



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

SPACE-TEMPORAL ANALYSIS OF MACROPHYTES GROWTH AND ITS APPLICATION IN MONITORING WATER QUALITY

Bruno Aparecido de Almeida Lima¹, Matheus Pereira Libório², Renato Moreira Hadad³

RESUMO

As macrófitas apresentam elevada capacidade de assimilar e estocar nutrientes, auxiliando na recuperação de rios poluídos. Estes fatores tornam as macrófitas importantes do ponto de vista econômico e ecológico. Entretanto, o acúmulo de macrófitas pode representar risco para os recursos hídricos. Por isso, o ambiente de desenvolvimento de macrófitas deve ser monitorado, pois sua elevada concentração pode prejudicar o ecossistema aquático, a biodiversidade, a navegação e o abastecimento de água. Este artigo tem como objetivo identificar locais com presença de macrófitas, seus pontos de fixação e de acúmulo, analisar mudanças temporais e assim oferecer informações para sua remoção ou contenção. Para isso, técnicas de interpretação de imagens de alta resolução são aplicadas, utilizando imagens provenientes do sensor GeoEye-1, satélite que produz imagens de alta resolução (1,65m multiespectral e 0,41m pancromático). Os resultados mostram que com o aumento de 8% na população do município sob análise e, consequentemente, o aumento da concentração de poluentes na água (27% fosforo e 60% nitrogênio), a área do rio com concentração de macrófitas aumentou 305%. Com isso, evidenciamos a existência de correlação entre a concentração de macrófitas com variáveis de qualidade da água, e estas, à ação humana. Por meio da replicação do método para outros locais, a pesquisa contribui para estudos voltados à questão de qualidade da água com o objetivo de identificar e monitorar quais nutrientes estão sendo encontrados em determinada área e suas possíveis fontes geradoras.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Imagens de Satélite; Alta Resolução; Correlação Espacial.

ABSTRACT

Macrophytes have a high capacity of assimilating and storing nutrients, helping in the recovery of polluted rivers. These factors make macrophytes important both economically and ecologically. However, the macrophytes accumulation may represent a risk to water resources. Therefore, it becomes relevant to monitor the macrophyte development environment because its high concentration can impact the aquatic ecosystem, biodiversity, navigation and water supply. This article aims to identify locations with presence of macrophytes, their fixation and accumulation points, analyzing temporal changes and thus providing information for their removal or containment. To reach this goal, we applied high-resolution imaging techniques, and images from the GeoEye-1 sensor, a satellite that produces high-resolution images (1.65m multispectral and 0.41m panchromatic). The results show that, with the increase of 8% in the population of the municipality under analysis and consequently the increase in the pollutants concentration in the water (27% phosphorus and 60% nitrogen), the area of the river with macrophytes concentration increased by 305%. With this, we evidenced existence of correlation between macrophytes concentration with water quality variables, and these, to human action. Through the replication of the method to other sites, the research contributes to studies focused on the question of water quality to identify and monitor which nutrients are being found in an area and its possible generating sources.

Key-words: Geoprocessing; Satellite Image; High-Resolution; Spatial Correlation.

Recebido em: 23/01/2017

Aceito em: 31/07/2018

¹ Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte/MG, e-mail: br.lima07@hotmail.com

² Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte/MG, e-mail: m4th32s@gmail.com

³ Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte/MG, e-mail: rhadad@pucminas.br

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

1. INTRODUÇÃO

A análise espacial trouxe uma nova compreensão da distribuição, correlação e predição dos fenômenos naturais (CÂMARA et al., 2004) permitindo estabelecer correlações espaço temporais entre fenômenos (LEITE; GUASSELLI, 2013), na busca de novas explicações por meio da observação, análise e classificação de similaridades e proximidade geográficas (CAVATI; FERNANDEZ, 2008; ABREU; BARROSO, 2003).

Com a utilização do sensoriamento remoto procuramos analisar e compreender o comportamento espacial das macrófitas e estimar sua concentração. As macrófitas são vegetais flutuantes ou submersos presentes nos corpos d'água, por diversos meses ou anos (MITCHELL, 1974; THOMAZ, 2002). Esses vegetais têm um papel importante para os ecossistemas aquáticos (LOLIS et al., 2009). Porém, as ações do homem vêm elevando a concentração de macrófitas e gerando problemas. Por exemplo, instabilidade de navegação pelas embarcações, proliferação de ratos e insetos e outros vetores de doenças pelo acúmulo de lixo e o comprometimento no fornecimento de água para sociedade pela obstrução de estruturas de captação de água (TUNDISI et al., 2006). Esses exemplos são situações em que a Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) afirma ser necessária a identificação e a remoção dos bancos de concentração macrófitas (AGEVAP, 2007).

