvido é possível detectar essa diferença. O fósforo inorgânico dissolvido é a forma mais facilmente assimilável de fósforo e a mais rapidamente consumida pelos organismos do fitoplâncton e macrófitas. Por esse motivo, essa forma de fósforo é relatada, pela maioria dos autores, como o nutriente limitante à eutrofização.

Clorofila-a

Observam-se na Tabela 7 todos os valores de clorofila-a obtidos no período de estudo, nota-se concentrações bem elevadas, principalmente

Tabela 6 - Classificação obtida pela determinação do grau de trofia utilizando índice de Lamparelli (2004) para a transparência da água do Baixo São José dos Dourados.

	Classificação de IET S (m) - Toledo et al. (1983)							
	P1		P2		P3		P4	
Coleta 1	68,34	hiper	48,74	oligo	55,12	meso	50,96	oligo
Coleta 2	57,75	meso	40,66	ultra	41,89	ultra	47,74	oligo
Coleta 3	50,96	oligo	30,37	ultra	23,41	ultra	21,11	ultra
Coleta 4	42,89	ultra	25,1	ultra	21,89	ultra	18,23	ultra

IET: índice de estado trófico; P1: ponto de coleta 1; P2: ponto de coleta 2; P3: ponto de coleta 3; P4: ponto de coleta 4.

no mês de março de 2010, com um valor máximo de $18,30 \mu\text{g.L}^{-1}$ registrado no ponto 2, na amostra de fundo. O valor mínimo encontrado foi de $0,11 \mu\text{g.L}^{-1}$ e ocorreu no ponto 3, na amostra de meio, em fevereiro de 2010. Apesar das elevadas concentrações de clorofila-a encontradas, todos esses valores foram bem abaixo do limite máximo de $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) para águas doces de classe II.

Considerando-se a concentração média da clorofila-a por ponto e profundidade amostrados, tem-se que a menor concentração média da clorofila-a de todos os pontos de meio foi no P4, com apenas $2,39 \mu\text{g.L}^{-1}$, e a maior concentração média foi no P1, com $4,42 \mu\text{g.L}^{-1}$. Devido a esses valores médios de concentração de clorofila-a se encontram bem abaixo dos $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ permitidos pelo CONAMA (2005), esses dados são aceitáveis e indicam uma moderada produtividade na região.

O aumento das concentrações de clorofila-a é decorrente não apenas das variações na composição e fisiologia das espécies do fitoplâncton, presentes nesses ambientes, mas possivelmente do aumento na biomassa de cianobactérias, as quais passam a ser dominantes nesses reservatórios, o que demonstra possíveis ajustes dessas comunidades fitoplanctônicas às condições ambientais existentes ao longo do tempo. Em todas as amostras de superfície foram encontrados valores que indicam consideráveis concentrações de clorofila-a, com um valor médio para essa profundidade de $4,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, o

Tabela 7 - Valores de clorofila-a obtidos nos pontos coletados durante os meses de coletas no Baixo São José dos Dourados.

	Valores de Chla ($\mu\text{g.L}^{-1}$)			
	P1	P2	P3	P4
Coleta 1				
A	1,28	0,6	1,98	2,06
B	0,75	1,90	0,11	1,9
C	2,04	1,67	1,45	2,01
Coleta 2	P1	P2	P3	P4
A	4,46	10,32	6,75	4,46
B	8,2	5,8	4,46	2,79
C	8,37	18,3	4,46	3,12
Coleta 3	P1	P2	P3	P4
A	5,2	9,7	5,9	3,97
B	7,5	6,3	4,3	3,25
C	8,8	9,8	4	4,12
Coleta 4	P1	P2	P3	P4
A	1,87	0,76	2,45	2,39
B	1,25	2,3	0,96	1,64
C	2,67	1,98	2,34	1,56

P1: ponto de coleta 1; P2: ponto de coleta 2; P3: ponto de coleta 3; P4: ponto de coleta 4; A: coleta de superfície; B: coleta de meio; C: coleta de fundo.

que sugere condições ótimas de quantidade de luz, temperatura e nutrientes disponíveis para a localização de uma grande camada de Chl-a (MINILLO, 2005)

Em estudo realizado por Barreto (2010), a concentração da clorofila-a variou no período chuvoso de 22,6 para 117,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$, valores bem superiores aos encontrados no BSJD, que variaram entre 0,11 e 18,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Segundo Lamparelli (2004), em um corpo hídrico, em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila-a coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila-a irá refletir esse fato, classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo.

