

Índice de vegetação da diferença normalizada aplicado a análise da dinâmica de macrófitas aquáticas no reservatório de ITAIPU, PR-Brasil

Cristiano Niederauer da Rosa ¹
Waterloo Pereira Filho ²
Gisieli Kramer ³
Ademir Peranson ³
Eduardo André Kaiser ¹
Ulisses Franz Bremer ⁴
Janderlei Dal Osto ³

¹ Departamento de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale- Caixa Postal
91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil
cristianonrd@gmail.com
kaiser-eduardo@hotmail.com

² Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima, 1000, Camobi - Caixa Postal
97105-340 - Santa Maria - RS - Brasil
waterloopf@gmail.com

³ Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima, 1000, Camobi - Caixa Postal
97105-340 - Santa Maria - RS - Brasil
gisieli@outlook.com.br
ademirperanzoni@bol.com.br
janderleijunior@gmail.com

⁴ Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale - Caixa Postal
91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil
bremer@ufrgs.br

Resumo. Comunidades de macrófitas aquáticas ocorrem naturalmente em reservatórios e são componentes importantes desse ecossistema. No entanto, requerem especial atenção, pois, em condições ambientais anômalas, podem-se desenvolver rapidamente e em excesso, além de produzirem potentes toxinas, já identificadas em reservatórios brasileiros. Diante desse problema, o estudo objetivou analisar a distribuição espacial das macrófitas aquáticas no reservatório de ITAIPU antes e após a visita a campo realizadas no mês de setembro de 2016. A metodologia empregada consistiu na aquisição de imagens Landsat 8 em reflectância de superfície, corrigidas geometricamente e sem presença de nuvens (site USGS), correção do sistema de coordenadas; recorte da área de interesse; cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI); atribuição de limiares aos valores do NDVI para a identificação das áreas de macrófitas. Nos resultados notou-se a redução de 8,5 km² e 4,49 km² nas áreas de ocorrência das macrófitas M e A, respectivamente, entre as imagens representativas do outono e final da primavera. Assim, conclui-se que a técnica utilizada na espacialização das macrófitas aquáticas, considerando o NDVI, mostra-se eficiente para o seu monitoramento, demonstrando que a classe macrófita M sofreu maiores oscilações no período estudado e a classe macrófita A apresentou redução gradativa ao longo do período estudado.

Palavras-chave: Macrófitas aquáticas, NDVI, Monitoramento, Sensoriamento remoto.

Abstract. Communities of aquatic macrophytes occur naturally in reservoirs and are important components of this ecosystem. However, they require special attention because, under anomalous environmental conditions, they can develop rapidly and in excess, besides producing potent toxins, already identified in Brazilian reservoirs. In view of this problem, the study aimed to analyze the spatial distribution of aquatic macrophytes in the ITAIPU reservoir before and after the field visit in September 2016. The methodology used consisted of the acquisition of Landsat 8 images in surface reflectance, geometrically corrected and without presence of clouds (USGS site), correction of the coordinate system; cutting the area of interest; calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); the NDVI values for the identification of macrophyte areas. The results showed a reduction of 8.5 km² and 4.49 km² in the occurrence areas of the macrophytes M and A, respectively, between the representative images of autumn and late spring. Thus, it is concluded that the technique used in the spatialisation of aquatic macrophytes, considering NDVI, is efficient for its monitoring, demonstrating that the macrophyte class M suffered greater oscillations in the studied period and the macrophyte class A presented a gradual reduction along of the study period.

Keywords: remote sensing, image processing, wetlands.

1. Introdução

Comunidades de macrófitas aquáticas ocorrem naturalmente em reservatórios e são componentes importantes desse ecossistema, pois são responsáveis por manter a heterogeneidade de habitats, e conseqüentemente, do equilíbrio ambiental da biodiversidade animal do local. No entanto, requerem especial atenção, pois, em condições ambientais anômalas, podem-se desenvolver rapidamente e em excesso, causando impactos negativos ao ambiente, que vão desde obstrução de turbinas de hidrelétricas, a riscos à saúde das populações residentes (Costa et al., 1996; Gastal Jr, Irgang e Moreira, 2003; Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008), corroborando com isso, Pompêo (2017) ressalta que altas cargas de nutrientes que entram no reservatório, tem como conseqüências novas explosões de crescimento de macrófitas aquáticas e fitoplâncton. Fato recorrente nas Usinas Hidrelétricas de Teles Pires e São Manuel, nos estados do Pará e Mato Grosso respectivamente (Gallardo et al., 2017), que passam a partir de então exigir métodos de monitoramento e controle.