No método tradicional, a identificação dos bancos de macrófitas é feita por meio da coleta de amostras em campo (VIRGILIO et al., 2013), utilizando dispositivos como o global position system (GPS) de alta precisão, ou pela quantidade de macrófitas ingeridas por peixes capturados em rios (MAGALHÃES et al., 2016; ROSA, 2001). Esses métodos permitem identificar áreas com concentração de macrófitas de modo eficaz, porém exigem visitas periódicas em campo para se estabelecer uma relação espaço-temporal, ação geralmente onerosa e demorada. De modo contrário, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto

na interpretação de imagens armazenadas em bancos de dados tem sido utilizada para observar e analisar padrões e evoluções temporais (CUNHA-LIGNON; KAMPEL, 2011), para identificar e estimar a concentração de macrófitas (SILVA et al., 2008) e na análise da sua evolução espaço temporal (CAVATI; FERNANDEZ, 2008; LEITE; GUASSELLI, 2013).

Por isso, o uso do geoprocessamento, bem como suas técnicas de análise espacial, tem o potencial para identificar e explicar a complexa dinâmica das macrófitas por meio da espacialização de informações da superfície, num ambiente geográfico formado por geo-objetos (GALO et al., 2002). O geoprocessamento facilita a visualização, integração e interpretação de fenômenos geográficos, com muitas variáveis ou dados, reduzindo a subjetividade das análises e possibilitando uma melhor explicação dos resultados na forma de mapas (NAGENDRA et al., 2013).

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia capaz de identificar e analisar mudanças multitemporais em locais com presença de macrófitas, seus pontos de fixação e de acúmulo, correlacionando-as com informações sobre a qualidade da água destes locais. Com isso, procura-se oferecer informações para a remoção ou contenção de macrófitas, bem como para monitorar a qualidade da água do rio sob análise (CARBIENER et al., 1990). Considerando que o monitoramento da água envolve a coleta de dados primários, geralmente onerosa ou difícil de se realizar, a aplicação das técnicas de interpretação de imagens de alta resolução, provenientes do sensor GeoEye-1, demonstrada nesta pesquisa, surge como uma alternativa para ampliar e melhorar o monitoramento da qualidade da água nos rios de modo geral.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área escolhida para o monitoramento da vegetação aquática é o Rio Paraíba do Sul, município de São José dos Campos, no estado de

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

São Paulo. A localização do Rio Paraíba do Sul no município de São José dos Campos é representada na Figura 1.

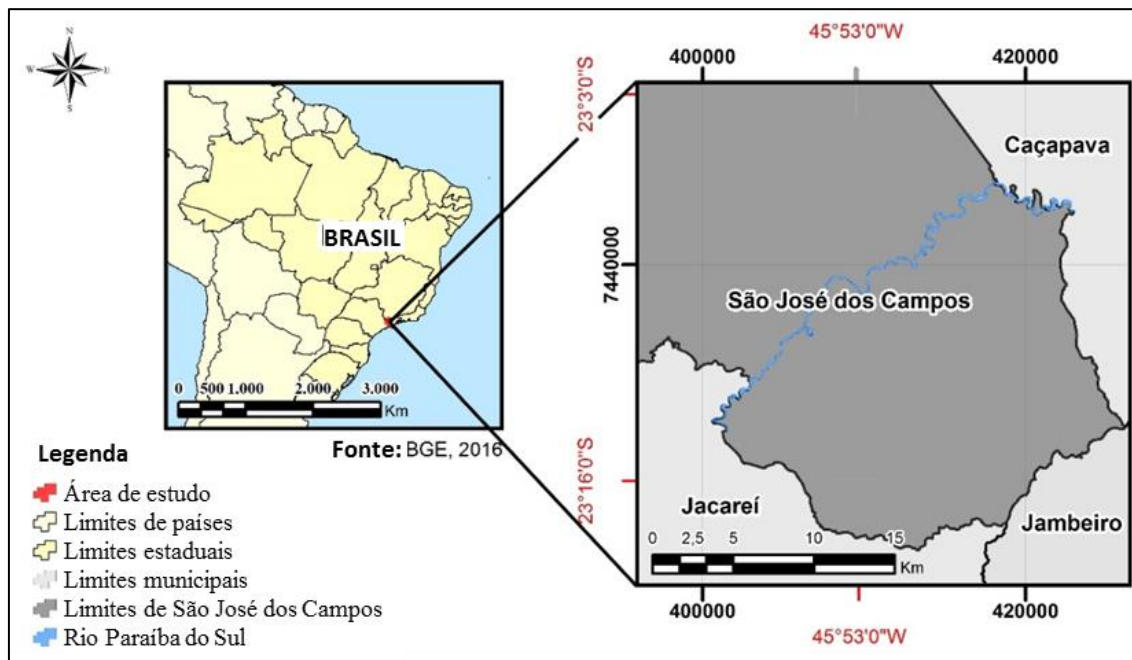


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Os autores (2017).

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas imagens de satélite e dados dos trechos do Rio Paraíba do Sul, dentro dos limites do município de São José dos Campos – SP, que contém áreas com característica de macrófitas.

O trecho do rio que percorre o município é margeado por áreas urbanas (16%) e rurais (84%) (IBGE, 2014a). As áreas urbanas e rurais que margeiam o rio Paraíba do Sul podem ser visualizadas na Figura 2.

