MONITORAMENTO DA DINÂMICA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS A PARTIR DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E REFLECTÂNCIA ESPECTRAL

Douglas Stefanello Facco[1], Joceli Augusto Gross[2], Gustavo Rodrigues Toniolo[1], Ana Karoline Ferreira dos Santos[2], Victor Fernandez Nascimento[1], Laurindo Antonio Guasselli[1].

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Campus do Vale – UFRGS
Av. Bento Gonçalves, nº 9500, 91501970, Porto Alegre, RS
douglas.s.facco@hotmail.com; victorfnascimento@gmail.com; gustavotoniolo1@gmail.com; laurindo.guasselli@ufrgs.br

[2]Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Av. Roraima, nº 1000, 97105900, Santa Maria, RS
joceliaugusto@gmail.com; karoljti.santos@gmail.com

RESUMO

A implementação do reservatório de Barra Bonita deu-se em função da geração de energia elétrica, porém, é também utilizado para abastecimento e desenvolvimento industrial da região. Entretanto, fatores como a falta de saneamento básico no seu entorno, acarreta em descargas de efluentes domésticos e industriais o que consequentemente favorece o processo de eutrofização. Este estudo procurou analisar a dinâmica da ocorrência de macrófitas aquáticas no reservatório de Barra Bonita utilizando imagens de satélite Landsat 8, e suas relações com o índice de estado trófico para clorofila-a. Os resultados revelaram que de maio a novembro de 2016 observou-se um aumento nas áreas de macrófitas aquáticas no reservatório, coincidindo com o comportamento e aumento dos valores de clorofila-a. observado em campo. Portanto, técnicas de sensoriamento remoto poderiam ser utilizadas para estimar a qualidade da água e auxiliar no monitoramento do reservatório.

Palavras-chave – Eutrofização, Sensoriamento Remoto, Qualidade da Água.

ABSTRACT

The Barra Bonita reservoir was constructed for electric power generation, however, it is also used for water supply and industrial development in the region. However, factors such as the lack of basic sanitation caused by domestic and industrial effluents discharges, favors the eutrophication process. This study aimed to analyze the aquatic macrophytes occurrence dynamics in the Barra Bonita reservoir using Landsat 8 satellite images and their relationships with the trophic state index for chlorophyll a. The results showed that from May to November 2016 a proliferation in the aquatic macrophytes reservoir areas occurred, coinciding with the chlorophyll-a values increase behavior observed in the field. Therefore, remote sensing techniques could be used to estimate water quality and assist in monitoring the reservoir.

Keywords – *Eutrophication, Remote Sensing, Water Quality.*

1. INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população, juntamente com suas variadas atividades sejam urbanas ou rurais tem causado diversos problemas aos ambientes aquáticos, entre eles a eutrofização que é um processo de degradação de lagos e reservatórios causada pelo acumulo artificial de nutrientes. Os principais causadores da eutrofização são efluentes domésticos e industriais que normalmente são fontes de poluição pontuais, e algumas fontes de poluição difusas como os resíduos provindos principalmente da agricultura, tais como fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros [6]; [8].

Dessa maneira o monitoramento de lagos e reservatórios é de suma importância. Atualmente existem diversas formas de monitoramento dos ambientes aquáticos, sendo que a maioria desses, são operações locais, onerosas e morosas [7]. No entanto, o sensoriamento remoto é uma alternativa para o monitoramento, principalmente quando se deseja analisar coberturas de grandes extensões que não são viáveis de serem feitas *in loco* [9]. Algumas técnicas de sensoriamento remoto, como o uso de índices de vegetação, uso e cobertura da terra, têm sido recomendadas pela literatura, com o objetivo de identificar os componentes opticamente ativos presentes na coluna d'agua.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica da ocorrência de macrófitas aquáticas, a partir de sua detecção por meio de imagens do sensor *Operational Land Imager* do satélite Landsat e relacionar esta informação com os dados do índice de estado trófico, para o reservatório de Barra Bonita, no estado de São Paulo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Este trabalho tem como área de estudo o reservatório da usina hidrelétrica de Barra Bonita, localizado na sub-bacia hidrográfica do Médio Tietê entre os municípios de Barra Bonita e Igaraçú, no Estado de São Paulo. Os rios Piracicaba e Tietê são os principais tributários responsáveis pelo estado

trófico da represa, aportando grandes cargas de nutrientes por meio de despejos industriais e domésticos.