Diante dessa necessidade, pesquisadores (Mesquita et al., 2013; Souza Filho e Fragal, 2013; Rosa et al., 2017), afirmam que o sensoriamento remoto é uma ferramenta eficaz na espacialização da dinâmica populacional das macrófitas aquáticas. Sendo essa ferramenta um importante aliado no estudo de áreas de grande extensão e de difícil acesso, nas quais os registros e análises de dados com o auxílio de imagens de satélite de média resolução são um recurso proeminente entre os pesquisadores.

Nesse registro e análise de dados, tem-se a compreensão de que a interação entre a folha de um vegetal e a energia eletromagnética variam conforme os componentes químicos e estruturais do primeiro (pigmentos fotossintetizantes, quantidade de água e organização dos tecidos da folha), que por sua vez, refletem nos níveis de absorção, transmissão e reflexão dessa energia (PONZONI et al., 2012). Desse modo, os processos de absorção e reflexão da energia eletromagnética incidente resultam em respostas espectrais distintas, também relacionadas às características do vegetal identificado. A partir dessa percepção, é possível a identificação e espacialização das macrófitas aquáticas. Nesse sentido, o estudo objetivou analisar a distribuição espacial das macrófitas aquáticas no reservatório de ITAIPU antes e após a visita a campo realizada no mês de setembro de 2016, período coincide com o fim do outono e início do verão.

2. Metodologia

2.1 Região de Estudo

A Região de estudo está situado na bacia hidrográfica do rio Paraná (estado do Paraná - Brasil), mais especificamente na bacia hidrográfica do Paraná III, no local denominado reservatório de ITAIPU. O reservatório fica alocado no leito do oitavo maior rio do mundo em extensão (4.880 km) e o segundo maior da América do Sul. Sua bacia hidrográfica abrange cerca de 10% do território Brasileiro. O local tem 1350 km² de área inundada (ITAIPU, 2017) e faz divisa com os estados, Alto Paraná e Canindeyu no Paraguai (**Figura 1**).

