

Barigui

Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso

Carla Cristina Bem, Maria Cristina Borba Braga,
Júlio César Rodrigues de Azevedo

RESUMO: Como decorrência do aporte de contaminação por fontes pontuais e difusas, os recursos hídricos têm sofrido impactos significativos em relação à qualidade das suas águas. Um destes impactos é a eutrofização, fenômeno observado principalmente em ambientes lênticos, que ocorre devido à carga excessiva de nutrientes, fósforo e nitrogênio, os quais contribuem para o desenvolvimento de fitoplâncton e macrófitas aquáticas em níveis acima do crescimento natural. Esta pesquisa estudou a dinâmica do processo de eutrofização em um lago urbano raso, tendo sido utilizado o lago do rio Barigui como estudo de caso. Para identificar o estado de trofia do lago Barigui, foi utilizado o Índice do Estado Trófico (IET). As análises de nutrientes na coluna d'água permitiram observar que há elevada disponibilidade de nutrientes no sistema, principalmente fósforo ($0,17 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,53 \text{ mg L}^{-1}$), devendo ser salientado que a concentração total, observada em todas as amostras, esteve acima do especificado pela Resolução CONAMA nº 357/05. A relação nitrogênio total/fósforo total permitiu identificar que o nitrogênio é o fator limitante no lago Barigui. As análises de clorofila-a possibilitaram estimar a biomassa fitoplanctônica e o nível trófico. Também foi observado que o período de florescimento de algas no lago Barigui, ocorre entre os meses de maio e novembro, enquanto o de decomposição, entre dezembro e abril. A aplicação do IET(PT) permitiu classificar o sistema em categorias que variaram de supereutrófico a hipereutrófico, enquanto a Classificação de acordo com o IET(CI-a) permitiu classificar entre ultraoligotrófico e supereutrófico.

PALAVRAS-CHAVE: Nutrientes. Clorofila-a. IET. Eutrofização.

ABSTRACT: Water resources have been impacted as a consequence of both point source and diffusive source of contamination. One of these impacts is eutrophication, a phenomenon observed mainly in lakes, which is a result of nutrient input, nitrogen and phosphorus. These elements contribute to the development of phytoplankton to levels beyond natural growth. This research studied the dynamics of the eutrophication process in a shallow urban lake with Barigui Lake being used as a case study. In order to characterize the eutrophication process in this lake, the Trophic State Index (STI) was applied. The analyses of parameters such as nitrogen and phosphorus concentrations were of fundamental importance to understand the dynamics of the eutrophication process. The results of the analyses produced for the water column allowed to observe that there is a high nutrient availability, especially phosphorus, and it has to be mentioned that its total concentration, in all samples, were above legal specification. Total nitrogen to total phosphorus ratio allowed identifying that nitrogen is the limiting factor to Barigui Lake. Results of the analyses of chlorophyll-a allowed characterizing the system as oligotrophic ($0,14 \mu\text{g L}^{-1}$, P1, first sampling campaign) to eutrophic ($34,79 \mu\text{g L}^{-1}$, P2B, third sampling campaign). It was also observed that the time span of primary production in the Barigui Lake occurs between May and November, whereas decomposition between December and April. The application of STI-TP characterized the system as supereutrophic to hipereutrophic, whereas STI-Cha characterized as ultraoligotrophic to supereutrophic.

KEYWORDS: Nutrients. Chlorophyll-a. STI. Eutrophication.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento populacional associado ao aumento das atividades industriais e à expansão agrícola, foi significativo e, consequentemente, resultou em impactos ambientais. Em áreas com elevada densidade populacional observa-se que os impactos ambientais ocorrem, principalmente, devido ao lançamento de efluentes domésticos e indus-

triais, os quais aportam matéria orgânica, nutrientes, substâncias inorgânicas e tóxicas. Por outro lado, em áreas de baixa densidade populacional a contribuição de nutrientes e sedimentos à bacia de drenagem são as principais fontes de impactos aos corpos aquáticos.

A introdução de matéria orgânica oriunda de esgotos domésticos altera principalmente a qualidade da água de lagos e reservatórios, pois apresenta elevadas concentrações de matéria orgânica, fósforo e nitro-

gênio. O aumento da concentração de nutrientes, principalmente em ambientes lênticos, pode levar ao estado de eutrofização (VON SPERLING *et al.*, 2008). Quando ocorre de forma natural, a eutrofização é um processo gradual e lento, ao contrário da eutrofização artificial ou cultural, que ocorre de forma acelerada, com aumento desordenado da produção de biomassa fitoplancônica, o que impossibilita a sua incorporação pelo sistema aquático na mesma velocidade de produção, provocando, assim, um desequilíbrio ecológico (FERREIRA *et al.*, 2005). Os impactos decorrentes do elevado desenvolvimento da biomassa, são o aumento da turbidez e da cor, redução da concentração de oxigênio dissolvido, alteração do sabor e do odor, o que pode ocasionar mortandade de peixes e outros seres vivos, além de restrições quanto à balneabilidade.

