



ESTUDO DO NÍVEL DE ESTADO TRÓFICO DE UM RESERVATÓRIO ARTIFICIAL EM PINDORAMA-SP AFETADO PELA SUPERPOPULAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES

Gabriel Gonsalves Bertho¹
Leandro Contri Campanelli²
Antônio Lucio Mello Martins³
Maria Conceição Lopes⁴
Mariana Bárbara Lopes Simedo⁵

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Resumo

Corpos d'água são fundamentais na vida das pessoas que vivem ao seu redor e no ecossistema que os envolvem, por conta disso a caracterização de um corpo hídrico é essencial para monitorar as variáveis químicas e físicas que possam induzir processos que degradem o ambiente e a qualidade da água. O presente estudo teve como objetivo avaliar o nível de estado trófico de um reservatório artificial localizado em Pindorama-SP, que apresenta uma superpopulação de macrófitas aquáticas flutuantes, visando avaliar a causa dessa superpopulação e propor estratégias de manejo. Para isso, uma caracterização da área do reservatório foi realizada e análises de parâmetros físico-químicos, com destaque para o fósforo total, foram feitas em pontos de amostragem estratégicos. Os resultados indicaram alta concentração de fósforo no reservatório, que sugeriu um ambiente no estado eutrófico e explicou a quantidade excessiva de macrófitas, as quais beneficiam-se desse nutriente. Pela quantidade expressiva de cultivos agrícolas no entorno, a declividade acentuada nas margens e a ausência de fontes pontuais, foi estabelecida a hipótese de que a poluição por fósforo nesse reservatório é devido ao escoamento e lixiviação indireta de produtos agrícolas em reservatórios anteriores a montante que se conectam através de canaletas de concreto. Para controle dos efeitos do processo de eutrofização, foi proposto o manejo adequado do solo no entorno e estratégias para contenção da poluição por fósforo. Ressalva-se que estudos futuros são necessários para confirmação das hipóteses estabelecidas e avaliar possíveis efeitos de outras variáveis.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos; Uso e ocupação do solo; Poluição difusa; Eutrofização; Ecossistemas aquáticos lênticos.

¹Aluno do Curso de graduação em Engenharia Química e Biomolecular, University of Pennsylvania - CBE department, ggbertho@seas.upenn.edu

²MSc. Esp. Campanelli Consultoria Empresarial Ltda., leandro@campanelliconsultoriaempresarial.com

³Dr. Apta - Polo Regional Centro Norte Pindorama-SP, almartins@sp.gov.br.

⁴Dra. Apta - Polo Regional Centro Norte Pindorama-SP, maclopes@sp.gov.br

⁵Dra. Agente Local de Inovação do Sebrae - Bolsista CNPQ, mariana_blopes@hotmail.com.



INTRODUÇÃO

Corpos d'água exercem um papel fundamental no ambiente que os envolve e na vida das pessoas que habitam ao seu redor. A contaminação de um corpo d'água pode levar a uma série de desequilíbrios ambientais, acarretando a perda dos serviços ecossistêmicos providos por esse corpo hídrico, como a circulação de nutrientes, manutenção da cadeia alimentar e o abastecimento de água (TUNDISI, 2018; BARON et al., 2002). Por conta disso, a caracterização de um corpo d'água é essencial para monitorar as variáveis químicas e físicas que possam induzir processos que degradem o ambiente e a qualidade da água.

A eutrofização é um dos processos de poluição mais comuns em ambientes rurais com agricultura ativa. Este processo corresponde ao aumento da concentração de nutrientes, com destaque para o nitrogênio e o fósforo, nos ecossistemas aquáticos, podendo ser uma ocorrência natural ou antrópica (ESTEVES, 1998). A eutrofização cultural ou antrópica é proveniente dos despejos de esgotos sanitários, de efluentes industriais e da lixiviação de fertilizantes empregados em atividades agrícolas, acelerando o aumento de nutrientes nas águas superficiais e subterrâneas (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2011). Considerando isso, o monitoramento da quantidade de nutrientes na água é essencial para identificar a presença de possíveis fontes de contaminação.

