

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MONITORAMENTO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA, SP

RENATA TEIXEIRA DE ALMEIDA MINHONI¹; MÍRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO²; ROBERTO FILGUEIRAS³ E CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK⁴

¹ Eng. Ambiental, Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu – SP, Brasil, e-mail: renataminhoni@hotmail.com

² Eng. Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu – SP, Brasil, e-mail: medeirosmirian@yahoo.com.br

³ Eng. Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola – UFV. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, CEP 36570-900, Viçosa - MG, Brasil, e-mail: betofilgueiras@gmail.com

⁴ Eng. Agrônoma, Professora. Doutora do Departamento de Solos e Recursos Ambientais - FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu – SP, Brasil, e-mail: czimback@gmail.com

1 RESUMO

Macrófitas aquáticas são organismos fotossintéticos, com tamanho suficiente para serem vistos a olho nu, que crescem submersas, flutuando ou sobre a superfície da água. A ação antrópica no represamento de corpos hídricos tem ocasionado a eutrofização dos recursos hídricos, e dentre os desequilíbrios que esta ação gera no meio aquático está à elevada proliferação de macrófitas. Devido a esse fato, essa pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de realizar uma estimativa da área ocupada por macrófitas aquáticas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita (SP), nos anos de 2013, 2014 e 2015. O estudo foi realizado na estação seca (mês de agosto), por meio do uso do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e classificação supervisionada MAXVER (Máxima Verossimilhança). Para obtenção dos mapas e gráficos, foram realizadas as seguintes ações: seleção das imagens do satélite LANDSAT-8/OLI, calibração radiométrica, correção atmosférica, reprojeção, definição do limite, recorte da área, NDVI e classificação supervisionada. Os mapas obtidos por meio da classificação supervisionada, auxiliada pelos mapas de NDVI, apontaram para um aumento de aproximadamente 50% na área ocupada por macrófitas aquáticas de 2013 a 2015.

Palavras-chave: classificação supervisionada, eutrofização, índice NDVI, landsat-8.

MINHONI, R. T. A.; PINHEIRO, M. P. M. A.; FILGUEIRAS, R.; ZIMBACK, C. R. L.
REMOTE SENSING APPLIED TO THE MONITORING OF AQUATIC
MACROPHYTES AT BARRA BONITA RESERVOIR, SP

2 ABSTRACT

Aquatic macrophytes are photosynthetic organisms, large enough to be seen with naked eye, which grow submerged, floating or on the surface of the water. The anthropic action in the damming of water bodies has caused eutrophication of water resources, and among the imbalances that this action generates in the aquatic environment is the high proliferation of

macrophytes. Due to this fact, this research was developed with the aim of estimating the area occupied by aquatic macrophytes in the reservoir of Barra Bonita Hydroelectric Power Plant (SP), in the years of 2013, 2014 and 2015. The study was carried out in the dry season (August), through the use of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and supervised classification MAXVER (Maximum Likelihood). To obtain the maps and graphs, the following actions were taken: selection of LANDSAT-8 / OLI satellite images, radiometric calibration, atmospheric correction, reprojection, boundary definition, NDVI and supervised classification. The maps obtained through supervised classification, aided by NDVI maps, pointed to an increase of approximately 50% in the area occupied by aquatic macrophytes from 2013 to 2015.

Keywords: supervised classification, eutrophication, NDVI index, landsat-8.

3 INTRODUÇÃO

Macrófitas aquáticas são organismos fotossintéticos, com tamanho suficiente para serem vistos a olho nu, que crescem ativamente de maneira permanente ou periódica submersas, flutuando ou sobre a superfície da água (CHAMBERS; LACOUL; MURPHY, 2008).

De acordo com Thomaz e Esteves (2011), existem cinco principais tipos biológicos ou grupos ecológicos de macrófitas aquáticas. O primeiro deles são as emersas, enraizadas no sedimento de fundo e com as folhas para fora da água. O segundo grupo são as macrófitas com folhas flutuantes, com folhas ligadas aos rizomas e raízes por meio de longos e flexíveis pecíolos. O terceiro grupo são as submersas enraizadas, enraizadas no sedimento de fundo e que crescem abaixo da superfície da água, excluindo suas estruturas reprodutivas. No quarto grupo estão as submersas livres, com rizoides pouco desenvolvidos e que permanecem sob a água, normalmente presas a outras macrófitas ou outras estruturas submersas. Por fim, o quinto grupo de macrófitas são as flutuantes livres, que flutuam livremente e cujas raízes permanecem livres abaixo d'água.

A ação antrópica no represamento de corpos hídricos, no lançamento de efluentes industrial e doméstico, além da erosão de solos agricultáveis, têm ocasionado a eutrofização dos recursos hídricos (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2009). Dentre os desequilíbrios que esta ação gera no meio aquático, está a elevada propagação de macrófitas aquáticas, que podem comprometer os usos múltiplos dos recursos hídricos, como a produção de energia elétrica, a navegação, a irrigação, a pesca e a recreação (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2009).