A implementação do reservatório em 1963, deu-se em função da geração de energia elétrica pelo barramento de seu tributário principal, o Rio Tietê, e seu segundo tributário em termos de volume das águas, o Rio Piracicaba [3], porém, o reservatório é utilizado também para outros fins, tais como irrigação, recreação, transporte fluvial, piscicultura, abastecimento e desenvolvimento industrial da região [2]; [4].

Entretanto, fatores como a falta de saneamento básico no seu entorno e o fato de um de seus principais afluentes, o Rio Tietê, passar pela cidade de São Paulo, onde recebe grandes descargas de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio e adequado, acaba favorecendo o processo de eutrofização acelerado do reservatório ao longo dos anos, e consequentemente limitando a utilização das suas águas [11]. O estado trófico do reservatório já foi relatado em diversos estudos [1]; [10]. Em 2004, a Companhia estadual de tecnologia de saneamento básico e controle de poluição das águas (CETESB) já classificava o reservatório de Barra Bonita como eutrófico.

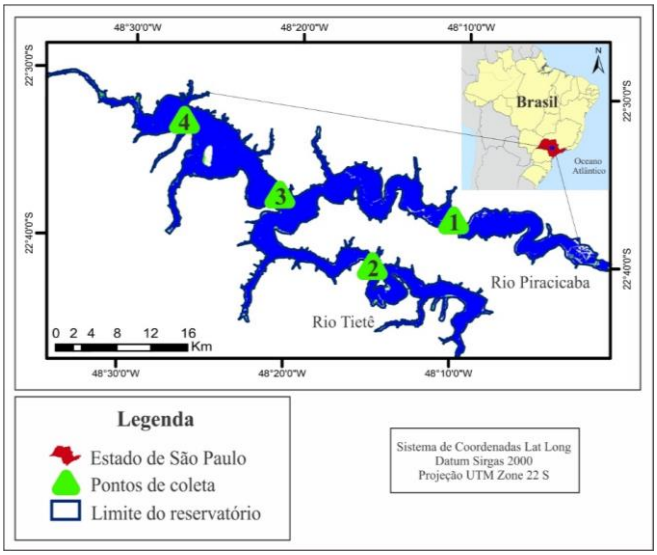

Figura 1: Localização do reservatório de Barra Bonita.

2.2. Índice do estado trófico para a clorofila-*a* – IET(CL)

Para o estudo utilizou-se os dados de Clorofila-a do Sistema Ambiental Paulista, que segue a metodologia de cálculo do IET proposta pela CETESB [5] a partir da Equação 1 do IET (CL) para reservatórios:

$$IET\ (CL) = 10 * 6 - \frac{(0{,}92 - 0{,}34) * \ln CL}{\ln 2} \qquad (Eq.1)$$

Onde: CL = Clorofila-a

Os dados de clorofila-a são referentes a quatro pontos amostrais sobre o reservatório (Figura 1). Os limites das concentrações de clorofila-a, estabelecidos para as diferentes classificações do índice de estado trófico, para reservatórios estão descritos no Quadro 1.

Índice de Carlson Modificado	Rios	Reservatórios
Categoria (Estado Trófico)	Clorofila *a* ($mg.m^{-3}$)	Clorofila *a* ($mg.m^{-3}$)
Ultraoligotrófico	$CL \leq 0{,}74$	$CL \leq 1{,}17$
Oligotrófico	$0{,}74 < CL \leq 1{,}31$	$1{,}17 < CL \leq 3{,}24$
Mesotrófico	$1{,}31 < CL \leq 2{,}96$	$3{,}24 < CL \leq 11{,}03$
Eutrófico	$2{,}96 < CL \leq 4{,}70$	$11{,}03 < CL \leq 30{,}55$
Supereutrófico	$4{,}70 < CL \leq 7{,}46$	$30{,}55 < CL \leq 69{,}05$
Hipereutrófico	$7{,}46 < CL$	$69{,}05 < CL$

Quadro 1. Classificação do Estado Trófico para rios e reservatórios segundo Índice de Carlson Modificado por Lamparelli (2004)[12].