O aumento de nutrientes induz o desenvolvimento excessivo de organismos aquáticos, principalmente cianobactérias ou algas verde-azuis, as quais produzem toxinas que podem causar a mortalidade de animais e intoxicações. Além disso, a eutrofização em seus estados mais avançados induz o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas. O excesso de biomassa produzida dificulta a entrada de luz para fotossíntese no sistema e favorece o processo de decomposição aeróbica, causando a redução da quantidade de oxigênio disponível na água, assim provocando a mortandade em massa de peixes e invertebrados (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2020; POMPÊO, 2017).

Dentre outros efeitos, ambientes eutrofizados podem apresentar: anoxia, que induz a liberação de gases estufa, tóxicos e com odor (incluindo H_2S e CH_4); altas concentrações de matéria orgânica na água; deterioração dos valores recreacionais de lagos e represas em função da diminuição da transparência da água; mudanças nas comunidades aquáticas com

acentuada queda na biodiversidade; diminuição dos estoques de peixes; efeitos crônicos e agudos na saúde humana (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2011). Ao monitorar um corpo d'água, é importante a identificação de possíveis efeitos da eutrofização, para que estratégias de manejo sejam propriamente definidas.

No que diz respeito às macrófitas aquáticas, essas têm um papel essencial em ambientes aquáticos, formando complexos habitats e tendo uma variedade de funções no fornecimento de variedade espacial, na determinação da biodiversidade de flora e fauna aquática e na rotatividade de nutrientes e matéria orgânica (POMPÊO, 2017; HILT et al., 2010). A população e diversidade de macrófitas é altamente relacionada ao grau de eutrofização do ambiente aquático. A ocorrência de macrófitas emergentes e flutuantes em ambientes aquáticos pode estar relacionada ao uso e ocupação do solo com atividades antropogênicas, especialmente a agricultura (HEGEL e MELO, 2016). Considerando isso, é importante o acompanhamento da biodiversidade de macrófitas como um indicador de qualidade da água e possível ocorrência do processo de eutrofização.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o nível de estado trófico de um reservatório artificial localizado no Polo Regional Centro Norte da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), em Pindorama/SP, que apresenta uma grande quantidade de macrófitas aquáticas flutuantes, cobrindo praticamente toda a superfície do reservatório. O estudo também buscou identificar causas do processo de superpopulação de macrófitas, avaliar fontes de contaminação e discutir estratégias de manejo, para que as implicações sejam controladas e propriamente estudadas. Este trabalho poderá subsidiar a caracterização de ambientes aquáticos em outras sub-bacias hidrográficas, com reservatórios artificiais, gerando perspectivas para o manejo do solo e da água e fornecendo assim, informações aos tomadores de decisões nos órgãos gestores para adoção de políticas ambientais voltadas à gestão de bacias hidrográficas.

METODOLOGIA

A. Caracterização da área de estudo

O local de estudo corresponde à microbacia hidrográfica do Córrego da Olaria



(Figura 01). Essa está localizada entre as coordenadas de latitude $21^{\circ} 05' 47''\text{S}$ e longitude $49^{\circ} 03' 02''\text{W}$ e apresenta uma área de $9,17 \text{ km}^2$, faz parte da sub-bacia hidrográfica do rio São Domingos, pertencente à bacia hidrográfica dos rios Turvo e Grande na região noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. Segundo a Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (São Paulo, 1981) o município faz parte do Planalto Ocidental do Estado de São Paulo e assenta-se nos sedimentos da Formação Bauru Cretáceo Superior.