Diversos pesquisadores têm analisado o processo de eutrofização e suas implicações, como por exemplo, a relação entre nutrientes, estado trófico e eutrofização (DODDS, 2007); relação entre a limitação das concentrações de nitrogênio e fósforo em lagos e suas implicações no controle da eutrofização (ABELL *et al.*, 2010); liberação de substâncias aleopáticas por algumas espécies de algas que inibem o desenvolvimento de outras (GRANELLI *et al.*, 2008); avaliação da redução de cargas aportadas ao reservatório e sua relação com a alteração do estado trófico (JEPESSEN *et al.*, 2005; KAGALOU *et al.*, 2008). Genkai-Kato e Carpenter (2005), determinaram a relação entre o reciclo do fósforo no ambiente e a eutrofização. Entretanto, muitos aspectos relacionados ao processo de eutrofização não estão esclarecidos como, por exemplo, a relação da concentração de nutrientes com o quadro de mudanças climáticas (FRAGOSO JÚNIOR *et al.*, 2011, FEUCHTMAYR *et al.*, 2009), isso devido à importância das condições hidrológicas e da temperatura para o desenvolvimento de algas, o que pode alterar a ciclagem de nutrientes (SAHOO e SCHLADOW, 2008).

Para avaliar a eutrofização é necessário monitorar a qualidade da água, principalmente as concentrações dos nutrientes nitrogênio e fósforo, além de estimar a concentração de biomassa, representada pela concentração de fitoplâncton. Visando cumprir estes objetivos, além do monitoramento das concentrações de nutrientes e de biomassa, foram desenvolvidos diversos índices que relacionam o estado de eutrofização com as concentrações desses elementos.

A classificação de ecossistemas aquáticos por meio de índices de estado trófico é comum em ciências

aquáticas (DODDS *et al.*, 1998). Uma dos índices utilizados é o Índice do Estado Trófico – IET, desenvolvido por Carlson (1977). Este índice tem como finalidade tornar mais objetiva a resposta de estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos. Carlson, por meio da análise de dados coletados em lagos de regiões temperadas, estabeleceu um índice que utiliza valores de concentração de clorofila-a e fósforo total, e transparência do disco de Secchi.

Entretanto, como as equações de Carlson foram desenvolvidas para ambientes de clima temperado, o metabolismo dos seres vivos difere daquele de ambientes tropicais e sub-tropicais. Assim, no Brasil, Toledo Júnior *et al.* (1983) realizaram estudos para adequar, a ambientes sub-tropicais, as equações desenvolvidas por Carlson. Da mesma forma que Carlson, aplicaram a análise de regressão linear aos valores das concentrações de fósforo total, ortofosfato, clorofila-a e transparência do disco de Secchi a reservatórios do Estado de São Paulo.

No Estado de São Paulo, desde 1983, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) tem aplicado este índice para a determinação do estado de eutrofização de ambientes lênticos. Entretanto, para que este índice pudesse representar a realidade dos ambientes aquáticos, que mudam em função do uso e ocupação do solo e da variação das características dos corpos aquáticos no tempo e no espaço, houve a necessidade de adequar as equações. Como consequência, foram inseridas outras categorias de trofia em função das alterações propostas por Toledo Júnior (1990).

A última atualização do IET foi realizada por Lamparelli (2004), que utiliza a concentração de fósforo total e clorofila-a para determinar o estado trófico, cujo resultado é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo - IET(PT) e pelo Índice do Estado Trófico para a clorofila-a - IET(Cl-a), calculados pelas Equações 1 e 2.

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{(1,77 - 0,42 \times (\ln PT))}{\ln 2} \right) \quad (1)$$

$$IET(Cl - a) = 10 \times \left(6 - \frac{(0,92 - 0,34 \times (\ln Cl - a))}{\ln 2} \right) \quad (2)$$

em que:

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

Cl-a = concentração de clorofila-a medida à superfície da água, em $\mu\text{g L}^{-1}$

ln = logaritmo natural

Os resultados do IET correspondentes ao fósforo, IET(PT), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, pois esse nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila-a, IET(Cl-a), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas no corpo aquático.

Devido à possibilidade de diferentes Cl-assinificações, para a análise dos dois parâmetros, deve ser calculado o IET Médio, que é determinado pela média aritmética entre os resultados do IET (PT) e IET (Cl-a), conforme a Equação (3).

$$IET = \frac{IET(PT) + IET(Cl - a)}{2} \quad (3)$$

Deve-se considerar que em um corpo hídrico, no qual 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. Por outro lado, 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 este fato, resultando em um estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo.

Dessa forma, em bacias que possuem elevada carga de matéria orgânica, nutrientes e outros poluentes, a determinação do IET permite uma avaliação consistente do estado de degradação do corpo aquático. No que se refere à eutrofização das águas continentais, o resultado do cálculo deste índice pode orientar a tomada de decisão sobre a gestão dos recursos hídricos, pois este índice é de fácil aplicação devido à praticidade das determinações analíticas dos parâmetros fósforo total e clorofila-a, além de ser de fácil interpretação.

Considerando os aspectos citados anteriormente, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade da água de um reservatório urbano, raso, de controle de cheias e determinar o estado de eutrofização aplicando o IET, conforme apresentado por Lamparelli (2004).

ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi adotado como estudo de caso o lago do Parque Barigui, localizado em Curitiba, PR. A bacia do rio Barigui, uma das principais bacias da Região Metropolitana de Curitiba, está situada em área de intensa urbanização, industrialização e atividades agrícolas. A extensão total do rio é de 67 km, com área de drenagem de, aproximadamente, 279 km², localizada entre as coordenadas geográficas 25° 13' 24" e 25° 38' 23" Sul e 49° 15' 00" e 49° 22' 29" Oeste. Suas nascentes situam-se no município de Almirante Tamandaré, na serra da Betara, e sua foz no rio Iguaçu, na divisa entre os municípios de Araucária e Curitiba (FILL e SANTOS, 2002).

O lago do Parque Barigui possui um volume médio de 356 mil m³ e área de 270 mil m². Caracteriza-se por pequenas profundidades, que variam de 0,10 m a 1,85 m, com profundidade média de 1 m. Segundo Villa (2005), o tempo de residência do lago Barigui, considerando a vazão afluyente média, é de 2 dias, aproximadamente. Possui um comportamento hidrodinâmico caracterizado por baixas velocidades, sendo que a velocidade média da água do lago não sofre influência das vazões; e a mistura das águas ocorre apenas devido à ação de ventos com velocidade a partir de 10 m s⁻¹ (VILLA, 2005).

METODOLOGIA

Em função do tamanho do lago Barigui, para a identificação do grau de trofia foram realizadas quatro campanhas para coleta de amostras em dois pontos; suficientes para avaliar o processo de eutrofização. Com a finalidade de verificar os períodos de florescimento de algas (produção primária) e de decomposição do material autóctone (algas), as campanhas foram realizadas considerando períodos que representassem as diferentes estações ano, isto é, abril (coleta 1), junho (coleta 2), setembro (coleta 3) e dezembro (coleta 4). No ponto P1, com características de ambiente lótico e baixa profundidade (0,5 m), foram coletadas amostras da superfície da coluna d'água. No ponto P2, localizado no interior do lago, com características lênticas e profundidade de 1,5 m, foram coletadas amostras na superfície da coluna d'água e a 0,5 m de profundidade. Esta adoção baseou-se na preferência das algas por esta profundidade, tanto em lagos rasos como profundos (APHA, 1998). A localização dos pontos é apresentada

Figura 1, sendo que foi adotada a denominação P2A e P2B para o Ponto 2.

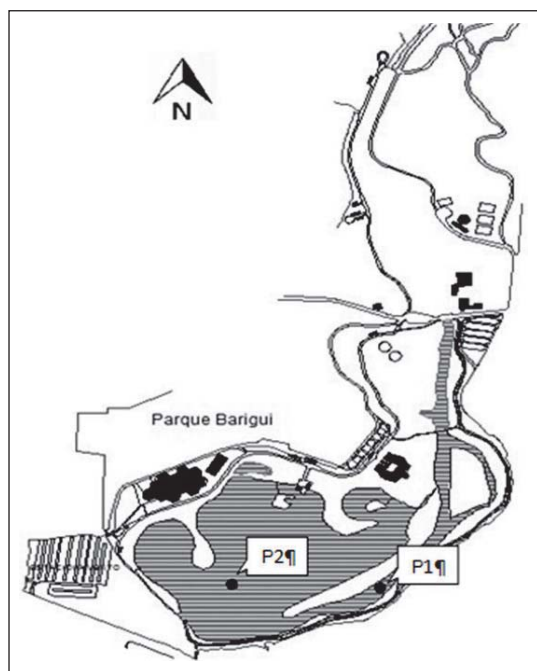


Figura 1. Localização espacial dos pontos de coleta
Fonte: Adaptado de IPPUC (2010)

Das amostras coletadas em cada campanha foram realizadas análises para a determinação da concentração do pigmento clorofila-a (extração com acetona 90%) e fósforo total (digestão com persulfato de potássio e ácido sulfúrico, método colorimétrico do ácido ascórbico), ortofosfato (método colorimétrico do ácido ascórbico), oxigênio dissolvido (método Winkler), nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico (Macro-Kjedhal). As análises destes parâmetros foram realizadas de acordo com procedimentos apresentados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). A determinação do pH foi realizada por leitura direta em sensor potenciométrico, em pHgâmetro marca Wissenschaftlich – Technische Werkstätten GmbH & CoKG, modelo 330i). A determinação do IET foi realizada conforme metodologia definida por Lamparelli (2004). Para a avaliação da correlação entre os resultados para os pontos de amostragem e coletas foi realizada a análise estatística ANOVA.

RESULTADOS

Avaliação das concentrações de nutrientes e de Clorofila-a

As concentrações de fósforo total nos três pontos de coleta, nas quatro campanhas, variaram de 0,17 mg L⁻¹ PO₄⁻³ a 0,53 mg L⁻¹ (Tabela 1) e foram superiores ao valor estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, de 0,025 mg L⁻¹ P, para ambientes lênticos, com tempo de residência de 2 a 4 dias e águas de Classe 2. As concentrações de ortofosfato também foram elevadas, e variaram de 0,04 a 0,35 mg L⁻¹ (Tabela 1).