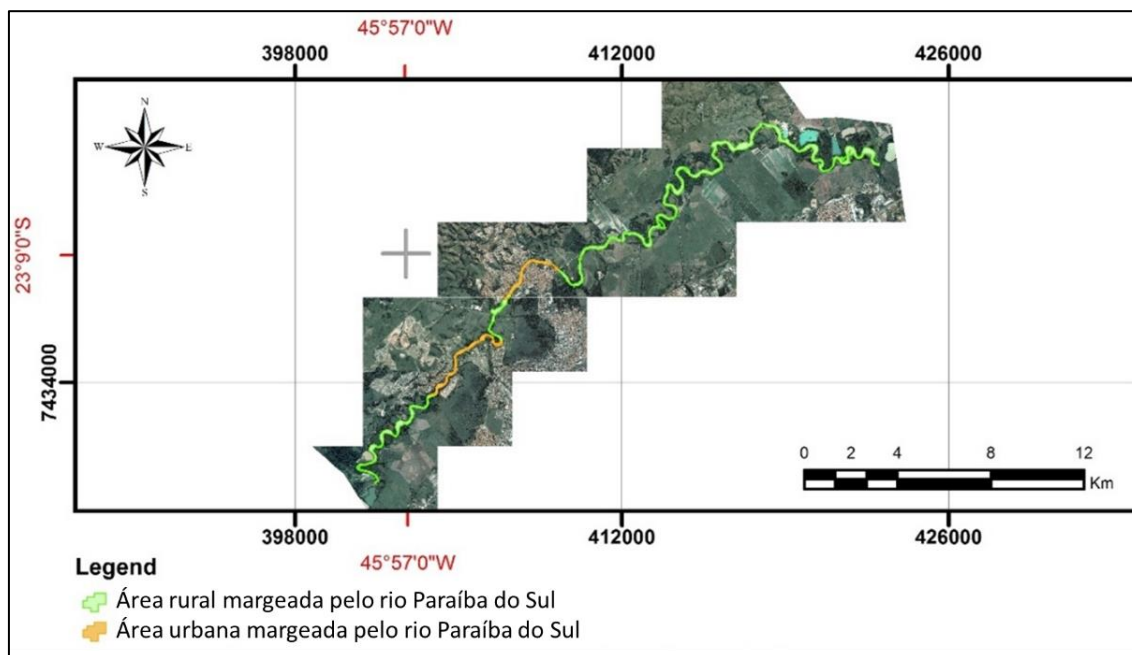


Figura 2 - Ocupação das margens do Rio Paraíba do Sul. Fonte: Os autores (2017).

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Os mapas da pesquisa foram gerados no software ArcGIS 10.1 (LAW; COLLINS, 2013). A manipulação das imagens e os processos voltados para análise de dados matriciais foram executados pelo software ENVI 5.0 (CANTY, 2014).

A análise do monitoramento da qualidade da água foi produzida com os dados disponibilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). No relatório anual de qualidade das águas superficiais (SÃO PAULO, 2010, 2014) são apresentados dados

primários obtidos nos pontos de coleta. Ao longo do trecho estudado do Rio Paraíba do Sul se encontram doze pontos de coleta. No estudo, utilizamos quatro pontos de coleta: dois no município de São José dos Campos, um no município Jacareí (montante do rio) e um no município Caçapava (jusante do rio).

O quadro 1 demonstra os pontos de coleta presentes nos municípios conforme descrito acima, assim como suas respectivas coordenadas de latitude e longitude.

Ponto de Coleta	Município	Latitude	Longitude
PARB 02200	Jacareí	23°18'48"S	45°58'20"W
PARB 02300	São José dos Campos	23°11'42"S	45°55'48"W
PARB 02310		23°11'16"S	45°55'04"W
PARB 02400	Caçapava	23°04'42"S	45°42'39"W

Quadro 1 - Pontos de Coleta. Fonte: Os autores (2017).

O desenvolvimento da pesquisa seguiu as seguintes etapas: preparação do ambiente de desenvolvimento, geoprocessamento das imagens e diagnóstico do cenário.

A preparação do ambiente de desenvolvimento envolveu as seguintes ações: definição dos parâmetros cartográficos; aquisição e tratamento das imagens de satélite; e criação do banco de dados. Para o geoprocessamento das imagens e dos dados vetoriais foi realizada: vetorização da bacia do Rio Paraíba do Sul; vetorização dos locais com característica de macrófitas; e a validação

geométrica e topológica dos dados vetoriais (WADEMBERE; OGAO, 2014). Para o diagnóstico do cenário (comparação e interpretação dos dados gerados) foi realizada: comparação temporal e análise de dados do monitoramento da qualidade da água e a representações cartográficas.

Os parâmetros cartográficos básicos para geração dos mapas, tais como bandas espectrais utilizadas, definição da escala de trabalho e sistema de coordenadas, podem ser visualizados no Quadro 2.