Dessa forma, é possível afirmar que o BSJD não apresenta fatores limitantes do processo de eutrofização, pois os valores de IET (PT) são menores que os valores de IET (Chl-a) em todos os pontos de coleta. Segundo a classificação de (WETZEL, 1993), ambientes com concentrações de clorofila-a acima de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ são considerados eutróficos. O BSJD apresentou um ponto com valor acima do permitido por essa classificação, atingindo 18,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto 2 na amostra de fundo; dessa forma, a sua classificação seria eutrófico para esse ponto. Apesar de a classificação por Lamparelli (2004) ser diferente, o mesmo ponto também é considerado eutrofizado pelo autor.

Transparência da água

Os valores de transparência da água da área de estudo obtidas por meio do disco de Secchi podem ser observados na Tabela 8 e variaram entre 0,36 m no P1 da coleta 1 até 11,6 m no P4 na coleta 4.

Os valores mais elevados de transparência ocorreram nos meses de novembro de 2010, quando ocorreu precipitação média de 4,6 mm, e no mês de janeiro de 2011, quando a precipitação média foi 7,5 mm. Os valores do mês de fevereiro de 2010 foram

Tabela 8 - Valores de transparência da água obtidos nos pontos coletados durante os meses de coletas no Baixo São José dos Dourados.

	Valores de transparência S (m)			
	P1	P2	P3	P4
Coleta 1	0,36	1,4	0,9	1,20
Coleta 2	0,75	2,45	2,2	1,5
Coleta 3	1,2	5	8,1	9,5
Coleta 4	2,1	7,2	9	11,6

P1: ponto de coleta 1; P2: ponto de coleta 2; P3: ponto de coleta 3; P4: ponto 4 de coleta.

os menores valores encontrados para a transparência, porém, esse mês teve uma precipitação média de 6,2 mm, e o mês de março de 2010, com valores maiores que em fevereiro, teve uma precipitação de 6,7 mm. Os valores mínimos verificados nas coletas 1 e 2 ocorreram possivelmente devido ao aumento da turbidez da água (HAVENS *et al.*, 2003).

Os valores de transparência observados para o BSJD foram considerados elevados em comparação com os valores de Lagoa de Jacuném (LEAL, 2006), já que os primeiros valores do BSJD apresentaram uma média global de 42 m, enquanto os da lagoa em questão apresentaram uma média de apenas 0,4 m.

Se compararmos ainda o BSJD com outros estudos em lagoas costeiras, como, por exemplo, o estudo realizado por Nascimento (2002) *apud* Leal (2006), que encontrou valores entre 0,70 e 1,10 m e o estudo realizado por Cavaca (1994) *apud* Leal (2006) apresentou resultados de transparência em torno de 0,5 m, os valores encontrados para o BSJD para a transparência da água ainda são bem mais elevados.

Os valores do IET e suas classificações da transparência, de acordo com Toledo *et al.* (1983), mostram que o corpo d'água em questão pode ser classificado como ultraoligotrófico, aparecendo ainda outras classificações, como hipereutrófico, mesotrófico e oligotrófico, sugerindo que o BSJD, no trecho estudado, apresenta um baixo grau de trofia.

Com base nos níveis de pluviosidade para os meses de coleta e também os valores médios do IET de Toledo *et al.* (1983) para a profundidade no período de estudo, tem-se que os valores para os índices de pluviosidade são inversamente proporcionais aos valores de IET de transparência, ou seja, quanto maior o nível de chuva, menor será o valor da transparência da água. Esse fato pode ser observado em 3 das 4 coletas realizadas, sendo diferente apenas na coleta 3, em novembro de 2010, em que a pluviosidade foi de 138,9 mm e o valor médio do IET da profundidade foi de 31,46 m.

Os resultados elevados registrados para o IET no período chuvoso, durante todo o período do trabalho, estão associados a menor transparência da água e maiores concentrações de fósforo total determinadas nesse período, mantendo o reservatório classificado principalmente como eutrófico (LOPES; AMARAL; HOJAIJ, 2010).

Para os valores do IETm do corpo d'água por meio do índice de Lamparelli (2004), que é utilizado atualmente pela CETESB na avaliação dos graus de trofia dos corpos hídricos lênticos do Estado de São Paulo, tem-se que o menor valor obtido na coleta 1, no mês de janeiro de 2010, na amostra de meio do P3, atingindo o valor de 33,66 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

O valor máximo obtido foi na coleta 3, no mês de novembro de 2010, atingindo 52,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$, na amostra de fundo do P2, esse índice classifica de acordo com a maioria dos pontos amostrados o trecho

analisado como ultraoligotrófico. Apesar dessa classificação, pode-se observar mais dois diferentes tipos de grau de trofia, como oligotrófico, mesotrófico, porém, todas essas classificações indicam uma pequena degradação da área de estudo, baixo grau de eutrofização.