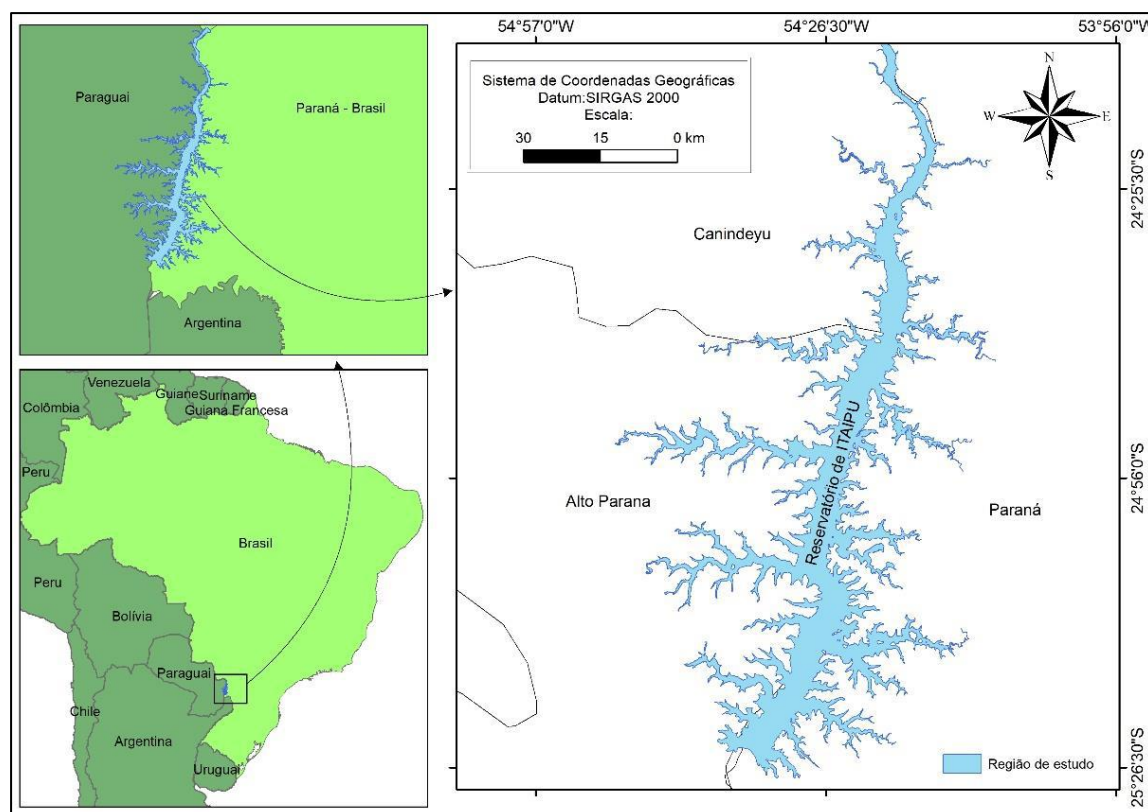


Figura 1 – Localização do Reservatório de ITAIPU.

O bioma da região é a mata atlântica, com predomínio da vegetação composta pela floresta estacional semidecidual, cujo clima é temperado úmido com verão quente (cfa), no qual a temperatura oscila entre 18°C nos meses frios e 22° nos mais quentes, com a ocorrência mais frequente de precipitações no verão. Além disso os solos da região têm qualidade, proporcionando a agricultura o status de principal atividade econômica da bacia hidrográfica do Paraná III (Instituto Agrônomo do Paraná, 2016).

Esta região atualmente não encontra problemas com a proliferação excessiva de macrófitas, sendo relatado apenas um alerta referente a expansão em área de ocorrência da macrófita submersa *Hydrilla verticillata*, a qual começou a desenvolver-se em locais improváveis. No entanto, destaca-se um rápido aumento na ocorrência de macrófitas, a qual destaca-se a presença de algumas espécies invasoras como a emersa *Urochloa arrecta* (previamente identificada como *Urochloa subquadripara* em Thomaz et al. (2009) (Michelan et al., 2017) que prejudica o desenvolvimento de espécies nativas (Thomaz, 2010).

2.2 Processamento e Classificação das Imagens

A partir do banco de dados do USGS (Global Visualization Viewer) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) foram adquiridas imagens LANDSAT 8 em reflectância de superfície (Órbita/Ponto: 224/77) já submetidas a correções geométricas, sem presença de nuvens, cujas datas eram mais próximas dos dias das coletas de campo ocorridas em fim de setembro de 2016. As bandas do visível e infravermelho das imagens foram divididas por 10000, para a conversão dos valores dos pixels em reflectância absoluta. Ainda, foi realizada a correção do sistema de coordenadas e o recorte da área de interesse, a qual foi obtida a partir da vetorização do limite de lâmina d'água do reservatório em imagem LANDSAT na qual a cota d'água era de 220 metros.

Posteriormente foi realizada a composição do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), cuja equação tem como fundamento a diferença entre a reflectância das bandas do Infravermelho (IR) próximo e vermelho, devido ao contraste entre a baixa refletância da vegetação na banda do vermelho e alta reflectância na banda do IR próximo (Chuvieco, 1996), normalizado pela soma de suas refletâncias nestes comprimentos de onda.

Após a composição do NDVI, fez-se o processo de classificação de seus valores, conforme os limiares propostos por Demarchi et al. (2011) Gandhi et al. (2015), ajustados a partir do comportamento médio dos valores de NDVI, coletados em áreas de interesse com presença de água, e solo exposto. Nas classes de macrófitas flutuante e emersa foram atribuídos os limiares de NDVI dos estudos supracitado, considerando-se as semelhanças entre os tipos de cobertura vegetal utilizados por Demarchi et al. (2011) e Gandhi et al. (2015), com o comportamento esperado para as áreas de macrófitas emersa (vegetação densa) e flutuante (vegetação menos densa).

Nesse contexto foram aplicados os seguintes limiares no mapeamento das macrófitas: Água = $NDVI < 0,1$; Solo Exposto = $0,10 < NDVI > 0,20$; Macrófitas M (com maior representatividade de macrófitas flutuantes com valores de NDVI médios) = $0,20 < NDVI > 0,75$; Macrófitas A (com maior representatividade das macrófitas emersas, com altos valores de NDVI, vegetação mais densa) = $NDVI > 0,75$. Visando a redução de pixels isolados, e consequente suavização das imagens, os dados resultantes da classificação foram submetidos a uma filtragem. Ressalta-se ainda que as classes propostas foram atribuídas com base na visita a campo realizada na data de 28/09/2016 na qual os pixels da imagem representativos da classe de Macrófitas M continham maior participação das espécies de macrófitas flutuantes como a *Pistia stratiotes* e algumas espécies de *Salvinia*. Já na classe Macrófitas A, a representatividade era de espécies emersas como a *Urochloa arrecta* e *Hymenachne Amplexicaule*.