Nas usinas hidrelétricas as macrófitas podem atingir as turbinas e provocar sua obstrução (MORMUL et al., 2010). Além deste efeito direto, os detritos provenientes de macrófitas aquáticas submersas e com folhas flutuantes, sob condições de anaerobiose, produzem gás sulfídrico (H_2S) e gás metano (CH_4) (THOMAZ; ESTEVES, 2011). Estes gases, em reação com a água, podem acidificar o meio e promover a corrosão de turbinas e outros equipamentos em usinas hidrelétricas.

Em grandes reservatórios, o monitoramento de macrófitas aquáticas, abordando a dinâmica de distribuição e as tipologias, é uma operação morosa e onerosa se realizada a partir de métodos convencionais de pesquisa (LUO et al., 2015). Além disso, estes organismos podem ocupar lugares de difícil acesso, que eleva ainda mais as dificuldades no mapeamento de sua distribuição e no monitoramento de seu crescimento (ZHAO et al., 2012).

Dessa maneira, o monitoramento de macrófitas aquáticas em grandes reservatórios pode ser realizado por meio da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e de imagens de satélites (STRAŠKRABA; TUNDISI 2013, GALO et al., 2002). O sensoriamento remoto é uma ferramenta eficaz a ser levada em consideração se tratando de pesquisas de fenômenos de grandes dimensões em comunidades de vegetação aquática, sendo capaz de fornecer informações de extrema significância, quando comparado a qualquer outra ferramenta de levantamento (SILVA et al., 2008). Técnicas de sensoriamento remoto, como o uso de índices de vegetação têm sido recomendados na literatura, objetivando-se compreender as propriedades espectrais da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é muito utilizado em estudos na área de sensoriamento remoto. Este índice assume uma faixa de valores que varia entre -1 e 1, onde, geralmente, o valor 0 indica a linha do solo e os valores superiores a 0 indicam a presença de vegetação (SAKUNO; KUNII, 2013). Quando negativo, este índice indica superfícies com ausência de vegetação, como água, gelo, neve ou nuvens (SAHEBJALAL; DASHTEKIAN, 2013). De maneira geral, o NDVI ou, até mesmo, apenas a utilização da banda do infravermelho próximo, é suficiente para diferenciar água de vegetação (LUO, 2015).

Imagens classificadas, auxiliadas pelo índice de vegetação NDVI, contribuem para a obtenção de mapas temáticos, seja por meio de classificação supervisionada ou não supervisionada (MORAES et al., 2009).

Sendo assim, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de realizar uma estimativa da área ocupada por macrófitas aquáticas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita (SP), nas estações de seca dos anos 2013, 2014 e 2015.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O reservatório da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita é o primeiro de uma série de seis grandes reservatórios localizados no rio Tietê. Está localizado aproximadamente nas coordenadas 22°30'S e 48°32'O a 22°53'S e 47°57'O (datum horizontal: SIRGAS 2000) e, próximo ao eixo da barragem, a cerca de 450 metros acima do nível do mar. O reservatório é formado pelo represamento dos rios Piracicaba e Tietê, além da contribuição de 114 tributários ao longo de sua extensão.

As principais características da estrutura física, morfométrica e hidráulica da usina hidrelétrica são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características: física, morfométrica e hidráulica da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita, SP.

RESERVATÓRIO	
Área inundada	310,0 km ²
Volume total	3.622 x 10 ⁶ m ³
Volume útil	2.566 x 10 ⁶ m ³
Cota máxima útil	451,5 m
Cota mínima útil	439,5 m
Profundidade máxima	25 m
Profundidade média	10,2 m
Perímetro	525 km
Tempo de retenção	30 a 180 dias
BARRAGEM	
Material	Concreto
Comprimento	480 m
Queda bruta	23,5 m
Vertedouro	Comporta de superfície
Descarga total	4.530 m ³ /s
Turbinas	4 tipo Kaplan de eixo vertical
Gerador	Tipo umbrela de eixo vertical
Potência total	140,76 MW

Fonte: Tundisi, Matsumura-Tundisi e Abe (2008); AES TIETÊ (2015).

O satélite LANDSAT-8, lançado no dia 11 de fevereiro de 2013, é proveniente de uma parceria entre o USGS (*United States Geological Survey*) e a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (USGS, 2013). O satélite possui dois sensores: OLI (*Operational Land Imager*), com nove bandas, e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), com duas bandas (USGS, 2013). Os satélites LANDSAT fornecem dados e informações muito importantes, e que podem ser utilizadas nas tomadas de decisões em estudos ambientais (NASA, 2015).