Bandas espectrais	O sensor GeoEye-1 apresenta as seguintes bandas: Pancromático e Multiespectral: Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho próximo, com destaque para a faixa espectral do verde (<i>Green</i>).
Escala de trabalho	A escala de trabalho utilizada foi entre 1:500 e 1:1500, sendo alterada de acordo com a necessidade de detalhamento do vetor, permitindo melhor visualização dos objetos em estudo no caso as macrófitas.
Sistema de coordenadas	O sistema de coordenadas adotado foi o <i>datum South American</i> (SAD69), a projeção <i>Universal Transverse Mercator</i> (UTM) e o fuso 23 Sul (23S).

Quadro 2 - Parâmetros Cartográficos. Fonte: Os autores (2017).

As imagens de satélite foram, do sensor multiespectral (1,65m) e pancromático (0,41 m) do GeoEye-1, disponibilizadas pelo departamento de sensoriamento remoto, da

prefeitura de São José dos Campos – SP. O Quadro 3 detalha as informações das imagens utilizadas.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Data de aquisição das imagens	As imagens de 2010 foram obtidas no dia 12/02/2010, já as imagens de 2014 foram obtidas nos respectivos dias 30/04/2014 e 17/07/2014.
Resolução espacial	Imagem fusionada colorida (pancromática – 0,41m e multiespectral – 1,65m) de 50 centímetros verdadeiros.
Resolução radiométrica	11 bits por pixels, ou seja, 2.048 níveis de cinza por pixel.
Resolução temporal	Aproximadamente 1539 dias.

Quadro 3 - Parâmetros Cartográficos. Fonte: Os autores (2017).

Em seguida, foi realizado o tratamento das imagens, gerando um mosaico georreferenciado das imagens da área de estudo. Para isto, foi utilizada a ferramenta *Mosaic Tool* (GUIDE, 2008). A ferramenta *Mosaic Tool* utiliza a área de superposição geográfica entre as duas imagens e aplica a curva de histograma da região de uma imagem

para outra, ou seja, uma imagem gera o histograma e a outra processa o histograma, salvando a imagem ajustada, tornando desnecessários ajustes manuais (CANTY, 2014). As imagens georreferenciadas da área de estudo e seus respectivos mosaicos para os anos de 2010 e 2014 são apresentadas na Figura 3.



Figura 3 - Imagens e mosaico das imagens (GeoEye-1). Fonte: Os autores (2017).

Para gerenciar e armazenar dados vetoriais gerados no passo anterior, bem como identificar e validar a geometria e a topologia dos dados, foi estruturado e criado um banco Geo Data Base (GDB).

Para a vetorização da bacia do Rio Paraíba do Sul, foram extraídos os dados vetoriais no entorno do rio que pertencem ao município de São José dos Campos. Os vetores extraídos foram analisados para identificar área com presença de macrófitas. Para isto, foram utilizadas técnicas de interpretação de imagens (SINGH, 1989), observando aspectos como tonalidade, textura, padrão e contexto, que são necessários para identificar a presença de macrófitas, pasto, água e floresta (SILVA et al., 2008).

No processo de validação geométrica se verifica e se remove do GDB polígonos em duplicidade, pela regra *must not overlap*

(WADEMBERE; OGAO, 2014). Estes polígonos são então transformados em linhas, utilizando a ferramenta *feature to line* (LAW; COLLINS, 2013). Para a validação topológica, as linhas criadas seguem as regras *must not intersect* or *touch* interior e *must not intersect*. Com isto, verificam-se nos desenhos dos polígonos os elementos complexos (ex. intersecções) para correção de erros de imperfeição de linha e de duplicidade do polígono.

Na validação geométrica, verifica-se também os polígonos com geometria multiparte. Polígonos multiparte são polígonos associados a outros polígonos com geometrias distintas e que deveriam ser selecionados separadamente. Para esta correção foi aplicada a ferramenta *multi part to single part*.

Para estabelecer o controle sobre os dados vetoriais produzidos durante a vetorização foi realizada a validação topológica

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

dos vetores. Para isto, foram criadas as regras topológicas *must not overlap* e *must not have gaps*. Enquanto a primeira regra verifica a sobreposições entre polígonos, a segunda regra verifica áreas vazias intra e entre polígonos.

Outra validação foi a verificação das coincidências entre os vértices do vetor macrófitas e limites do rio. Para corrigir este erro, o vetor do polígono limite do rio foi transformado em linha pela ferramenta *feature to line* (LAW; COLLINS, 2013). Assim, uma regra topológica compara os vértices do vetor de geometria linha com os vértices do vetor de geometria polígono, sendo os erros evidenciados por intervalos sem coincidência de vetores. A correção do erro é realizada alterando o vetor de macrófita para a linha de limite do rio.

Para identificar os pontos geográficos da comparação temporal, primeiramente, aplicou-se a ferramenta *feature to point* com a opção *inside*, transformando cada polígono de macrófitas em um ponto, no centro de cada polígono, com seus respectivos dados. Assim, foi identificada a região com maior concentração de macrófitas ao longo do rio nos anos de 2010

e 2014, sendo seus dados extraídos utilizando utiliza a ferramenta clip.