2.1. Imagens Landsat-8

Para análise da dinâmica das áreas de macrófitas aquáticas, utilizou-se imagens Landsat 8 do ano de 2016. As imagens foram adquiridas através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) que disponibilizam a série Landsat gratuitamente. As imagens escolhidas foram as mais próximas das datas das campanhas de campo realizados pelo sistema ambiental paulista e as que apresentaram a melhor qualidade possível, ou seja, sem cobertura de nuvens. Neste sentido, os dados de três campanhas de campo foram considerados nas análises (Quadro 2).

A identificação das áreas de ocorrência de macrófitas foi realizada a partir da delimitação da lâmina de água do reservatório vista pelo *Normalized Difference Water Index* (NDWI) em uma imagem com data de aquisição anterior, e com lâmina de água inferior aquelas encontradas nas imagens utilizadas para a verificação das áreas de macrófitas. A partir do limite estabelecido pelo NDWI, este foi sobreposto as demais imagens para o recorte das lâminas de água, sendo as áreas de vegetação dentro das mesmas consideradas como macrófitas ou vegetação aquática. Uma classificação supervisionada, utilizando o algoritmo *Maxver* foi aplicado para separar água e vegetação no software SPRING, gratuito e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE.

Pontos de coleta	Coleta	Imagem	Coleta	Imagem	Coleta	Imagem
4	03 Mai.	09/mai (Outono)	19 Jul.	14/jul (Inverno)	29 Nov.	09/dez (Primavera)
3	03 Mai.		19 Jul.		29 Nov.	
2	11 Mai.		13 Jul		23 Nov.	
1	11 Mai.		13 Jul.		23 Nov.	

Quadro 2. Datas de coleta de dados em campo e das imagens utilizadas nas análises. (Maio; Julho; Novembro).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em média as concentrações de clorofila-a tiveram aumentos que acompanharam o desenvolvimento sazonal das áreas de macrófitas aquáticas no reservatório (Figura 2). As áreas de macrófitas eram cerca de 10 km² em maio, 15 km² em julho e em novembro ultrapassaram os 20 km². As concentrações de clorofila-a foram em média de 11,24 mg/m³ em maio, 14,95 mg/m³ em julho e 43,42 mg/m³ em novembro de 2016. Ambos os organismos aquáticos, ou seja, as macrófitas e o fitoplâncton mantiveram desenvolvimento sazonal similar, aumentando as suas quantidades de biomassa. Se esta relação entre organismos for válida para o reservatório em estudo, o estado trófico do mesmo pode ser derivado a partir da dinâmica das áreas de macrófitas, vistas em imagens de satélite.