Para o ponto P1, as concentrações de ortofosfato foram elevadas nas quatro campanhas. Esta forma de fósforo está associada à introdução de esgoto e carreamento de solos pela drenagem superficial de áreas agrícolas. O ponto P2A, localizado no interior do lago, apresentou resultados para as formas de fósforo inferiores às do ponto P1; estas concentrações podem ser devidas ao efeito de mistura e diluição do lago. Por outro lado, os valores das concentrações referentes à terceira campanha foram superiores aos das demais campanhas, o que pode estar associado à liberação de fósforo do sedimento para a coluna d'água neste período. No ponto P2B, os resultados para a concentração de fósforo total na coluna d'água foram superiores aos demais pontos. Devido a sua maior profundidade pode haver ocorrido liberação de fósforo pelo sedimento e/ou sedimentação de sólidos aos quais o fósforo pode estar adsorvido.

Por sua vez, os resultados para o ortofosfato indicam que há fontes pontuais de lançamento de esgoto que contribuem para a concentração desta espécie no sistema. As baixas concentrações de ortofosfato em comparação com as do fósforo total neste ponto, podem ser devido ao consumo desta forma pela biomassa.

As concentrações de nitrogênio amoniacal foram baixas e estiveram abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 (3,70mg L⁻¹ de nitrogênio na forma amoniacal em pH <7,5). De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, na 3ª campanha, o ponto P1 apresentou concentrações de nitrogênio amoniacal superiores em relação às demais campanhas, concentrações que podem ser provenientes de fontes pontuais como despejos clandestinos de esgoto *in natura* no lago.

Cabe salientar que de acordo com informações produzidas por Hardt e colaboradores (2007), para a realização do Plano de Despoluição Ambiental

TABELA 1
Resultados dos parâmetros analisados nos pontos monitorados no lago Barigui

PARÂMETROS	PONTOS			
	INFERÊNCIA	P1	P2A	P2B
Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Média	0,23	4,25	10,89
	Desvio Padrão	0,12	4,15	15,96
Fósforo Total (mg L^{-1})	Média	0,25	0,22	0,35
	Desvio Padrão	0,11	0,08	0,16
Ortofosfato (mg L^{-1})	Média	0,22	0,08	0,09
	Desvio Padrão	0,14	0,04	0,04
Nitrogênio Total (mg L^{-1})	Média	2,42	2,12	2,77
	Desvio Padrão	0,87	0,28	0,50
Nitrogênio Amoniacal (mg L^{-1})	Média	0,67	0,28	0,42
	Desvio Padrão	0,87	0,28	0,50
Oxigênio dissolvido (mg L^{-1})	Média	5,09	6,50	6,45
	Desvio Padrão	2,08	3,87	3,35
pH	Média	6,83	7,31	7,37
	Desvio Padrão	0,21	0,91	0,95

(PDA), foi identificado que, em um raio de 200 m, no qual estão incluídos 780 lotes, foi observado que existiam situações irregulares, isto é, lotes que não estavam ligados à rede de esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Consequentemente existe a possibilidade de descargas clandestinas de esgoto no rio Barigui próximo à entrada do lago. Atualmente, tal afirmativa é corroborada pelos resultados obtidos com o levantamento dos pontos de lançamento irregular de esgoto tornado possível pela implementação do Sistema de Informações Georreferenciadas para Monitoramento de Serviços de Saneamento, produzido pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC e operado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Curitiba, utilizado para o controle e fiscalização da situação atual da rede de coleta de esgoto. De acordo com as informações obtidas a rede de coleta de esgoto não contempla todos os lotes da área do Parque Barigui. (IPPUC, contato pessoal, 2012).

Nas terceira e quarta campanhas, o ponto P2A apresentou valores elevados para as concentrações de nitrogênio orgânico em relação àqueles das demais campanhas, enquanto os valores de nitrogênio

amoniacal foram inferiores, indicando, provavelmente, consumo desta forma de nitrogênio. Nestas campanhas também foi observado um aumento na concentração de clorofila-a, o que indica, de forma indireta, a presença de fitoplâncton.

As elevadas concentrações de nitrogênio orgânico nos pontos P2A e P2B, nas 3ª e 4ª campanhas, indicam contribuição da biomassa fitoplanctônica à concentração desta forma de nitrogênio, além da possível presença de esgotos domésticos identificados pelas concentrações em P1. Em relação ao nitrogênio amoniacal, na 1ª campanha, o P2B apresentou a concentração de $0,53 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NH}_3$, maior em relação às demais campanhas. Nesta campanha, a concentração de nitrogênio amoniacal pode ter representado o produto final da decomposição da matéria orgânica oriunda da produção primária no lago. A partir do resultado da ANOVA, para o intervalo de confiança de 95%, pode-se deduzir que não houve diferença estatística entre os valores de concentrações dos parâmetros analisados entre os pontos amostrados.

Apesar da alta disponibilidade de nutrientes na coluna d'água, o crescimento do fitoplâncton não foi uniforme durante o período de estudo, o que pode in-

dicar que outros fatores inibiram o desenvolvimento da biomassa fitoplancônica como luz e temperatura.

Como pode ser observado na Tabela 1, no ponto P1 não houve crescimento expressivo de biomassa fitoplancônica, tendo sido determinada a concentração mínima de $0,14 \mu\text{g L}^{-1}$, na 1ª campanha, e máxima de $0,42 \mu\text{g L}^{-1}$, na 2ª campanha. O baixo crescimento de fitoplâncton nesta área do lago pode estar associado às características hidráulicas, ao ambiente lótico, com correnteza, e à baixa profundidade da coluna d'água, que variou de 0,50 m, na 1ª campanha, a 0,70 m, na 3ª campanha.