Para quantificar a área dos polígonos associados às macrófitas utilizou-se o método de chaves. Este método tem como objetivo identificar feições e determinar seu significado dentro do contexto do estudo, estabelecendo relações entre os elementos de interpretação de imagem (tonalidade, textura, padrão e contexto). Com base nestes elementos, elaborou-se a chave de interpretação para identificação dos polígonos de concentração de macrófitas, que tiveram suas áreas somadas.

Por fim, foram elaborados os mapas demonstrando os resultados da evolução espaço-temporal da presença de macrófitas na região estudada nos anos de 2010 e 2014.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o geoprocessamento das imagens, os elementos na imagem ao longo do rio foram interpretados e vetorizados, sendo as macrófitas o Ponto A, o pasto o Ponto B, a água o Ponto C e a floresta o Ponto D, conforme Figura 4.

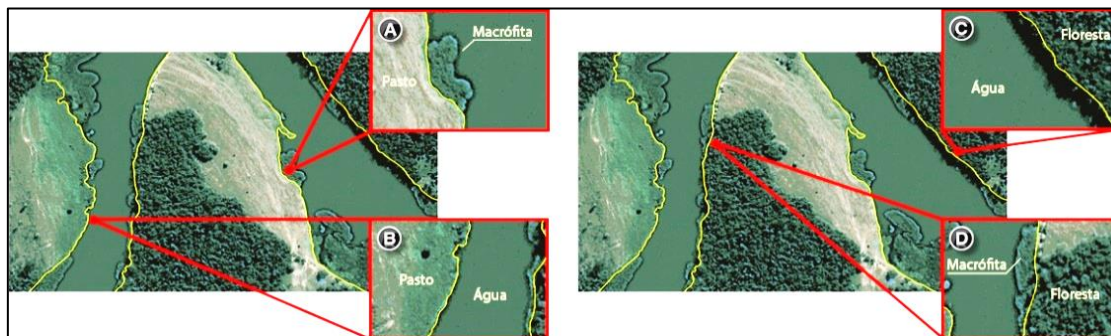


Figura 4 - Elementos de interpretação para vetorização do rio. Fonte: Os autores (2017).

Na identificação das macrófitas por padrão e tonalidade, ilustrada na Figura 5, observa-se que: os locais com característica de macrófita apresentam um padrão de altura mais baixo do que as demais vegetações da imagem,

pois são plantas com porte pequeno; e as macrófitas apresentam tonalidade verde mais clara do que nos locais de floresta, e mais escura do que nos locais de pasto.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

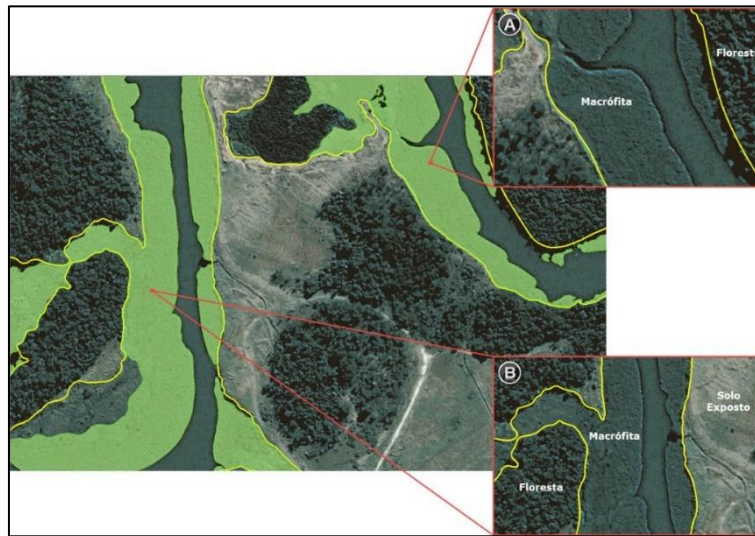


Figura 5 - Elementos de interpretação para vetorização das macrófitas. Fonte: Os autores (2017).

Na identificação das macrófitas por textura e contexto, ilustrada na Figura 6, observa-se: que os locais de macrófita apresentam uma textura mais lisa, e locais de floresta apresentam uma textura mais rugosa; e,

contextualmente, que as macrófitas se localizam principalmente nas margens dos rios onde se fixam e, a partir deste ponto, se estendem para dentro do rio.

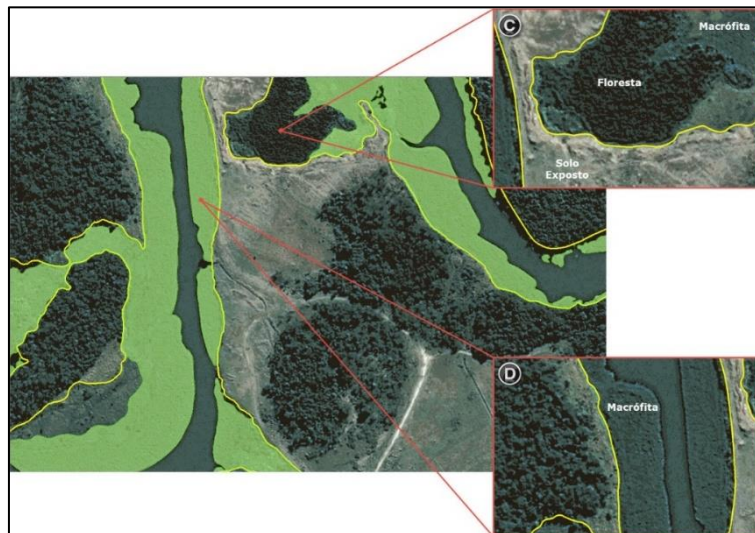


Figura 6 - Elementos de interpretação para vetorização das macrófitas. Fonte: Os autores (2017).