O clima enquadra-se, segundo a classificação climática de Köppen, em Aw, definido como clima mesotérmico de inverno seco. As ocorrências e distribuições do uso e ocupação do solo são principalmente com zonas urbanas e agricultura, com destaque a cultura de cana-de-açúcar. As principais unidades de solos encontradas na região são: Argissolos, que ocupam as nascentes nas cotas superiores, em um relevo acentuado e ocupam a área à jusante nas microbacias (EMBRAPA, 1999).

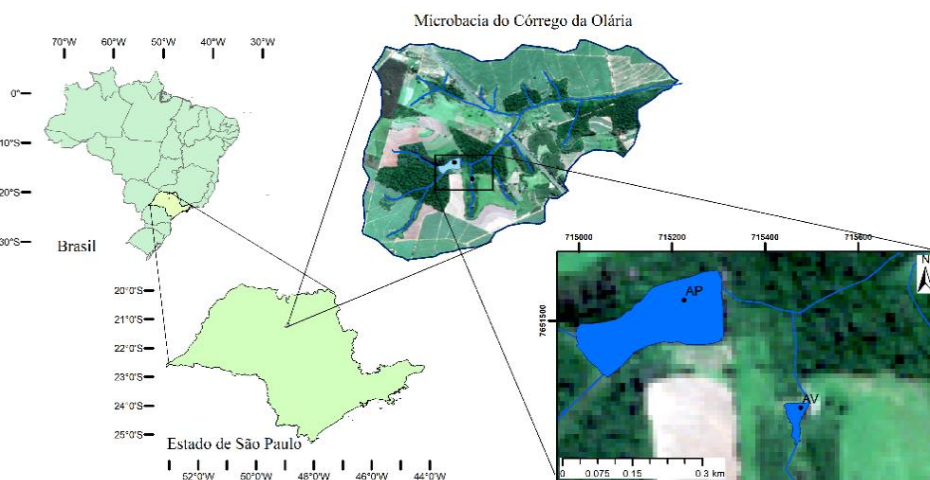


Figura 01: Localização da microbacia “Córrego da Olária” Pindorama, SP. Represa artificial principal (AP); Represa artificial Voçoroca (AV).

Nesta microbacia situa-se o Polo Regional Centro Norte – APTA em Pindorama-SP, o qual possui $532,8 \text{ ha}$ e 120 ha de mata nativa dividida em três fragmentos que foram transformados em Reserva Biológica em 1986. O restante da área do Polo é destinado à experimentação agrícola com as seguintes culturas: seringueira, amendoim, cana-de-açúcar, pupunha, urucum, manga, goiaba, mandioca, milho e sorgo. O polo possui duas represas artificiais, a primeira, denominada represa artificial principal (AP na Figura 01), foi instalada na década de 70 e suas águas são utilizadas na irrigação por aspersão

convencional em culturas agrícolas. A segunda, que representa um conjunto de reservatórios conectados, e denominada represa artificial voçoroca (AV na Figura 01) é o objeto de estudo desse trabalho.

B. Represa Artificial Voçoroca (AV)

A represa artificial voçoroca (AV) tem área de abrangência de contribuição de 84,20 ha, de primeira ordem de magnitude, com predominância de relevo suavemente ondulado.

De 1960 a 1990, o manejo inadequado e uma carga animal excessiva fizeram com que um processo de degradação se instalasse nessa área. A movimentação animal até a linha de água foi aos poucos delimitando sulcos, os quais evoluíram em proporção descontrolada resultando em uma voçoroca de aproximadamente 700 metros de extensão. Essa voçoroca foi recuperada em 1998 com práticas conservacionistas para a “estabilização de voçoroca”, quando foram construídos quatro reservatórios artificiais para a contenção da água proveniente das encostas e redes de drenagem, permanecendo em estado de regeneração natural, desde então. Esses reservatórios estão conectados através de canaletas de concreto e apresentam diferentes altitudes e declividades no entorno. O primeiro deles se encontra em área de maior altitude (560-570 m); os seguintes situam-se em áreas com altitudes menores, sendo o último com altitude de 540-550 m.