Ao contrário do ponto P1, o ponto P2A apresentou características de ambiente lético e profundidade da coluna d'água variando de 1,10 m, na 2ª campanha, a 1,50 m na 1ª campanha. As concentrações dos nutrientes também foram elevadas, $0,18 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,34 \text{ mg L}^{-1}$ para o fósforo total, e $2,35 \text{ mg L}^{-1}$ para o nitrogênio orgânico, observadas na 3ª campanha. Nesta campanha, também foi observada a maior concentração de biomassa, $10,22 \mu\text{g L}^{-1}$ de clorofila-a. Segundo Wetzel (1983), ambientes aquáticos que apresentem concentração de clorofila-a acima de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ podem ser considerados eutrofizados. Deve-se ressaltar que a 3ª campanha foi realizada na primavera (setembro), período em que o florescimento de algas ocorre naturalmente.

Para o ponto P2B, a 0,50 m de profundidade e em região lética, para as três primeiras campanhas, as concentrações de clorofila-a foram superiores aos demais pontos de coleta. Deve ser salientado que as características deste ponto favorecem o crescimento e florescimento de algas. Na 3ª campanha, a concentração de clorofila-a foi de $34,79 \mu\text{g L}^{-1}$, valor que permite considerar que, durante o período da primavera, o lago Barigui apresentou-se como um sistema eutrofizado.

Os valores de produção primária interferem no consumo e na produção de oxigênio no sistema aquático. Para o ponto P2B, a partir das concentrações de oxigênio dissolvido e de clorofila-a, foi possível observar a sazonalidade do florescimento e decomposição de algas no lago. Isso em termos de consumo de oxigênio para a estabilização da matéria orgânica, produção de biomassa e de oxigênio (Figura 2).

Observando os valores das concentrações de OD e de clorofila-a é possível afirmar que, entre os meses de dezembro e abril, o lago esteve em período de decomposição. Nesta fase, devido aos processos de estabilização da matéria orgânica autóctone ou alóctone e respiração de seres vivos presentes no lago, a pro-

dução de oxigênio foi baixa e seu consumo elevado. Por outro lado, entre os meses de maio e novembro o lago encontrava-se em período de produção primária.

Como pode ser observado na Figura 2, nas duas primeiras campanhas, tanto o ponto P2A como o P2B apresentaram baixas concentrações de oxigênio dissolvido e biomassa como clorofila-a, enquanto a produção de oxigênio atingiu os maiores valores na 3ª campanha, realizada no mês setembro, em que ocorreu o florescimento de algas no lago. Por outro lado, os perfis de oxigênio e de crescimento da biomassa no ponto P1 não permitiram identificar a sazonalidade, ao contrário do que foi observado nos demais pontos. Vários fatores contribuem para que o ponto P1 apresente um comportamento diferente, por exemplo, a predominância, de ambiente lótico com baixa profundidade, correnteza e suscetibilidade à ação dos ventos.

ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO

Para a determinação deste índice foram adotados os estados de trofia ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, cujos limites, para lagos, em cada nível de trofia, são apresentados na Tabela 2.

Em relação à concentração de fósforo (IET-PT), a característica do ponto P1 variou de Supereutrófico a Hipereutrófico (Figura 3). Entretanto, em relação à clorofila-a, apresentou-se, nas quatro campanhas, como Ultraoligotrófico. Durante o período de desenvolvimento da pesquisa, embora existisse disponibilidade de nutrientes, não foi observado crescimento significativo de algas (Tabela 1).

Em função das elevadas concentrações de fósforo total, da mesma forma que para o ponto P1, para o ponto P2A, os resultados referentes ao IET(PT) permitiram classificar o sistema como Supereutrófico a Hipereutrófico (exceto P1 na 4ª campanha). Em relação às concentrações de clorofila-a, o estado de trofia do ponto P2A, variou de Ultraoligotrófico, na 1ª campanha, a Mesotrófico, nas 2ª e 3ª campanhas.

Como os valores da concentração de clorofila-a obtidos para o ponto P2A foram superiores em relação ao ponto P1, a partir do cálculo do IET médio, a classificação resultou em Eutrófico, na 2ª campanha, e Supereutrófico na 3ª. Portanto, pode-se afirmar que, em função dos resultados IET_L para os pontos P1 e P2A, o cálculo do IET médio possibilitou o enquadramento do lago Barigui em categorias tróficas que indicam impactos devido à presença excessiva de algas. Este fato foi observado apenas no ponto P2A,