Ao analisar as Figuras 5 e 6, pode-se identificar a concentração de macrófitas quando há: uma tonalidade de verde mais clara que da floresta e mais escura que de pasto; uma textura mais lisa; um padrão de altura mais baixo em relação às florestas e ao pasto; e contextualmente, a posição próxima às margens dos rios, onde se fixam e, a partir daí, se estendem para dentro do rio.

Ao somar as áreas dos polígonos identificadas como vegetação de macrófitas, observamos que, em 2010, a cobertura de macrófitas (0,572 km²) no Rio Paraíba do Sul (4,631 km²) atingiu 12,35% do rio. A Figura 7 ilustra a concentração de macrófitas ao longo do Rio Paraíba do Sul no ano de 2010.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

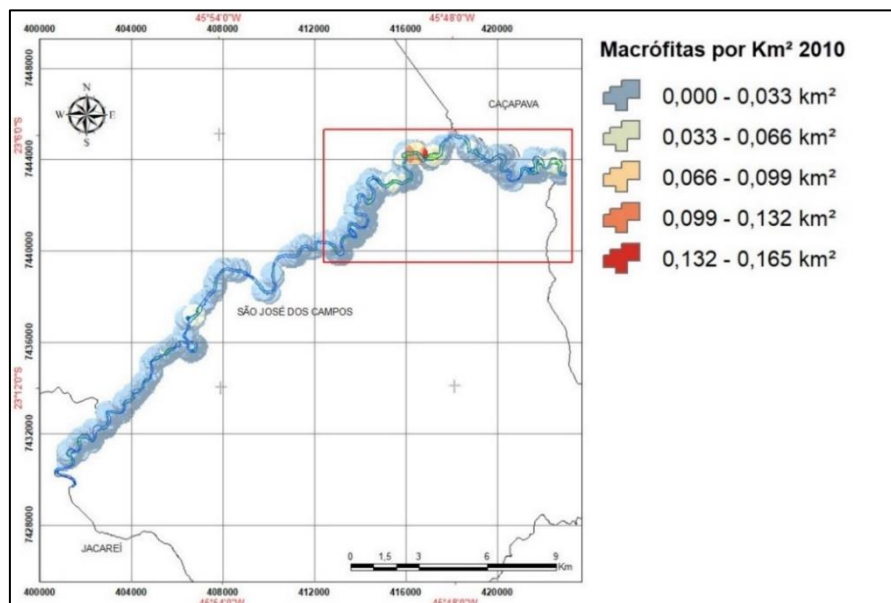


Figura 7 - Local com Presença de Macrófitas por km² no Rio Paraíba do Sul (2010). Fonte: Os autores (2017).

Em 2014, a área total calculada do rio foi de 4,557 km² das quais 1,797 km² cobertas por macrófitas, ou seja, 39,44% da área do rio. O crescimento populacional no município e o aumento de resíduos gerados pela população, aliados ao descarte incorreto de lixo nos corpos d'água, que aumentam a quantidade de nutrientes, provocou o aumento de 74% da área coberta por macrófitas no percurso do rio. Destaca-se que esta concentração ocorreu,

principalmente, nos locais à jusante, locais onde há o carregamento de nutrientes oriundos das áreas urbanas.

O acúmulo de macrófitas em locais à jusante do rio pode ser constatado na Figura 8, onde os pontos com maior acúmulo de macrófitas situam-se em locais próximos ao município de Caçapava (área delimitada em vermelho).