Para estimar a presença de macrófitas aquáticas na superfície do reservatório de Barra Bonita foram utilizadas três conjuntos de imagens do satélite LANDSAT-8/OLI, referentes a agosto dos anos de 2013 (07/08/2013), 2014 (10/08/2014) e 2015 (13/08/2015). Todas as imagens foram disponibilizadas de maneira gratuita pelo USGS (2015). Na Tabela 1 são apresentadas as principais características das imagens selecionadas, com órbita/ponto 220/76 e resolução espacial de 30 metros.

Tabela 1. Características das imagens do sensor OLI do satélite LANDSAT-8.

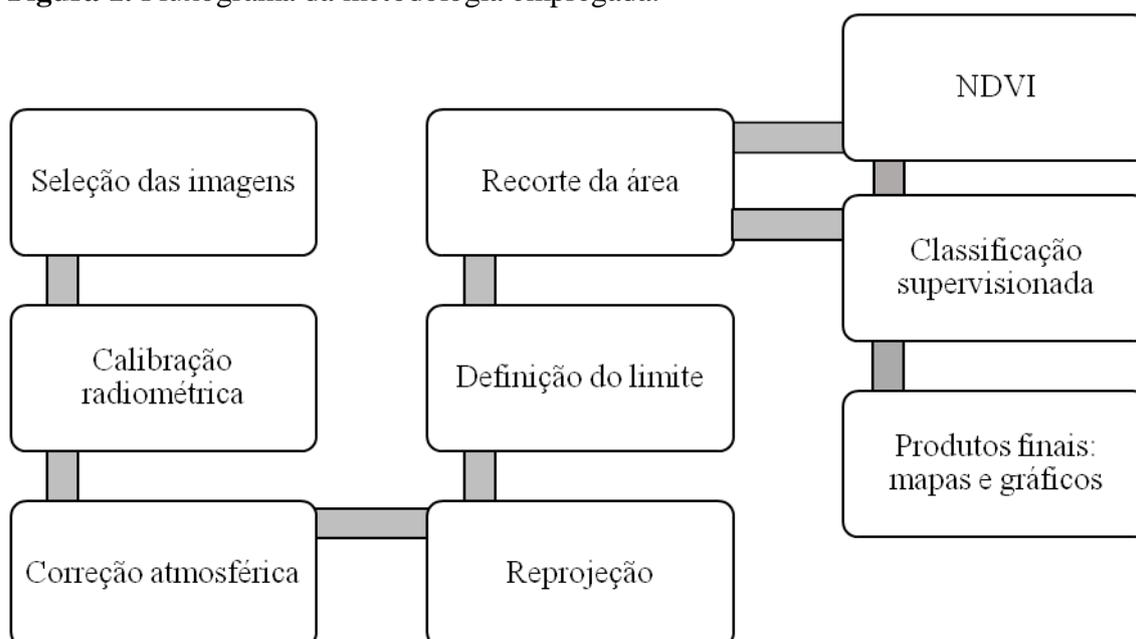
Bandas	Espectro	Comprimento de onda (µm)
Banda 2	Azul	0,45-0,51
Banda 3	Verde	0,53-0,59
Banda 4	Vermelho	0,64-0,67
Banda 5	Infravermelho Próximo	0,85-0,88
Banda 6	Infravermelho de ondas curtas 1	1,57-1,65
Banda 7	Infravermelho de ondas curtas 2	2,11-2,29

Fonte: NASA (2015).

Foram selecionadas imagens do mês de agosto, pois durante a estação seca há uma maior proliferação de macrófitas aquáticas. Neste período do ano, as comportas da barragem permanecem mais tempo fechadas devido aos menores volumes de precipitação e, conseqüentemente, a uma menor vazão afluente ao reservatório.

Um fluxograma da metodologia empregada é apresentado na Figura 1, onde é possível verificar a seqüência das principais ações aplicadas até a obtenção dos produtos finais deste trabalho.

Figura 1. Fluxograma da metodologia empregada.



Existem partículas presentes na atmosfera que interferem na radiação eletromagnética que atinge a superfície terrestre ou o sensor, como poeira, aerossóis e diversos gases (SOARES et al., 2015).

Assim, segundo Novo (2008), a atmosfera pode produzir alguns efeitos indesejáveis nas imagens de sensoriamento remoto, sendo necessário atenuar esses efeitos, devido ao fato deles influenciarem nas respostas espectrais. De acordo com a mesma autora, quando objetiva-se realizar comparações entre imagens de diferentes datas, é importante que se realize a correção atmosférica.

Dessa maneira, como esta pesquisa realizou comparações entre imagens de satélite de diferentes anos, fez-se a correção atmosférica através do método DOS1 (*Dark Object Subtraction*), proposto por Chavez Jr. (1988). Este passo é realizado juntamente com os passos de calibração radiométrica, que primeiramente consiste na conversão de números digitais (ND) para radiância e, posteriormente para reflectância.