Os solos do entorno da represa artificial voçoroca (AV) foram classificados como Argissolo eutrófico. Na área de entorno dos reservatórios, em ambas as margens, há áreas com mata ciliar implantadas no ano de 2011. Foram plantadas cerca de 2500 espécies arbóreas nativas regionais intercaladas com seringueira e urucum. Acima da margem a leste, em uma distância de 30 metros, encontra-se uma área de pastagem, com a divisa feita por carreador principal e mais a frente encontra-se uma área de plantio anual de soja. Na margem a oeste, acima da mata ciliar, há faixas de pastagens (Figura 02). Em áreas do entorno não controladas pela APTA de Pindorama, há grande áreas de plantios de cana-de-açúcar.

A classe de declive predominante é de 3 a 7%. Importante ressaltar que estas áreas apresentam práticas conservacionistas como terraços em nível e em desnível.



Figura 02: Vista geral da área no entorno da represa artificial Voçoroca (à esquerda) – AV – pastagem (ao meio) e cultura de sorgo instaladas (à direita).

C. Análise de parâmetros químicos e físicos para caracterização da qualidade da água e cálculo do Índice de Estado Trófico (IET)

Desde março de 2021, macrófitas aquáticas flutuantes tomaram a superfície do último reservatório (em área com menor altitude), componente da represa artificial Voçoroca (AV). Esse reservatório foi escolhido como o foco deste estudo pelo seu fácil acesso, possibilidade de monitoramento futuro e a ocorrência da superpopulação de macrófitas. Com isto, três pontos de amostragem foram definidos. O primeiro ponto (P1) foi definido logo na entrada de água do reservatório, que ocorre através de uma canaleta de concreto. O segundo ponto (P2) foi definido numa região marginal, onde o fluxo de água era menor. Por fim, o terceiro ponto (P3) foi demarcado logo antes do ponto de saída de água do reservatório. A Figura 03 a seguir ilustra os pontos amostrados.

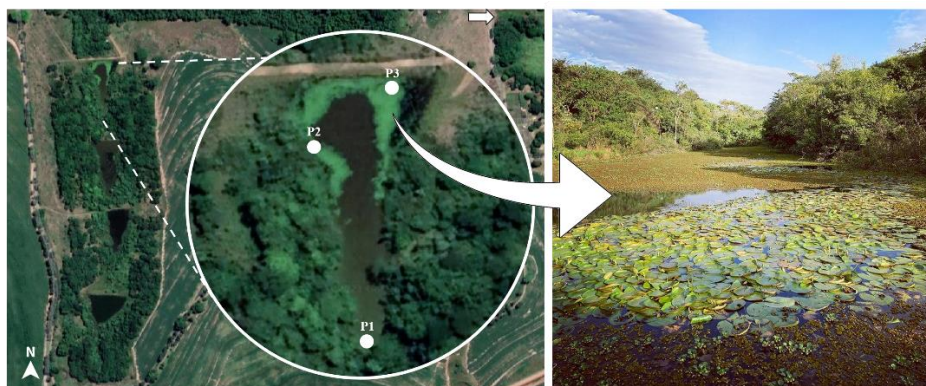


Figura 03: Demarcação dos pontos de amostragem e superpopulação de macrófitas no reservatório estudado em Pindorama-SP – imagem de satélite/fotografia.

Nos três pontos de amostragem, análises de fósforo total foram feitas através da

EPA 3010A (1992) – preparação – seguido de SMWW, Método 3120B (23a Edição, 2017) – determinação. Esses resultados foram utilizados para calcular o Índice de Estado Trófico (IET) através da fórmula definida por Lamparelli, 2004:

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

Onde PT é a concentração de fósforo total em µg/L.

Nos pontos P1 e P2, análises de pH, Temperatura, Potencial de Óxido-Redução (ORP), Condutividade elétrica, Turbidez e Sólidos Dissolvidos Totais (TDS) foram feitas utilizando uma sonda multiparamétrica HORIBA U-50, modelo W23-XD. Em campo, um levantamento das populações de macrófitas aquáticas dominantes também foi efetuado.