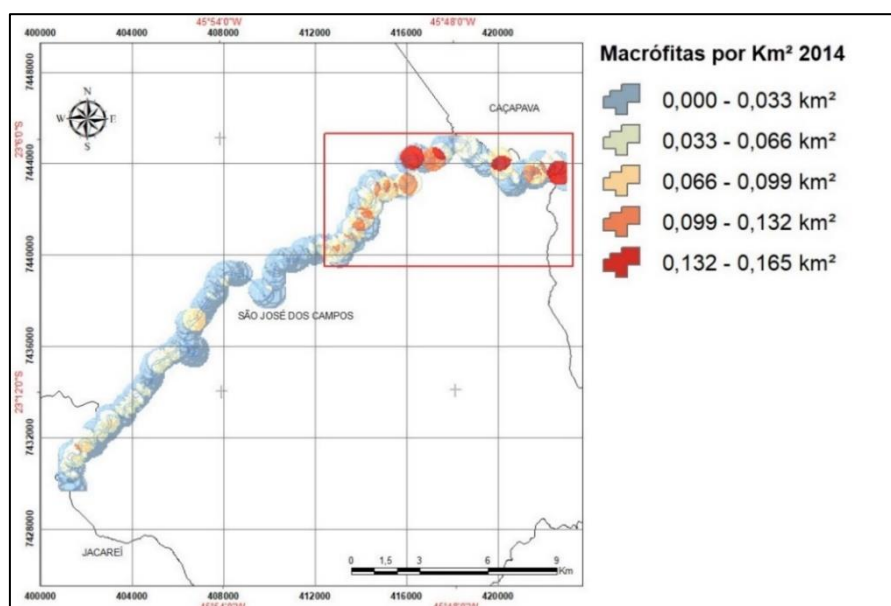


Figura 8-Local com Presença de Macrófitas por km² no Rio Paraíba do Sul (2014). Fonte: Os autores (2017)

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Ao analisarmos as Figuras 7 e 8, constatamos que o número de pontos de concentração de macrófitas acima de 0,033km² aumentou sete vezes no intervalo de 4 anos. Além disso, surgiu neste período áreas com concentrações de macrófitas que não haviam sido registradas anteriormente. No período analisado surgiram, além do aumento do número de áreas com concentração de

macrófitas entre 0,033 km² e 0,066 km², áreas com uma concentração de macrófitas até então não identificada. Por exemplo, em dois locais registrou-se uma concentração de macrófitas entre 0,132 km² e 0,165 km².

O quadro 4 demonstra a metragem do rio e das macrófitas dentro da área de maior acúmulo de macrófitas (São José dos Campos) nos anos de 2010 e 2014.

Anos	Área do Rio (Km ²)	Área de Macrófitas (Km ²)
2010	2,473	0,397
2014	2,442	1,213

Quadro 4 - Fração de Amostra no Rio Paraíba do Sul. Fonte: Os autores (2017).

Por meio das informações apresentadas na Tabela 2, podemos observar que houve o aumento de 49 % na área coberta por macrófitas. Os resultados demonstram também o aumento de 305% de macrófitas próximo ao município de São José dos Campos,

cidade que aumentou sua população em 8,11% segundo estimativas do IBGE (2014b). Adicionalmente, dados apresentados pela CETESB (SÃO PAULO, 2010, 2014) e expostos no quadro 5 comprovam o aumento de fósforo nestes trechos do rio entre 2010.

Ponto de Coleta	Município	2010	2014	Aumento (%)
PARB 02200	Jacareí	0,033	0,030	-9,09
PARB 02300	São José dos Campos	0,047	0,060	27,7
PARB 02310		0,047	0,060	27,7
PARB 02400	Caçapava	0,077	0,080	3,9

Quadro 5 - Concentração Média de Fósforo (mg/l). Fonte: Relatório de qualidade das águas superficiais (SÃO PAULO, 2010, 2014).

O quadro 6 demonstra a porcentagem de aumento na quantidade de nitrogênio amoniacal coletado pelos pontos de amostra no

trecho do Rio Paraíba do Sul dentro dos limites do município de São José dos Campos – SP, para os anos de 2010 e 2014.

Ponto de coleta	Município	Nitrogênio Amoniacal 2010	Nitrogênio Amoniacal 2014	% Aumento Nitrogênio Amoniacal
PARB 02200	Jacareí	0,17	0,43	60,47
PARB 02300	São José dos Campos	0,17	0,43	60,47
PARB 02310		0,17	0,43	60,47
PARB 02400	Caçapava	0,19	0,43	50,81

Quadro 6 - Concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/l). Fonte: Relatório de qualidade das águas superficiais (SÃO PAULO, 2010, 2014).

Como a presença de macrófitas está fortemente relacionada às variáveis de qualidade da água, e estas à ação humana ou a causas naturais, o aumento de fósforo (27%) e nitrogênio (60%), se refletiu em um crescimento de 305% na concentração de macrófitas em São

José dos Campos. Dessa forma, ao se confirmar a correlação espacial entre a concentração de fósforo/nitrogênio com a concentração de macrófitas, o monitoramento de macrófitas pode ser utilizado para, indiretamente, avaliar a qualidade da água dos rios.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Dentre as vantagens do monitoramento de macrófitas por sensoriamento remoto, podemos destacar o tamanho da área monitorada, o custo da coleta de dados e a possibilidade de associações com outros dados geográficos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma metodologia baseada em técnicas de interpretação de imagens de alta resolução (sensor GeoEye-1), objetivando identificar e analisar mudanças multitemporais em locais com presença de macrófitas, seus pontos de fixação e de acúmulo e correlacionar estes resultados com indicadores de qualidade da água, gerando um bioindicador para o monitoramento de rios (CARBIENER et al., 1990).

As análises dos locais com grande quantidade de macrófitas evidenciaram a necessidade da tomada de ação pública para monitoramento da qualidade da água do Rio Paraíba do Sul, nos pontos com maior índice de macrófitas, assim como a conscientização da população sobre o descarte adequado de lixo.