3. Resultados e Discussão

Mediante consulta realizada no site da USGS foram adquiridas imagens nas datas de 05/04/16, 28/09/16 e 30/10/16 representativa da época de outono e primavera. Sobre as quais foi aplicado os seguintes limiares para identificação das macrófitas. Na **Tabela 1** são apresentadas as áreas de ocorrência de macrófitas aquáticas no reservatório de ITAIPU. Estes resultados mostraram uma redução de 8,5 km² e 4,49 km² nas áreas de ocorrência das macrófitas M e A, respectivamente, entre as imagens representativas do outono e final da primavera. Destaca-se ainda, uma redução de 11,96 km² nas áreas de macrófitas M entre o meio e fim da primavera, fato que pode estar diretamente relacionado ao regime hidrológico do reservatório.

Tabela 1 – Variação das áreas de ocorrência das macrófitas

Data das imagens	05/04/2016	28/09/2016	30/10/2016
Classes	Área em km ²		
Água	1.268	1.268	1.281
Solo Exposto	0,57	0,56	0,61
Macrófita M	21,089	24,52	12,56
Macrófita A	6,83	3,74	2,34

Os resultados apresentam semelhanças com os estudos de Oyama et al. (2015) e Villa et al. (2015), no que tange a eficácia no mapeamento de macrófitas aquáticas com o uso de índices de vegetação, advindos de imagens Landsat. Inclusive Villa et al. (2015), citam coeficientes Kappa de 0,76 no ambiente super eutrofizado do lago Teihu na China; 0,88 nos pântanos de Kis-Balaton na Hungria onde o ambiente é eutrófico; 0,90 no lago Traismeno, quarto maior lago da Itália com profundidade máxima de 6 m com ambiente mesoeutrófico; 0,91 nos sistemas lacustres de Mantua no norte da Itália, cujo ambiente é hipereutrófico. Na região de estudo foi atingido um índice Kappa 0,73 e índice de exatidão global de 0,87, onde o Estado Trófico é mesotrófico nas zonas fluvial e de transição e oligotrófico para a zona lacustre (Ribeiro et al., 2011).

A **Figura 2** apresenta os resultados do mapeamento aplicado no reservatório de ITAIPU na qual podem ser observadas oscilações entre os períodos. Visualmente, pode-se ressaltar ainda, a presença da macrófita aquática com maior ocorrência no alto curso do corpo do reservatório, no lado Brasileiro. No entanto, o motivo para tal ocorrência deve ser melhor estudado em trabalhos futuros que investiguem, complementarmente, o uso do solo e seu tipo de manejo.

4. Conclusões

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto como uma ferramenta auxiliar no gerenciamento ambiental de reservatórios brasileiros ainda é incipiente. Desse modo, os resultados obtidos mediante a metodologia aplicada nesse trabalho mostram que em estudos semelhantes, a técnica é eficaz e promissora. Adicionalmente, informações sobre a qualidade, níveis da água e uso do solo das regiões vizinhas, podem detalhar melhor a dinâmica e ocorrência de proliferação excessiva dessas comunidades aquáticas. Consequentemente, informações valiosas para o desenvolvimento de planos ambientais em Bacias Hidrográficas.

Durante o período estudado, a classe macrófitas M apresentou maior oscilação em sua área de ocorrência, nas quais foi contatado aumento da imagem de fim do inverno e meio da primavera, seguida de redução na imagem do final dessa mesma estação. O contrário foi observado na classe macrófita A, a qual reduziu gradativamente no decorrer do período estudado.

Indubitavelmente, os avanços são constantes na área do sensoriamento remoto, especialmente no aperfeiçoamento dos sensores e suas resoluções. Certamente, também teremos importantes progressos nos mapeamentos que envolvam o monitoramento de áreas úmidas e usinas hidrelétricas. Logo, a distinção proeminente entre as espécies de macrófitas presentes no local será apenas uma questão de tempo.