Devido ao fato das imagens brutas estarem projetadas no hemisfério norte foi necessária a reprojeção para o hemisfério sul. Após reprojeção, definiu-se manualmente o limite do reservatório com base em uma das imagens selecionadas. Em seguida, este limite foi utilizado para recortar a área de interesse nas três imagens selecionadas.

Com o intuito de aprimorar a classificação supervisionada, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi empregado na metodologia desta pesquisa. Ressalta-se

que a classificação não foi realizada sobre a imagem do NDVI, este serviu como uma ferramenta de subsídio à classificação, auxiliando na identificação das classes. Este índice expressa a quantidade e o vigor da vegetação (atividade fotossintética) presente em uma imagem, sendo desenvolvido para facilitar a identificação de vegetação (ARASTOO; GHAZARIAN; AVETYAN, 2013).

Este índice foi gerado para cada imagem selecionada, utilizando-se a Equação 1:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (1)$$

Em que:

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada;

ρ_{IVP} = refletância no infravermelho próximo (0,85 a 0,88 μm);

ρ_V = refletância no vermelho (0,64 a 0,67 μm).

Em uma classificação supervisionada, coleta-se as assinaturas espectrais de áreas específicas de uma imagem a partir da delimitação de vários polígonos, e, posteriormente, essas assinaturas espectrais coletadas são utilizadas na classificação de todos os pixels da imagem (SAHEBJALAL; DASHTEKIAN, 2013).

Previamente ao processo de classificação supervisionada de cada imagem do satélite LANDSAT-8/OLI, seis bandas espectrais (B2, B3, B4, B5, B6 e B7) foram empilhadas na geração de uma única camada representativa da área de estudo, processo chamado de *Layer stack*. Assim, a classificação foi realizada com base na informação espectral das seis bandas. O empilhamento de bandas (*Layer stacking*) é comumente utilizado na combinação de bandas separadas em uma única imagem multispectral, que poderá ser utilizada em análises posteriores (VEERENDRA; LATHA, 2012).

Na classificação supervisionada utilizou-se o algoritmo de classificação *Maximum Likelihood*, Máxima Verossimilhança (MAXVER), para obtenção de dois agrupamentos satisfatórios, correspondentes as classes de macrófitas e água. Este algoritmo realiza a alocação de cada pixel à classe de maior probabilidade, ponderando estatisticamente as distâncias entre as médias das refletâncias de superfície das classes, tudo isso a partir dos critérios definidos pelos usuários (GRACIANI; NOVO, 2003).

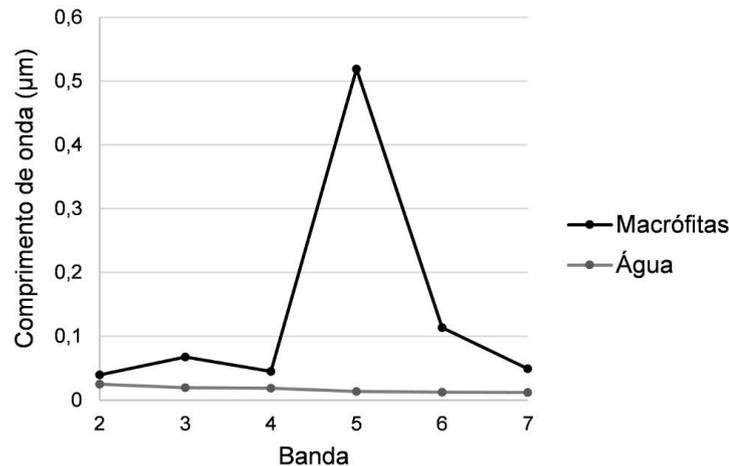
Por fim, realizou-se o agrupamento das duas classes estudadas (água e macrófitas), por meio da ferramenta *dissolve*, e a quantificação das áreas ocupadas pelas respectivas classes, por meio da inclusão de uma coluna com a área na tabela de atributos de cada imagem classificada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Gráfico 1 é apresentado o comportamento ou assinatura espectral das macrófitas e da água, em uma imagem composta pelas bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Para a construção deste gráfico foram selecionados pixels com presença de macrófitas e ausência das mesmas, com o objetivo de ressaltar a diferença espectral dessas superfícies. A vegetação apresenta um comportamento espectral médio que sempre possibilitará a sua distinção de outros objetos (NOVO, 2008). Nesse gráfico, a distinção entre vegetação e água ficou claramente evidenciada, pois para as regiões com maior presença de macrófitas, encontrou-se uma assinatura espectral típica de uma vegetação sadia, ou seja, com absorção da radiação eletromagnética no espectro do visível e um alto pico de refletância no espectro do

infravermelho próximo. Já para regiões que não foram detectadas a presença de macrófitas, a assinatura espectral foi típica de corpos hídricos, onde há um comportamento absorptivo em todos os comprimentos de onda analisados, com leve pico de reflectância na região espectral do azul.