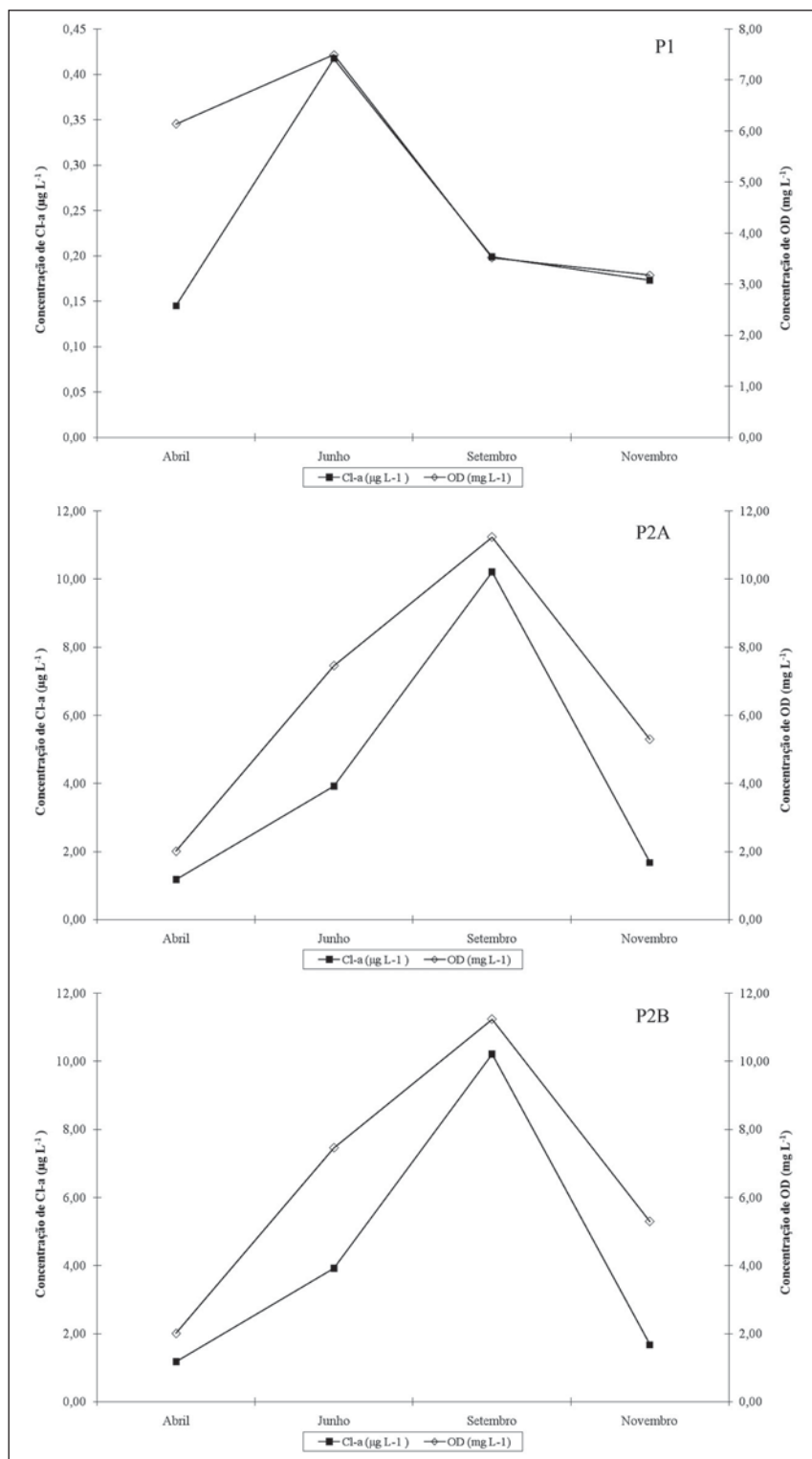


Figura 2. Perfis de oxigênio dissolvido e concentração de clorofila-a nos pontos de coleta.

TABELA 2
Classificação do estado trófico segundo o índice de Lamparelli, modificado para lagos e reservatórios

Estado Trófico	Critério	P-total (mg PO ₄ ³⁻ m ⁻³)	Clorofila-a (mg m ⁻³)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 8$	$Cl-a \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < Cl-a \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < Cl-a \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < Cl-a \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < Cl-a \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$233 < P$	$69,05 < Cl-a$

Fonte: adaptado de CETESB (2006)

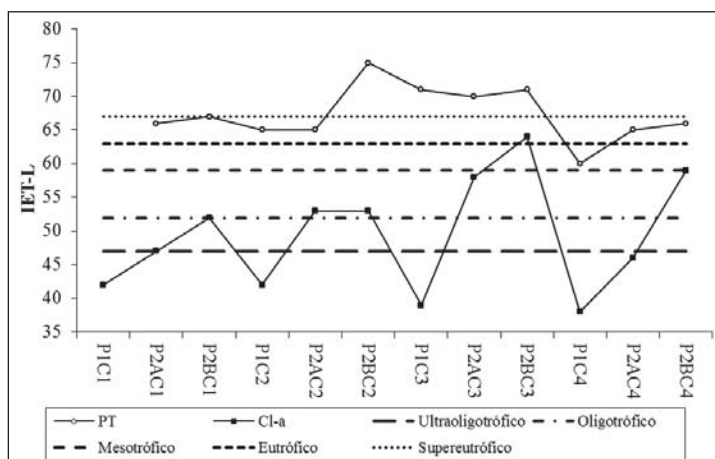


Figura 3. Estados de trofia do lago Barigui de acordo com IET_L.