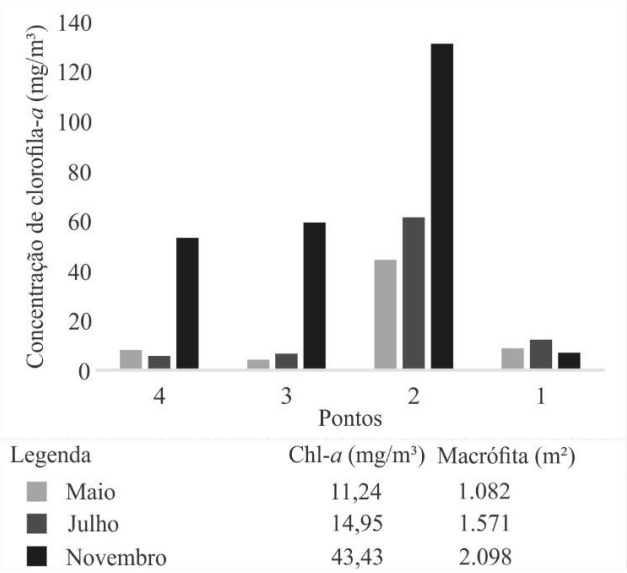

Figura 2. Média das concentrações de Chl-*a* e áreas de macrófitas em m²

Deve ser destacado que os pontos amostrais podem manter dinâmicas distintas do estado trófico, sejam em função de influencias das atividades antrópicas adjacentes ou fenômenos naturais que ocorrem na bacia hidrográfica, que por sua vez podem influenciar tanto as macrófitas aquáticas como o desenvolvimento dos organismos fitoplanctônicos. Neste sentido, se destacam os pontos amostrais número 2 e 1, onde as concentrações de clorofila-a foram em média 78,83 mg/m³ e 9,33 mg/m³ para as três datas de campanhas de campo, respectivamente. Estes pontos amostrais estão localizados no setor do alto curso do reservatório que se divide em dois grandes braços, e recebem as águas dos rios Piracicaba (Ponto amostral 1) e Tietê (Ponto amostral 2), sendo as águas deste último são influenciadas pela região metropolitana de São Paulo, e portanto, podem ser afetadas tanto por resíduos das atividades urbanas como rurais.

No ponto 2 verificou-se as maiores concentrações de clorofila-a em todas as datas de campanha de campo, com aumentos sucessivos de maio para julho até o mês de novembro, indicando águas onde a comunidade fitoplanctônica encontra condições adequadas para o desenvolvimento de seus organismos constituintes, independentemente do período do ano aqui analisado. Neste ponto amostral, as águas estiveram em todas as campanhas de campo com nível trófico igual ou superior a supereutrófico (Figura 3).

No ponto de coleta 1 as concentrações de clorofila-a foram as mais baixas em todas as campanhas de campo, no entanto, alcançando cerca de 12 mg/m³ no mês de julho o que indica eutrofização das águas de acordo com o (Quadro 1). Por outro lado, para as demais datas analisadas, as águas foram classificadas como mesotróficas. Nos pontos de coleta 3 e 4, onde ocorre a mistura das águas influenciadas pelos rios Piracicaba e Tietê, os níveis tróficos foram alterados somente em novembro para eutrófico sendo nos meses de maio e julho considerados mesotróficos.

4. CONCLUSÕES

Este estudo procurou analisar a dinâmica da ocorrência de macrófitas aquáticas no reservatório Barra Bonita utilizando para isso imagens de satélite, e a relacionando com o índice de estado trófico. De maio a novembro de 2016 observou-se um aumento nas áreas de macrófitas aquáticas no reservatório. O mesmo comportamento foi observado para os valores de clorofila-a medidos em campo. Análises espaciais como esta, demonstram a importância do sensoriamento remoto como ferramenta para a identificação das áreas de ocorrência de macrófitas mostrando como a presença de um organismo, no caso macrófitas aquáticas, pode ser útil na inferência do estado trófico da água.