Gráfico 1. Comportamento espectral de macrófitas aquáticas e de água no reservatório de Barra Bonita, SP.



Para melhor compreender o comportamento das macrófitas aquáticas no reservatório de Barra Bonita, foram geradas seis imagens do local, usando o NDVI e a classificação supervisionada MAXVER, para os anos de 2013, 2014 e 2015.

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentadas as imagens obtidas pelo NDVI, nas quais é possível observar a dinâmica espaço-temporal dos valores desse índice para a represa, possibilitando identificar o aumento do índice de vegetação em determinadas áreas do reservatório.

Figura 2. Representação do índice de vegetação NDVI no Reservatório de Barra Bonita em 2013.

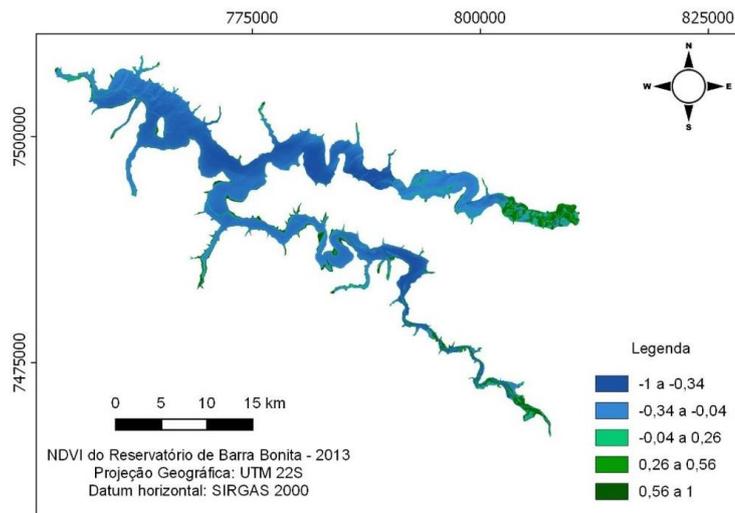


Figura 3. Representação do índice de vegetação NDVI no Reservatório de Barra Bonita em 2014.

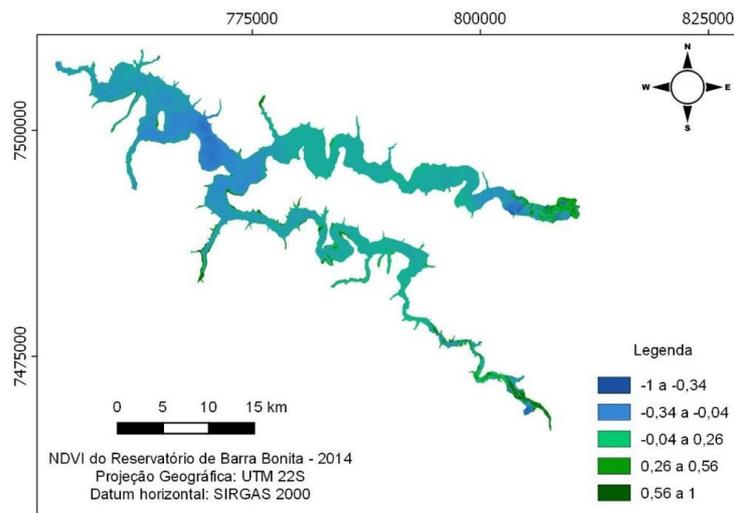
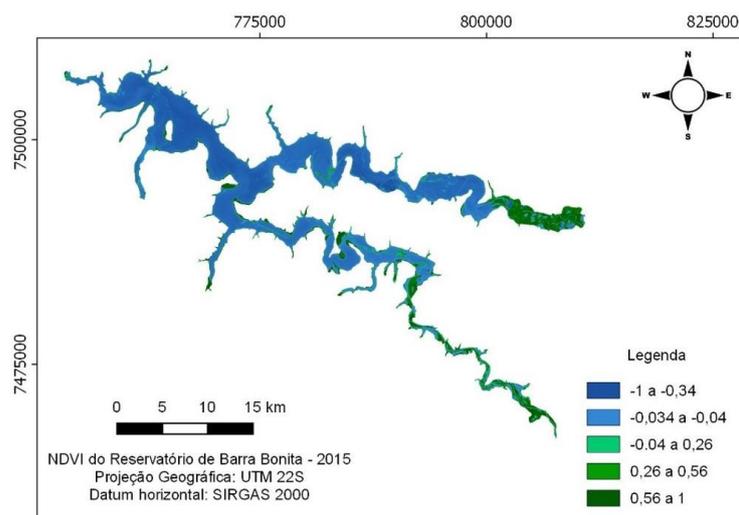


Figura 4. Representação do índice de vegetação NDVI no Reservatório de Barra Bonita em 2015.