TABELA 3
Relação N/P

Campanha	Ponto de coleta	Nitrogênio total	Fósforo total	N/P
1	P1	1,83	0,23	7,8
2		0,92	0,16	5,6
3		3,75	0,42	8,9
4		2,45	0,19	12,7
1	P2A	1,53	0,19	7,9
2		0,99	0,18	5,5
3		2,85	0,34	8,3
4		2,56	0,19	13,1
1	P2B	2,75	0,24	11,5
2		0,97	0,53	1,8
3		4,24	0,44	9,7
4		2,62	0,19	13,3

na 3ª campanha, quando foi identificada a concentração de clorofila-a de 10,22 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Por sua vez, o ponto P2B, nas quatro campanhas, apresentou valores para a concentração de clorofila-a superiores aos demais pontos de coleta, principalmente na 3ª campanha, quando foi observado o período de florescimento de algas. Assim como a classificação do IET_L em relação aos pontos P1 e P2A, o cálculo do IET (PT) permitiu classificar o lago em categorias tróficas que indicam estados de eutrofização avançados. Para este ponto, na 3ª campanha, o IET (Cl-a) apresentou como resultado o nível Supereutrófico. Corpos aquáticos que se enquadrem neste nível, apresentam alta produtividade primária e estão associados a episódios de floração de algas. O aumento da concentração do pigmento clorofila-a foi observado durante a primavera; período em que há maior crescimento e florescimento natural das algas, devido às condições propícias como luz e temperatura.

A avaliação dos resultados dos cálculos do IET (PT) e do IET (Cl-a), para os pontos P1, P2A e P2B, para as quatro campanhas, possibilita afirmar que o sistema não se encontrava em processo de eutrofização estabelecido, pois os estados tróficos indicados pelo IET (PT) não coincidem com IET (Cl-a), exceto para o P2B, na 3ª campanha. Dessa forma, pode-se afirmar que os pontos P2A e P2B do lago Barigui encontravam-se eutrofizados durante as coletas realizadas no período da primavera.

Um fator que pode estar limitando o crescimento das algas em outros períodos do ano é a relação nitrogênio total/fósforo total. A partir desta relação pode-se determinar qual dos dois é o nutriente limitante para o crescimento. Assim, aplicando o critério definido por Thomann e Mueller (1987), para lagos pequenos com predominância de fontes pontuais, como é o lago Barigui, se a razão N/P for menor do que 10, a limitação ao crescimento das algas é fornecida pelo nitrogênio. Portanto, conforme apresentado na Tabela 3, da análise da relação N/P, pode-se deduzir que, para o período do estudo, isto é, de abril a dezembro, o ambiente do lago Barigui foi limitado em termos de concentração de nutrientes, principalmente pelo nitrogênio, e que a limitação por fósforo ocorreu na quarta campanha, para os três

pontos de coleta e, na 1ª campanha no ponto P2B. A limitação por fósforo pode ser devida ao consumo pela biomassa presente no sistema. Dever ser salientado que a limitação pelo nitrogênio também foi observada nos estudos de Villa (2005).

Um dos fatores que podem explicar a limitação pelo fósforo na 4ª campanha é o florescimento de algas que ocorreu na 3ª campanha. Isso devido à necessidade de consumo de nutrientes para o aumento da população de fitoplâncton.

CONCLUSÃO

Apesar da abundância de fósforo no sistema e deste nutriente ser considerado, normalmente, o limitante para o florescimento de algas em águas interiores, no caso do lago Barigui foi observado que o nitrogênio é o nutriente limitante e, portanto, para que seja possível reduzir e/ou evitar o processo de eutrofização, o aporte deste nutriente ao sistema do lago deve ser reduzido. Para isso, é necessário identificar possíveis lançamentos de esgoto *in natura* a montante do lago ou mesmo no seu interior. A introdução destes nutrientes deve ser revista, para tanto deve-se considerar um plano de gerenciamento para evitar lançamentos no rio Barigui e seu lago.

Apesar das concentrações de nutrientes terem sido elevadas durante todo o período da pesquisa, somente na primavera foi observado o crescimento de algas. Durante os meses de maio a novembro o lago encontrava-se em período de florescimento de fitoplâncton e entre dezembro e abril em período de decomposição da biomassa fitoplânctônica.

A aplicação do IET(PT) possibilitou a classificação do sistema em categorias que variaram de Supereutrófico a Hipereutrófico, enquanto a aplicação do IET(Cl-a) possibilitou a classificação do sistema entre os níveis Ultraoligotrófico e Supereutrófico. Os resultados produzidos para o IET(Cl-a) foram de grande importância para avaliar o nível trófico durante o florescimento das algas, tendo sido possível determinar que, na 3ª campanha, o lago encontrava-se eutrofizado a nível Supereutrófico. Entretanto, é importante afirmar que o sistema não se encontra em processo de eutrofização plenamente estabelecido, pois os resultados das categorias tróficas não coincidem.

Referências

- ABELL, J. M., OZKUNDAKCI, D., HAMILTON, D. P. 2010. Nitrogen and phosphorus limitation of phytoplankton growth in New Zealand lakes: Implication of eutrophication control. *Ecossystems* N13, p966-977.