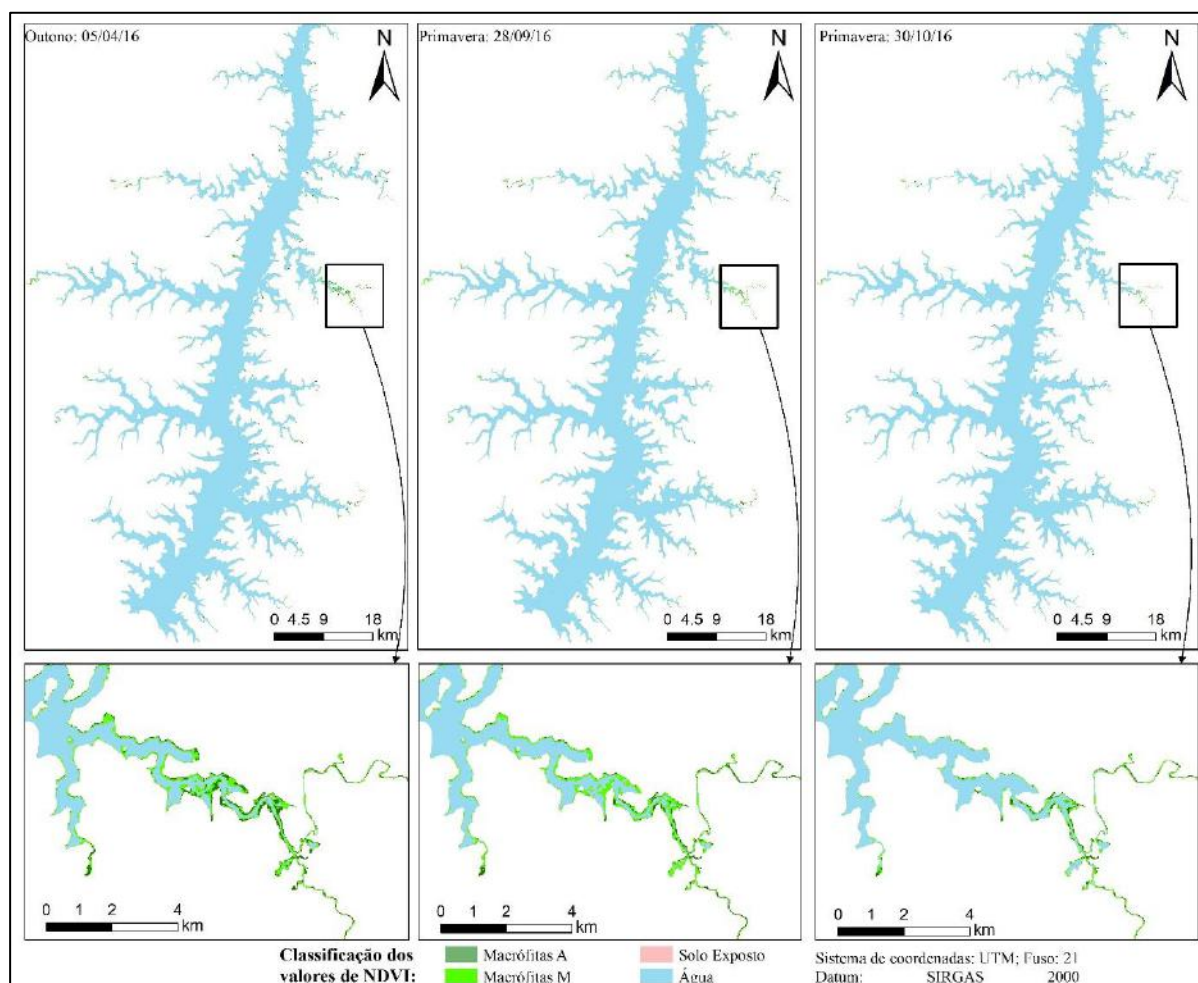


Figura 2 – Espacialização das áreas de ocorrência das macrófitas aquáticas no reservatório de ITAIPU. Para melhor visualização está em destaque uma parte do compartimento aquático do Rio São Francisco Falso.

Agradecimentos: Os autores agradecem a ITAIPU Binacional e ao CNPq/CAPES pelo fomento ao desenvolvimento desta pesquisa.