Pode ser observado na Figura 2, ao longo da área estudada, uma maior presença de valores de índices entre as classes -1 a -0,34 e -0,34 a -0,04, valores que indicam ausência de vegetação. Para as demais classes do índice, devido ao valor, já se pode constatar a presença de macrófitas, indicando a maior aglomeração desses organismos na classe com valores mais elevados.

Na Figura 3 é possível perceber uma dispersão de valores com NDVI entre -0,04 e 0,26, que podem indicar a presença de sólidos em suspensão, assim como uma possível infestação de cianobactérias na extensão do corpo d'água. Nos intervalos de classes -0,04 a 0,26, 0,26 a 0,56 e 0,56 a 1, principalmente nos braços, assim como nos meandros do reservatório, indicam a presença de uma maior concentração de macrófitas aquáticas.

Na Figura 4 pode ser observado que no ano de 2015 houve uma maior concentração de macrófitas nos braços do reservatório, assim como os estudos de Galo et al. (2002). Já nos

anos de 2013 e 2014 observou-se macrófitas em maior intensidade, conforme ilustram as Figuras 2 e 3, respectivamente.

Os produtos da classificação supervisionada para os anos 2013, 2014 e 2015 podem ser vistos, respectivamente nas Figuras 5, 6 e 7. Pode-se observar nessas figuras uma elevada população de macrófitas aquáticas existente nos locais com menor volume de água. Uma possível causa para esse aglomerado de plantas, é que nestes pontos há uma maior concentração de nutrientes. Tundisi (2003) aponta que a principal causa da eutrofização é aumento da disponibilidade de nutrientes, o que promove o crescimento desordenado de algas. Estudos de Quevedo (2015) comprovam tal afirmação para o reservatório de Barra Bonita, onde ocorre uma grande proliferação de macrófitas oriunda do excesso de nutrientes presente no corpo hídrico.

Também pode-se observar, no ano de 2013 (Figura 5), pequenos grupos de macrófitas ao longo do reservatório. Já no ano de 2014 (Figura 6) nota-se uma expansão no volume de macrófitas nos braços do reservatório e uma redução dos aglomerados no corpo hídrico. No ano de 2015 (Figura 7) é possível observar um aumento na quantidade de plantas em toda a extensão da represa, uma justificativa para esse comportamento foi uma redução significativa do volume pluviométrico no ano hidrológico 2014-15, como também encontrado por Santarosa et al. (2015).

Figura 5. Representação da classificação supervisionada do Reservatório de Barra Bonita em 2013.

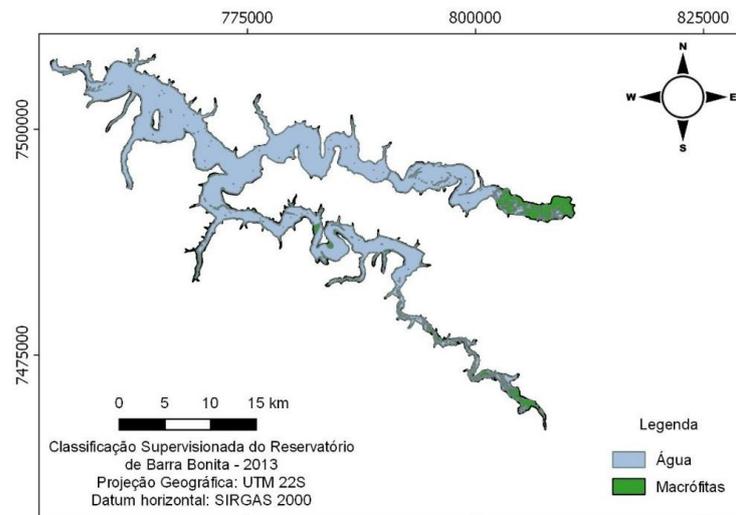


Figura 6. Representação da classificação supervisionada do Reservatório de Barra Bonita em 2014.