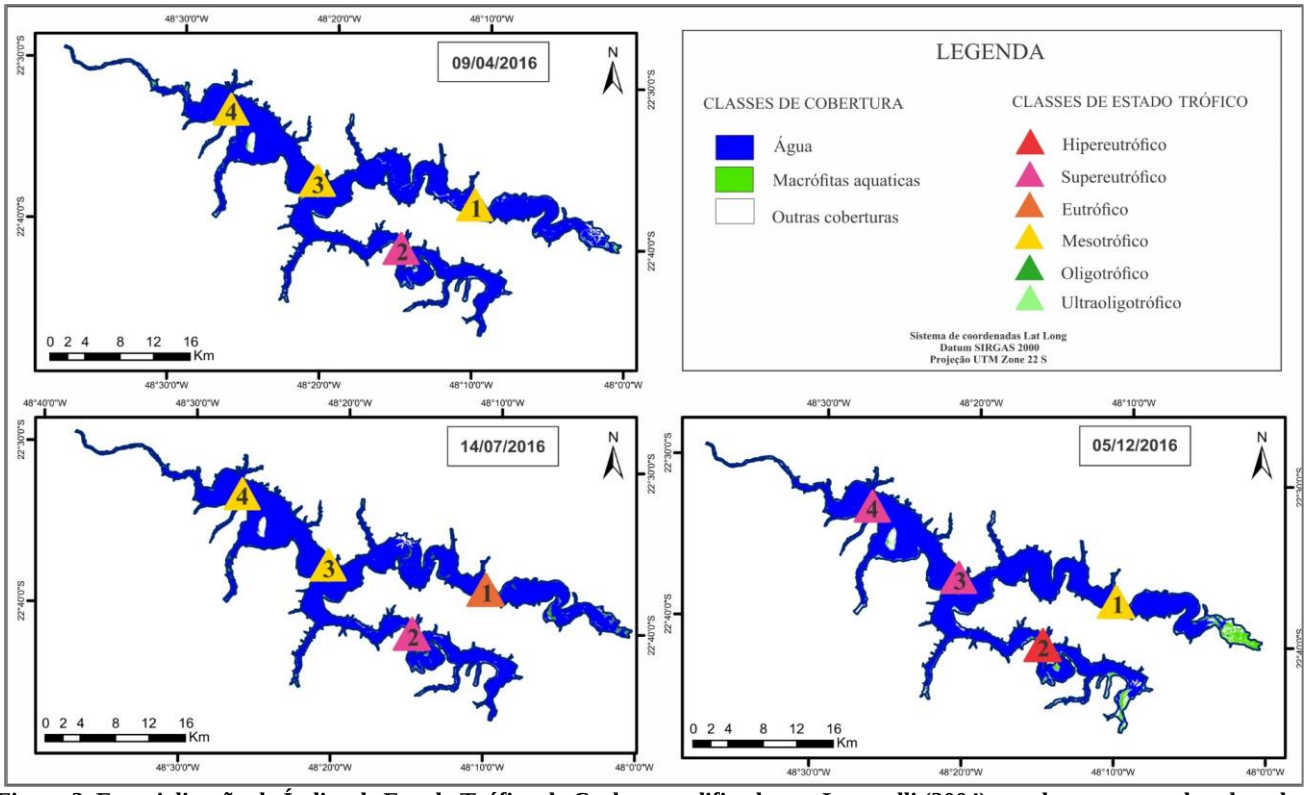

Figura 3. Espacialização do Índice de Estado Trófico de Carlson modificado por Laparelli (2004) por data e pontos de coleta dos dados.

REFERÊNCIAS

[1] Abe, D.S.; Sidagis galli, C.; Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J.E.M.; Grimberg, D.E.; MedeiroS, G.R.; Teixeira-Silva, V. & Tundisi, J.G. "The effect of eutrophication on greenhouse gas emissions in three reservoirs of the Middle Tietê.

[2] Calijuri, M.C. Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização. 1988. 293 f., Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

[3] Calijuri, M.C.; Dos Santos, A.C.A.; Jati, S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP Brazil). Journal of Plankton Research, Oxford, v. 24, n. 7, p. 617- 634, 2002.

[4] Calijuri, M.C.; Tundisi, J,G. Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita – Estado de São Paulo: Mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. Revista Brasielira de Biologia, Rio de Janeiro, V. 50, n. 4, p. 893 – 913, 1990.

[5] CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo, 2014. Disponível em: http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios-2/relatorios-dequalidade. Acessado 02 de outubro de 2018.

[6] Li, R.H.; Liu, S.M.; Zhang, G.L.; Ren, J.L. & Zhang, J. "Biogeochemistry of nutrients in an estuary affected by human activities: The Wanquan River estuary, eastern Hainan Island, China". Cont. Shelf Res., v.57: n.18-31, 2013.

[7] Luo, C.; Li, X.; Ma, R.; Li, F.; Duan, H.; Hu, W.; Qin, B.; Huang, W. Applying remote sensing techniques to monitoring seasonal and interannual changes of aquatic vegetation in Taihu Lake, China. Ecological Indicators, Coimbra, v. 60, p. 503–513, 2015.

[8] Paerl, H.W. "Controlling Eutrophication along the Freshwater–Marine Continuum: Dual Nutrient (N and P) Reductions are Essential". Estuaries and Coasts, v. 32(4) 593, 2009.

[9] Straškraba, M.; Tundisi, J. G. Diretrizes para o gerenciamento de lagos: Gerenciamento da qualidade da água de represas. Serie Gerenciamento da qualidade da água de represas. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 55, 2013.

[10] Tundisi, J.G. & Matsumura-TUndisi, T. "Limnology and eutrophication of Barra Bonita Reservoir, S. Paulo State, Southern, Brazil". Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., v. 33(1): pp. 661, 1990.

[11] Valente, J.P.S.; Padilha, P.M.; Silva, A.M.M. Contribuição da cidade de Botucatu – SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. Eclética Quimica, Araraquara, v. 22, p. 31 – 48, 1997.

[12] Lamparelli, M.C. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 235 2004.