5. Referências

- Chuvieco, E.S. Tratamiento digital de imágenes: II. generación de información temática. In: **Fundamentos de Teledetección espacial 3º edición revisada**. Espanha, Madrid: RIALP, 1996. pp.319–464.
- Costa, M.P.F.; Ahern, F.J., Novo, E.M.L.M., Pietsch, R.W. e Noernberg, M.A. Efeitos dos dados de multipolarização SAR-C aero-transportado na separabilidade do retroespalhamento de plantas aquáticas do reservatório de Tucuruí – Amazônia. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8.**, 1996, Salvador, Brasil. **Anais...** São José dos campos: INPE, 1996. p.107–113.
- Demarchi, J.C.; Piroli, E.L. e Zimback, C.R.L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação ndvi e savi no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens LANDSAT-5. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, 2011. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/17416>>. Acesso em: 30 Jan. 2018.
- Gallardo, A. L. C. F. et al. A avaliação de impactos cumulativos no planejamento ambiental de hidrelétricas na bacia do rio Teles Pires (região amazônica). **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 43, 2017. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/made/article/view/53818>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

- Gandhi, G.M.; Parthiban, S.; Thummalu, N. e Christy, A. Ndv: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. **Procedia Computer Science**, v. 57, 2015, p.1199–1210. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050915019444>>. Acesso em: 4 Jan. 2018].
- Gastal Jr, C.V. de S.; Irgang, B.E. e Moreira, C. Problemas com infestação de macrófitas aquáticas na área de influência da usina hidrelétrica de itá. **ACTA SCIENTIAE**, v. 5, n. 1, 2003. Disponível em: <<http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/147/137>>. Acesso em: 8 Feb. 2018.
- Instituto Agrônômico do Paraná, 2016. Cartas Climáticas do Paraná. IAPAR. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 3 Feb. 2018.
- ITAIPU, 2017. Energia. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/capa-energia>>. Acesso em: 5 Dec. 2017.
- Mesquita, F. de O.; Alves, A. de S.; Malheiros, S.M.M.; Silva, P.C.M. da, Santos, W. de O. e Batista, R.O. Uso do sensoriamento remoto para avaliação da distribuição espacial e quantificação de Macrófitas na barragem Umari – Upanema, RN. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, 2013, p.102–109. Disponível em: <<http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/255/pdf>>. Acesso em: 2 Feb. 2018.
- Michelan, T. S.; Dainez Filho, M. S.; Thomaz, S. M. Aquatic macrophyte mats as dispersers of one invasive plant species. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 1, 2017, p. 169–171.
- Oyama, Y.; Matsushita, B. e Fukushima, T. Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, 2015, p.35–47. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425714002302>>. Acesso em: 30 Jan. 2018.
- Pompêo, M. O Controle da Flora e Fauna Aquáticas pela Resolução CONAMA 467: Considerações Sobre a Normativa Brasileira. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 33, 2017, p. 24-35.
- Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E.; Kuplich, T.M. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. 2. ed. atualizada e ampliada ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, 160 p.
- Rosa, C.N. da.; Tassi, R.; Picilli, D.G.A.; Pereira Filho, W.; Favaretto, J.R. e Fontoura, J.R. Identificação do padrão de distribuição de macrófitas aquáticas emergentes no banhado do taim-rs-brasil, frente a diferentes condições hidrológicas. **Geociências**, v. 36, n. 4, 2017, p.771–784. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/12024>>. Acesso em: 01 Mar. 2018.
- Ribeiro, F.R.A.; Petrere, Jr.M.; Benassi, S.F. e Pereira, J.M.A. Itaipu reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 4, 2011, p. 889–902. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842011000500010&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 28 jul. 2018.
- Souza Filho, E.E. de. e Fragal, E.H. A influência do nível fluviométrico sobre as variações de área de água e da cobertura vegetal na planície do Alto Rio Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, 2013, p.81–92. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/378/322>>. Acesso em 1 Feb. 2018.
- Tundisi, J. G.; Tundisi, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008
- Thomaz, S.M; Carvalho, P; Mormul, R.P; Ferreira, F.A; Silveira, M.J. e Michelan, T.S. Temporal trends and effects of diversity on occurrence of exotic macrophytes in a large reservoir. **Acta Oecologica**, v. 35, n. 5, 2009, p. 614–620.
- Thomaz, S.M., 2010. **Estudo das macrófitas aquáticas no reservatório de Itaipu Binacional** - Relatório Final 7a etapa. Universidade Estadual de Maringá/ Núcleo de pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquacultura. Maringá: UEM.
- Villa, P.; Bresciani, M.; Bolpagni, R.; Pinardi, M. e Giardino, C. A rule-based approach for mapping macrophyte communities using multi-temporal aquatic vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 171, 2015, p.218–233. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425715301711>>. Acesso em: 30 Jan. 2018.