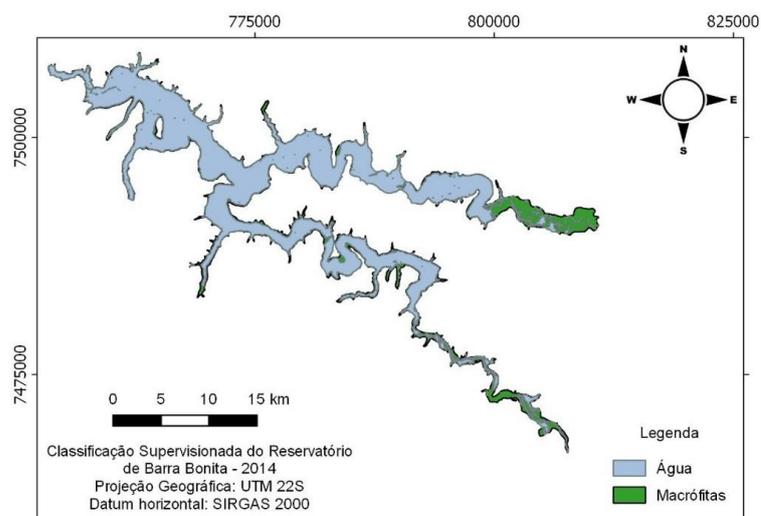
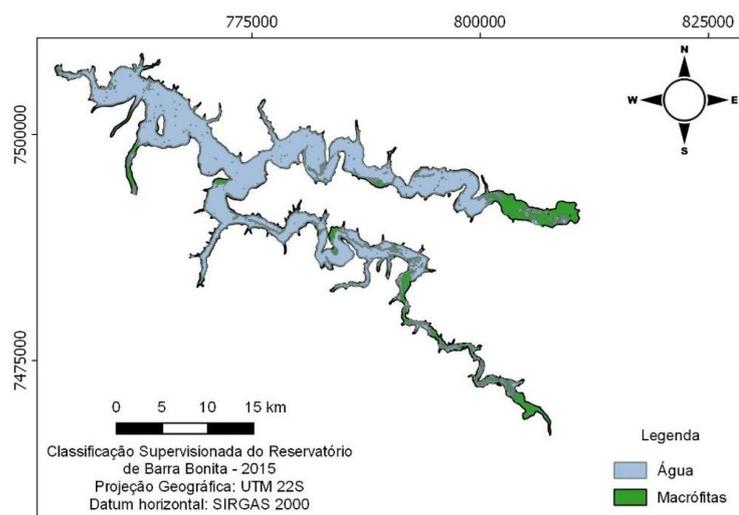


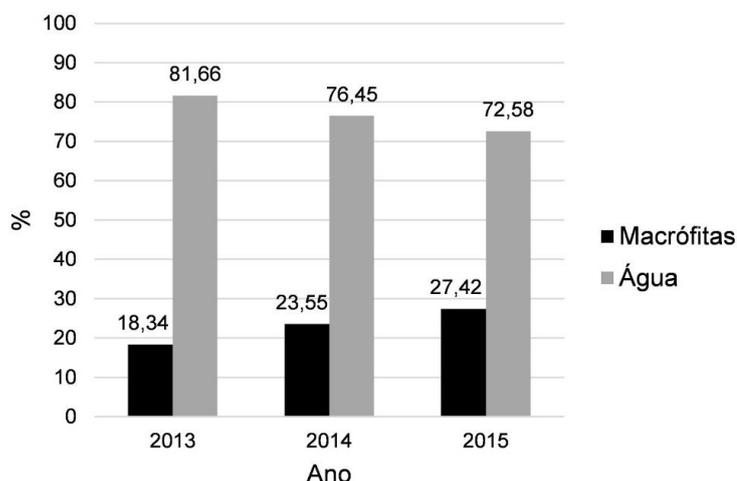
Figura 7. Representação da classificação supervisionada do Reservatório de Barra Bonita em 2015.



Está apresentado no Gráfico 2 a evolução e o crescimento da comunidade de macrófitas aquáticas ao longo dos três anos estudados. Em 2013, as macrófitas ocuparam uma área de aproximadamente 5.086,21 ha, correspondendo a 18,34% da área do reservatório. Em 2014, ocuparam uma área aproximada de 5.264,12 ha (23,55%) e em 2015, 7.598,43 ha (27,42%). Assim, de 2013 para 2015, houve um aumento de aproximadamente 50% na área ocupada por macrófitas aquáticas no reservatório. Uma justificativa para esta condição seria a redução na vazão do reservatório devido as poucas chuvas ocorridas em 2014 e 2015. Segundo dados do IPMet (Instituto de Pesquisas Meteorológicas), a cidade de Bauru, situada a aproximadamente 53 km do eixo da barragem, apresentou nos últimos quatro meses anteriores à data de aquisição das imagens (abril, maio, junho e julho) de 2013, 2014 e 2015 uma precipitação acumulada de 368,6 mm, 169,2 mm e 260 mm, respectivamente (IPMET, 2017). De acordo com o relatório de sustentabilidade da AES, a energia natural afluyente (ENA), ou seja, volume de energia gerado a partir do regime de chuvas, de 2014 foi

equivalente a 68% da ENA de 2013 (AES TIETÊ, 2014). Com a diminuição do volume de água no reservatório, houve uma maior concentração de materiais, o que pode ter proporcionado a maior proliferação destes organismos.

Gráfico 2. Relação entre as percentagens de macrófitas e de água, em anos de 2013, 2014 e 2015.