Os resultados obtidos foram discutidos para identificar possíveis causas de poluição/contaminação e levantar estratégias de gestão ambiental para a melhoria da qualidade da água do reservatório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de água coletadas no reservatório artificial AV apresentaram baixa coloração aparente, não tinham odor e não tinham quantidade visualmente considerável de sólidos suspensos. A Tabela 01 a seguir ilustra os resultados de fósforo total obtidos nos três pontos definidos e o resultado do cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), em conjunto com os valores de referência definidos pela Resolução CONAMA n.º 357 de 17/03/2005 para águas doces de classe II.

Tabela 01: resultados de fósforo total e do cálculo do IET em amostras de água coletadas no último reservatório da represa artificial AV em Pindorama-SP.

	P1	P2	P3	CONAMA 357*
Fósforo total (mg/L)	2,152	0,038	0,072	< 0,030
Índice de Estado Trófico (IET)	80,9 (Hipereutrófico)	56,5 (Mesotrófico)	60,4 (Eutrófico)	-

*Referência para Águas Doces de Classe II em ambientes lênticos.



Com base nos resultados do fósforo total obtidos, verifica-se que a água entra no reservatório (ponto P1) com elevada concentração de fósforo. Considerando a região que o reservatório analisado se encontra, é possível inferir que parte da quantidade elevada desse nutriente provém dos reservatórios anteriores que são subsequentemente conectados. O reservatório em questão e, principalmente, os que o antecedem se encontram em áreas com declividades um pouco acentuadas no entorno e onde há plantações (cana-de-açúcar, amendoim e sorgo). Considerando que não há fontes pontuais, é possível também deduzir que a poluição por fósforo é devido à lixiviação de produtos utilizados no solo ao redor.

Os reservatórios apresentam quantidades de macrófitas flutuantes com densidade e biodiversidade diferentes. O primeiro e o segundo reservatórios, sendo os que estão em áreas mais elevadas, tem quantidades pequenas de macrófitas, essas se acumulando nas margens e sendo a *Salvinia sp.* a macrófita predominante. O terceiro reservatório, localizado em área com menor altitude, tem sua superfície totalmente tomada por macrófitas, sendo a *Salvinia sp.* e a *Eichhornia crassipes* as predominantes. Por fim, o último reservatório, que se encontra na área de menor altitude do terreno, também apresenta sua superfície tomada por macrófitas, porém tendo maior biodiversidade, predominando *Salvinia sp.*, *Eichhornia crassipes*, *Nymphaea sp.* e *Paspalum repens*. A Figura 04 a seguir ilustra as populações de macrófitas desses quatro reservatórios citados.



Figura 04: Populações de macrófitas flutuantes nos reservatórios componentes da represa artificial Voçoroca (AV).

Tendo em conta esses dados, conclui-se que o acúmulo de fósforo por conta da declividade no entorno e a baixa circulação da água nos reservatórios provocou, com o tempo, um aumento na quantidade de macrófitas, e a superpopulação destas são uma consequência do processo de eutrofização antrópica causada pela lixiviação de produtos

agrícolas, como evidenciado pelos resultados do IET nos pontos P1 e P3.

O ponto de saída (P3) apresentou uma quantidade significativamente menor de fósforo total do que a entrada (P1), por conta disso, evidencia-se que a presença das macrófitas em toda a extensão do sistema contribui para a diminuição da quantidade de fósforo na água, apesar de a concentração de fósforo na saída ainda demonstrar um estado eutrófico, de acordo com o resultado do IET. A diminuição demonstra uma redução de 96,65% do fósforo, evidenciando o papel das macrófitas como filtros naturais, absorvendo o excesso de nutrientes da água no contexto do investimento em biomassa associado ao processo de produção primária (LIU et al., 2020; POMPÊO, 2017).