A elaboração dos mapas de monitoramento de macrófitas por meio de sensoriamento remoto pode contribuir para o acompanhamento do avanço da vegetação aquática não somente no percurso do Rio Paraíba do Sul, mas em outros rios. O monitoramento de macrófitas por sensoriamento remoto, pode ser útil, por exemplo, para monitorar locais de difícil acesso para a coleta de dados ou que a coleta de dados é recorrente. Tais monitoramentos podem tanto orientar ações do poder público, quanto reduzir custos de monitoramento da qualidade da água, onde se concentram as macrófitas.

A interpretação dos mapas e valores numéricos a estes associados, corroboram o fato de que o monitoramento da qualidade da água pode ser realizado por meio do sensoriamento remoto, possibilitando valorar e correlacionar tais variáveis com outros variáveis locais como, por exemplo, a presença ou

ausência de estação de tratamento de água e esgoto, educação ambiental da população, entre outros.

O trabalho favorece também futuros estudos voltados à questão de qualidade da água com o objetivo de identificar quais nutrientes estão sendo encontrados nestas áreas e suas possíveis fontes geradoras, que levam ao acúmulo de vegetação aquática (macrófita). A inclusão e análise de imagens e dados de qualidade da água em outros períodos poderia estabelecer correlações mais precisas. Nesta pesquisa os dados disponíveis contemplavam apenas os anos de 2010 e 2014. Correlações mais precisas podem favorecer a replicação da metodologia da pesquisa no monitoramento de outras localidades onde existe a presença de macrófitas.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, João Francisco de; BARROSO, Leônidas Conceição. **Geografia, modelos de análise espacial e GIS**. PUCMinas, 2003.
- AGEVAP - Associação Pró-Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Comitê Médio Paraíba do Sul - **Relatório técnico Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Resende, RJ, 2007, 73 p.
- CANTY, M. J. **Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python**. Crc Press, 2014.
- CARBIENER, R. et al. Aquatic macrophyte communities as bioindicators of eutrophication in calcareous oligosaprobe stream waters

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

(Upper Rhine plain, Alsace). **Vegetatio**, v. 86, n. 1, p. 71-88, 1990.

CAVATI, B.; FERNANDEZ, V. O. Algas periféricas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno – Linhagens, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 439 - 448, 2008.

CUNHA-LIGNON, M.; KAMPEL, M. Análise multitemporal de imagens Landsat para monitoramento de áreas de manguezal: subsídio à gestão costeira do litoral sul do Estado de São Paulo. **Simpósio de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, PR, v. 15, p. 5032 - 5038, 2011.

GALO, M. D. 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.

GUIDE, ENVI User's. ENVI on-line software user's manual. **ITT Visual Information Solutions**, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354990&search=sao-paulo|sao-jose-dos-campos|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em 03 de Mar. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População IBGE 2014**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/no>

ticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf>.

Acesso em 03 de Mar. 2016.

LAW, M.; COLLINS, A. **Getting to know ArcGIS for desktop**. ESRI press, 2013.

LEITE, M. G.; GUASSELLI, L. A. Dinâmica espaço-temporal das macrófitas aquáticas no Banhado Grande, bacia hidrográfica do rio Gravataí, RS. **Para onde?** Porto Alegre, RS, v. 7, n. 1, p. 17 - 24, 2013.

LOLIS, S.F.; SANCHES-MARQUES, Â. M. M.; REIS, S. L. A.; BENEDITO, E. Scientometric analysis of energetic ecology: primary production of aquatic macrophytes. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, PR, v. 31, n. 4, p. 363 - 369, 2009.

MAGALHÃES, E.; YAMAMOTO, K. C.; DOS ANJOS, H. D. B.; DE CASTRO LOEBENS, S.; SOARES, M. G. M. Bancos de macrófitas aquáticas em lago de várzea: alimentação de duas espécies de peixes na região de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 3, n. 1, 2016.

MITCHELL, D. S. **Aquatic vegetation and its use and control**. Unesco, Paris, 1974, 135p.

NAGENDRA, H.; LUCAS, R.; HONRADO, J. P.; JONGMAN, R. H.; TARANTINO, C.; ADAMO, M.; MAIROTA, P. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. **Ecological Indicators**, v. 33, p. 45-59, 2013.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2011.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório técnico Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 2010, 300 p.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório técnico Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 2014, 371 p.

SILVA, T. S.; COSTA, M. P.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M. Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications. **Environmental monitoring and assessment**, v. 140, n. 1-3, p. 131-145, 2008.

SINGH, A. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.

THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 20, p. 21 - 33, 2002.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. **Águas doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**, v. 3, p. 203-240, 2006.

VIRGILIO, L. R.; DA SILVEIRA SUSÇUARANA, M.; RAMALHO, W. P.; AFFONSO, A. G.; ANDERSON, L. O.; BROWN, I. F. Resposta espectral dos índices EVI e NDVI dos bancos de macrófitas em lagos de meandro abandonado na região do Rio

Purus, AM. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3183-3190, 2013.

WADEMBERE, I.; OGAO, P. Validation of GIS Vector Data during Geo-Spatial Alignment. **International Journal of Geoinformatics**, v. 10, n. 4, 2014.