- APHA; AWWA; WPC – American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th Ed., 1998.
- CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* V22 p361 – 369.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2006. Relatório da qualidade das águas do Estado de São Paulo – 2005. Anexo V: Índice de Qualidade das Águas. São Paulo, São Paulo. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/61-publicacoes-e-relatorios---relatorios-de-qualidade>. Acesso em 10 de março de 2010.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>. Acesso em 12 de agosto de 2011.
- DODDS, W. K., JONES, J. R., WELCH, E. B. 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research*. V 32 N5, p1455-1462.
- DODDS, W. K. 2007. Trophic state, eutrophication, and nutrient criteria in streams. *Trends in ecology and evolution* V22 N12, p669-676.
- FEUCHTMAYR, H., MORAN, R., HATTON, K., CONNOR, L., HEYSES, T., MOSS, B., HARVEY, I., ATKINSON, D. 2009. Global warming Global warming and eutrophication: effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms. *Journal of Applied Ecology* V46 p713-723.
- FERREIRA, R. M., BARROS, N. O., DUQUE-ESTRADA, C. H., ROLAND, F. 2005. *Lições de limnologia*. São Paulo: Rima Editora.
- FILL, H. D., SANTOS, I. 2002. Projeto PEN – 04 – Modelagem hidrológica e ambiental de bacias hidrográficas. Relatório Final. Curitiba.
- FRAGOSO JÚNIOR, C., MARQUES, D. M. L. M., FERREIRA, T. F., JANSE, J. H., vanNES, E. H. 2011. Potential effects of climate change and eutrophication on a large subtropical shallow lake. *Environmental Modelling & Software* V26 p1137-1348.
- GENKAI-KATO, M., CARPENTER, S. R. 2005. Eutrophication due the phosphorus recycling in relation to lake morphology, temperature and macrophytes. *Ecology* V86 N1 p210-219.
- GRANÉLI, E., WEBERG, M. AND SALOMON, PS., 2008. Harmful algal blooms of allelopathic microalgal species: The role of eutrophication. *Harmful Algae* V8 N1 p94-102.
- HARDT, L. P. A., NAKAMURA, S. M., FERNANDES, V. B., PELLIZZARO, P. C., VIDAL, F. S., ARAZAKI, E. T., TANAKA, L. S., SALVADOR, T. S., MAGALHÃES NETO, A. T., LACERDA, A. E. B. de, POMPEO, R., CIGOLINE, A. A., BORGES, M. V. K., DUDEQUE, I. J. T., DOUSTDAR, N.M., MAOSKI, E. T., SALVI, L. T., SANCHES, A. L., AMARAL, J. Z., AIHARA, N., RIBEIRO, D. M., BANSHO, S. M., FUJJI, N., Y. 2007. Plano de manejo do parque natural municipal Braigui. Relatório Final, Curitiba.
- IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Mosaico de aerofotos da área do Parque Barigui. 2010.
- JEPSEN, E., SONDERGAARD, M., JENSEN, J. P., HAVENS, K. E., ANNEVILLE, O., CARVALHO, L., COVENEY, M. F., DENEKE, R., DOKULIL, M. T., FOY, B., GERDEAUX, D., HAMPTON, S. E., HILT, S., KANGUR, K., KOHLER, J., LAMMENS, E. H. H. R., LAURIDSEN, T. L., MANCA, M., MIRACLE, M. R., MOSS, B., NÖGES, P., PERSSON, G., PHILLIPS, G., PORTIELJE, R., ROMO, S., SCHELSKE, C. L., STRAILE, D., TATRAI, I., WILLÉN, E., WINDER, M. 2005. Lake responses to reduced nutrient loading – An analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology* V50 p1747-1771.
- KAGALOU, I., PAPASTERGIADOU, E., LEONARDOS, I., Long terms change in the eutrophication process in a shallow Mediterranean lake ecosystem of W. Greece: Response after the reduction of external load. 2008. *Journal of Environmental Management*. N87 p497-506.
- LAMPARELLI, M. C. 2004. *Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento*. São Paulo, Tese (Doutorado no Instituto de Biociências), USP.
- SAHOO, G. B., SCHLADOW, E. S. G. 2008. Impacts of climate change on lakes and reservoirs dynamics and restoration policies. *Sustain Science* V3 p189-199.
- THOMANN, R. MUELLER, J. A. *PRINCIPLES OF SURFACE WATER QUALITY MODELING AND CONTROL*. 1987. Harper & Row: New York.
- TOLEDO JÚNIOR, A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E.G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. Camboriú; Anais do 12º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camboriú.
- TOLEDO JÚNIOR, A. P. 1990. *Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais*. São Paulo: CESTEB, 12p. (Relatório Interno).
- VILLA, A. T. 2005. *Avaliação Ambiental da Qualidade da Água do Lago do Parque Barigui: Potencial de Poluição Orgânica*. Curitiba, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), UFPR.
- VON SPERLING, E., FERREIRA, A. C. S., GOMES, L. N. L. 2008. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. *Desalination* V226 p169-174.
- WETZEL, R. G. 1983. *Limnology*. Saunders College Publishing: Philadelphia, 2º ed.

Carla Cristina Bem Aluna de doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), carlacristina.bem@gmail.com.

Maria Cristina Borba Braga Professora Adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental/UFPR crisbraga@ufpr.br

Júlio César Rodrigues de Azevedo Professor Adjunto do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Coordenador do Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA). jcrazevedo@utfpr.edu.br