Na região lateral (P2), onde o fluxo de água é mais baixo, evidencia-se uma quantidade ainda menor de fósforo do que a existente na saída do reservatório, indicando que a poluição por fósforo vem majoritariamente da entrada por canaleta artificial e que traz água dos reservatórios anteriores localizados a montante e que receberam a carga do nutriente a partir de fontes difusas. Esse resultado também indica que o escoamento e/ou lixiviação dos arredores não são a fonte principal de fósforo no caso deste reservatório estudado; considera-se que este comportamento provavelmente se deve ao fato de que há áreas agrícolas mais planas no entorno, o que o diferencia dos reservatórios anteriores, que são caracterizados por maiores declividades nas margens e imediações. A grande quantidade de macrófitas no sistema, faz com que ocorra uma cadeia de detritos associada, a qual também pode ser uma causa para o aumento de fósforo do ponto P2 para o ponto P3, já que considerável número de macrófitas em estado de degradação foram observadas neste último ponto (POMPÊO, 2017).

Tabela 02: parâmetros físico-químicos em pontos de amostragem no último reservatório da represa artificial Voçoroca - AV.

	Ponto P2	Ponto P3
Temperatura (°C)	19,76 ± 0,0424	19,7625 ± 0,0457
pH	6,618 ± 0,277	7,460 ± 0,737
ORP (mV)	138,50 ± 7,047	107,75 ± 20,886
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,12925 ± 0,005	0,13275 ± 0,001
Turbidez (NTU)	5,925 ± 3,516	1,15 ± 0,173
TDS (g/L)	0,0835 ± 0,0038	0,0865 ± 0,0010



De acordo com a Tabela 02, os resultados de pH evidenciam água com aspecto praticamente neutro em ambos os pontos. Os dados demonstram que a água tem condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos atendendo a Resolução CONAMA n.º 357 referente a águas doces Classe II, para ambientes lênticos. Os resultados de ORP demonstram água com capacidade de oxidação relativamente baixa, o que evidencia a influência de fontes de poluição. Por fim, os resultados de turbidez comprovam o aspecto límpido da água como descrito anteriormente, e também o efeito das macrófitas na retenção de sólidos suspensos (TARKOWSKA-KUKURYK e TOPOROWSKA, 2021).

Os resultados analisados e as informações coletadas em campo demonstram o fato de que a mata ciliar existente ao redor dos reservatórios conectados é insuficiente para a interceptação do escoamento e a lixiviação dos produtos agrícolas, principalmente nos reservatórios anteriores ao estudado, já que plantações com grandes áreas de efeito estão ao redor e esses reservatórios tem uma declividade acentuada no entorno (PUNTENNEY-DESMOND et al., 2020). Isso evidencia a necessidade do manejo do solo nas plantações ao redor, para que o impacto ambiental causado pelas plantações seja reduzido (SIMEDO et al., 2020; VALERA et al., 2017). Pode-se recomendar algumas práticas intensivas a fim de minimizar o alcance de sedimentos e resíduos nos reservatórios. Práticas mecânicas como terraceamento em desnível com adequado distanciamento entre os mesmos e práticas culturais como implantação de sistemas de plantio direto, pois esses sistemas garantem maior porosidade do solo e conseqüentemente redução de arrastamento de partículas.

Considerando o estado atual dos reservatórios, aspectos a serem trabalhados de maneira complementar visando a melhoria da qualidade da água desses ambientes são: aumentar os sistemas de proteção naturais, por intermédio do adensamento ou o aumento da extensão da mata ciliar; remover fisicamente o excesso de plantas aquáticas dos sistemas, tendo uma destinação final adequada; estruturar mecanismos que favoreçam a circulação da água nos reservatórios, sobretudo nos períodos mais secos, como, por exemplo, a implantação de aeradores sustentáveis; implantação de sistemas sustentáveis de retenção de nutrientes nas canaletas de concreto; estruturação de um plano de monitoramento intensivo da qualidade da água.