6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível afirmar que houve um aumento gradativo da população de macrófitas no reservatório de Barra Bonita de 2013 a 2015. A classificação MAXVER e o NDVI mostram-se eficientes na identificação e diferenciação de macrófitas e água nas áreas ocupadas. Os mapas gerados podem auxiliar os gestores do reservatório num monitoramento eficiente da dinâmica espacial e temporal das macrófitas aquáticas, servindo também, para órgãos ambientais, no suporte à tomada de decisões em projetos preventivos e corretivos na região.

7 REFERÊNCIAS

AES TIETÊ. Usinas e eclusas. São Paulo, 2015. Disponível em:

<<http://www.aestiete.com.br/geracao/Paginas/nossas-usinas.aspx#conteudo>>. Acesso em: 12 out. 2015.

AES TIETÊ. **Relatório de Sustentabilidade** 2014. São Paulo: AES, 2014. 149 p.

ARASTOO, B.; GHAZARIAN, S.; AVETYAN, N. An approach for land cover classification system by using NDVI data in arid and semiarid region. **Elixir Remote Sensing**, Salem District, v. 60, p. 16327-16332, 2013.

CHAMBERS, P.A.; LACOUL, P.; MURPHY, K.J. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. **Hydrobiologia**, Berlim, v. 595, p. 9-26, 2008.

CHAVEZ JR., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, Minneapolis. v. 24, n. 3, p. 459-479, 1998.

GALO, M.L.B.T.; VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; SANTOS, S.C.A. Uso do sensoriamento remoto orbital no monitoramento da dispersão de macrófitas nos reservatórios do Complexo Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.20, p.7-20, 2002. Edição Especial.

GRACIANI, S.D.; NOVO, E.M.L.M. Determinação da cobertura de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2509-2516.

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.

MORMUL, R. P.; FERREIRA, F. A.; MICHELAN, T. S.; CARVALHO, P.; SILVEIRA, M. J.; THOMAS, S. M. Aquatic macrophytes in the large, sub-tropical Itaipu Reservoir, Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, San José, v.58, n.4, p. 1437-1451, Dec. 2010.

MOURA, M.A.M.; FRANCO, D.A.S.; MATALLO, M.B. Manejo integrado de macrófitas aquáticas. **Biológico**, São Paulo, v.71, n.1, p.77-82, jan./jun., 2009. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/docs/bio/v71_1/moura.pdf> Acesso em: 14 nov. 2015.

NASA. **The Landsat Program**. Washington, DC, 2015. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 12 out. 2015.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008.

PONZONI, F.J., SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

QUEVEDO, C.M.G. DE. **Avaliação da presença de fósforo nos esgotos sanitários e da atual contribuição dos detergentes**. 2015. 250 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública)- Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SAHEBJALAL, E.; DASHTEKIAN, K. Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing and classification methods. **African Journal of Agricultural Research**, Ebène, v. 8, n. 37, p. 4614-4622, 2013.

SAKUNO, Y.; KUNII, H. Estimation of Growth Area of Aquatic Macrophytes Expanding Spontaneously in Lake Shinji Using ASTER Data. **International Journal of Geosciences**, Wuhan, v. 4, p. 1-5, 2013.

SANTAROSA, L.V.; MANZIONE, R.L.; GONÇALVES, V.F.M. Análise da variação sazonal e espacial das macrófitas aquáticas presentes no reservatório da represa de Barra

Bonita (SP) no ano hidrológico 2013-14. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015.

SILVA, T.S.F.; COSTA, M.P.F.; MELACK, J.M.; NOVO, E.M.L.M. Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications. **Environmental Monitoring and Assessment**, Orono, v. 140, p. 131–145, 2008.

SOARES, F.S.; ALMEIDA, R.K.; RUBIM, I.B.; BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M.; MELLO, G.V. DE; BAPTISTA NETO, J. A. Análise comparativa da correção atmosférica de imagem do Landsat 8: o uso do 6S e do ATCOR2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015.

STRAŠKRABA, M., TUNDISI, J.G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Coleção Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos; v. 9. 300 p.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A. Comunidade de macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, F.A. (coordenador) **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, SP: RiMa, IIE, 2003.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D. S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, n. 4, p. 1079-1098, 2008.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **EarthExplorer**. Reston, 2015. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 out. 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. Landsat 8: Fact Sheet 2013-3060. Reston: U.S. Department of the Interior, 2013. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2013/3060/pdf/fs2013-3060.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2015.

VEERENDRA, T. M., LATHA, B.M. Estimation of Growth Rate of Davanagere District using Multispectral Image using ENVI 4.7. **International Journal of Science and Research**. Ahmedabad, v. 3, n. 6, p., 2012.

ZHAO, D., JIANG, H., YANG, T., CAI, Y., XU, D., AN, S. Remote sensing of aquatic vegetation distribution in Taihu Lake using an improved classification tree with modified thresholds. **Journal of Environmental Management**, Londres, v. 95, p. 98-107, 2012.