CONCLUSÃO

A utilização do IET foi uma maneira prática de se avaliar a qualidade de corpos d'água, facilitando a interpretação e divulgação dos resultados obtidos; quando aplicado a corpos aquáticos de uma mesma região, tal índice permite a rápida avaliação comparativa do estado trófico desses corpos.

A ligação do reservatório de Ilha Solteira com o reservatório de Três Irmãos tem contribuído para uma elevada entrada de águas com

características diferenciadas nesse sistema (IGRÉCIAS, 2009). Para promover uma melhoria da qualidade e redução da degradação desse corpo hídrico, são necessárias atitudes de recuperação, prevenção e preservação do ambiente.

O método proposto por Lamparelli (2004) apresentou maior suscetibilidade às mudanças, aumentando, dessa forma, o nível das classificações tróficas; embora o método de Toledo *et al.* (1983) apresente menores níveis de classificação, a sua variação numérica é maior, sendo capaz de detectar concentrações bem menores.

Dessa forma, em termos de aplicação, pode-se considerar que o melhor índice adotado durante o período de estudo no reservatório foi o de Toledo *et al.* (1983), pois este foi capaz de detectar baixos valores de concentrações dos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

- BARRETO, P.R. & GARCIA, C.A.B. (2010) Caracterização da qualidade da água do açude Buri-Frei Paulo/SE. *Scientia Plena*, v.6, n.9, p.1-21.
- CARLSON, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v.22, n.2, p.261-269.
- CAVENAGHI, A.L. (2003) *Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da Bacia do rio Tietê*. Tese (Doutorado) – Faculdade Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (2007) *Relatório De Qualidade Das Águas Interiores No Estado De São Paulo 2006/CETESB*. São Paulo: Série Relatórios-Secretaria de Estado do Meio Ambiente. v. 1-2, 327p. Relatório Anual.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. (2009) *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008/CETESB*. São Paulo: Série Relatórios-Secretaria de Estado do Meio Ambiente. v. 1, 531p. Relatório anual.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (2005) Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente 357/05. *Diário Oficial da União*, seção 1, Distrito Federal, Brasil, p.58-63, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 22 abr. 2010.
- DEVLIN, M.J. & BRODIE, J. (2005) Terrestrial discharge into the great barrier reef lagoon: nutrient behavior in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, v.51, n.1-4, p.9-22.
- GARCIA, C.A.B. (2007) Barragem jacarecica I - estado trófico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2007. p.10.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. (1978) *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. p. 213.
- HAVENS, K.E.; JAMES, R.T.; EAST, T.L.; SMITH, V.H. (2003) N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environmental Pollution*, v.122, n.3, p.379-390.
- IGRÉCIAS, L.F.M. (2009) *Avaliação da Influência do Entorno e do Canal de Pereira Barreto na Qualidade da Água do Baixo São José dos Dourados*. Dissertação - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- LAMPARELLI, M.C. (2004) *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LEAL, P.R. (2006) *Avaliação de indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira: lagoa de Jacuném*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- LOPES, L.G.; AMARAL, L.A.; HOJAJI, A. Seleção de indicadores para gestão da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal - SP. *Engenharia Agrícola*, v.30, n.4, p.732-741.
- MINILLO, A. (2005) *Análise da distribuição, densidade e toxicidade de florações de cianobactérias e suas toxinas nos reservatórios do Médio e Baixo Rio Tietê (SP) e relação com as características limnológicas do sistema*. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

NUSCH, E.A. & PALME, G. (1975) Biologische methoden für die Praxis der gewässeruntersuchung. *Gmf. Wasser/Abwasser*, n.116, p.562-565.

ROCHA, R.R.A. & MARTIN, E.S. (2005) Análise preliminar do estado ambiental do córrego água da lavadeira, Rancharia-SP: análise física e química da água. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, v.2, n.2, p.15.

TOLEDO, A.P.J.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. (1983) A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 12., Balneário Camboriú, Santa Catarina. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.1-34.

TUNDISI, J.G. (2001) Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização. Osaka: IETC - UNEP. 383p. (Série de publicações técnicas).

VILAR, M.S.A. (2009) *Condições ambientais e da qualidade da água no processo de eutrofização de açudes em cascata no semi-árido paraibano*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual da Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

Von SPERLING, E. (1994) Avaliação do estado trófico de lagoas e reservatórios tropicais. *Revista Bio*, v.2, n.3, p.68-76.

WETZEL, R.G. (1993) *Limnologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 919p.