Estudos futuros, mais aprofundados e com maiores números de amostras são

necessários para a confirmação das hipóteses apresentadas no presente estudo, bem como avaliar o efeito de outras variáveis no comportamento do processo de eutrofização do sistema.

CONCLUSÕES

Análises de parâmetros físico-químicos foram feitas no último reservatório da represa artificial voçoroca em Pindorama-SP para caracterizar o nível trófico do sistema, e estabelecer hipóteses para explicar a ocorrência de superpopulação de macrófitas aquáticas flutuantes no mesmo. Os resultados demonstraram alta concentração de fósforo total no reservatório, que indicou um ambiente no estado eutrófico, e explicou a quantidade excessiva de macrófitas no sistema, produtores primários que utilizam este nutriente para o seu desenvolvimento. Os resultados e as informações da área de estudo indicaram que a principal fonte de poluição por fósforo é principalmente a contribuição dos reservatórios anteriores a este, e que estão conectados através de canaletas de concreto. Pela quantidade expressiva de cultivos agrícolas ao redor, a declividade um pouco acentuada no entorno e a ausência de fontes pontuais, foi estabelecida a hipótese de que a poluição por fósforo nessa represa é devida ao escoamento e lixiviação de produtos agrícolas.

Para controle dos efeitos do processo de eutrofização nesse ecossistema, foi proposto que o manejo adequado do solo do entorno é necessário visando a diminuição da poluição por fósforo no sistema e consequente melhoria da qualidade da água. Estratégias para o aumento da vegetação no entorno, indução de maior circulação da água, e contenção dos nutrientes nas canaletas de concreto, também poderiam ser implantadas para reduzir os efeitos da eutrofização. Estudos futuros e mais aprofundados são necessários para confirmação das hipóteses estabelecidas e avaliar o efeito de outras variáveis no ecossistema.

REFERÊNCIAS

BARON, J. S. et al. Meeting ecological and societal needs for freshwater. **Ecological**

Applications, v. 12, n. 5, p. 1247-1260, 2002.

ESTEVEZ, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998. 574p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 235 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIU, H. et al. How many submerged macrophyte species are needed to improve water clarity and quality in Yangtze floodplain lakes?. **Science of the Total Environment**, v. 724, 138267, 2020.

HILT, S. et al. Submerged macrophyte responses to reduced phosphorus concentrations in two peri-urban lakes. **Restoration Ecology**, v. 18, p. 452-461, 2010.

HEGEL, C. G. Z.; MELO, E. F. R. Q. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água dos arroios da RPPN Maragato. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 3, p. 673-693, 2016.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 479p.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2017. 138 p.

PUNTENNEY-DESMOND, K. C.; BLADON, K. D.; SILINS, U. Runoff and sediment production from harvested hillslopes and the riparian area during high intensity rainfall events. **Journal of Hydrology**, v. 582, 124452, 2020.

TARKOWSKA-KUKURYK, M.; TOPOROWSKA, M. Long-term responses of epiphytic midges (Diptera, Chironomidae) to emergent macrophytes removal and P concentrations in a shallow hypertrophic lake ecosystem. **Science of The Total Environment**, v. 750, 141508, 2021.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2011. 328 p.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. **A água**. São Carlos: Ed. Scienza, 2020. 130 p.

TUNDISI, J. G. Reservoirs: New challenges for ecosystem studies and environmental management. **Water Security**, v. 4, p. 1-7, 2018.

SIMEDO, M. B. L. et al. The assessment of hydrological availability and the payment for ecosystem services: A pilot study in a Brazilian headwater catchment. **Water**, v. 12, n. 10, p. 2726, 2020.

VALERA, C. A. et al. A legal framework with scientific basis for applying the 'polluter pays principle' to soil conservation in rural watersheds in Brazil. **Land use policy**, v. 66, p. 61-71, 2017.