

APLICAÇÃO DO NDWI PARA AVALIAR A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Darllan Collins da Cunha e SILVA¹
José Luiz ALBUQUERQUE FILHO²
Renan Angrizani de OLIVEIRA³
Roberto Wagner LOURENÇO⁴

¹Doutor em Ciências Ambientais e Professor da Universidade de Sorocaba - Uniso, darllanamb@yahoo.com.br

²Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, albuzeu@ipt.br

³Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade de Sorocaba - Uniso, renan_angrizani@hotmail.com

⁴Professor e Pesquisador da UNESP, robertow@sorocaba.unesp.br

Recebido em: 19/03/2016 - Aprovado em: 05/05/2017 - Disponibilizado em: 01/07/2017

RESUMO:

Indicadores ambientais são importantes mecanismos para a obtenção de informações sobre o estado do meio ambiente, em especial da água, que é um dos recursos naturais de maior importância, cuja qualidade é decorrente das ações antrópicas desenvolvidas nas bacias hidrográficas. Portanto, nesse estudo adaptou-se o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) para que o mesmo pudesse refletir a disponibilidade de água para a vegetação presente na Bacia Hidrográfica do Rio Una, utilizando para seu cálculo, bases científicas e técnicas de geoprocessamento. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que a maior concentração de vegetação com estresse hídrico está presente nas áreas urbanas e agrícolas, onde as mesmas têm que competir com as atividades antrópicas por água. De uma maneira geral, os valores de NDWI foram altos, pois todos os valores estão acima de 0,8, indicando que a área de estudo não sofre com escassez hídrica disponível para a vegetação. Esse indicador permite interpretar numericamente a disponibilidade de água para a vegetação na Bacia Hidrográfica do Rio Una, sendo, portanto, uma alternativa rápida, simples e válida para avaliar a sustentabilidade da água, além de poder servir como um instrumento de tomada de decisão para gestores públicos e interessados nessa questão.

Palavras-chave: NDWI. Geoprocessamento. Bacias Hidrográficas. Vegetação. Indicadores Ambientais.

NDWI APPLICATION TO ASSESS WATER AVAILABILITY IN WATERSHED

ABSTRACT:

Environmental indicators are important mechanisms to get information about the state of the environment, in particular water, which is a natural resource of great importance, whose quality it depend of human activities developed in the river watershed. Therefore, this study adapted the Normalized Difference Water Index (NDWI) so that it could reflect the availability of water for the present vegetation in the Una River Watershed, using in your calculation, scientific and technical bases of geoprocessing techniques. From the results, we found that the highest concentration of water stress in the vegetation is present in urban and agricultural areas, where vegetation have to compete with human activities for water availability. In general, the NDWI values were high, since all values are above 0.8, indicating that the study area does not suffer from waterscarcityavailable for vegetation. This indicator allows numerically interpretationofwater availability for vegetation in the Una River Watershed, and thus a fast, simple and valid alternative for assessing the sustainability of the water, and can serve as a decision-making tool for public managers and stakeholders on this issue.

Keywords: NDWI. Geoprocessing. Watershed. Vegetation. Environmental Indicators.

INTRODUÇÃO

Os indicadores e índices ambientais são importantes mecanismos para a comunicação de informações e provisão de bases sólidas sobre o estado da água e sua disponibilidade para a vegetação aos responsáveis por sua gestão, contribuindo para uma relação sustentável entre os compartimentos social, econômico e ambiental (MOLLER, 2015). Portanto, podem ser considerados importantes mecanismos de suporte à tomada de decisões (MIRANDA; TEIXEIRA, 2004).

Segundo Carvalho e Curi (2013) a formulação de uma metodologia baseada em índices e indicadores focados na qualidade da água e disponibilidade desta para a vegetação, pode contribuir para a melhoria da gestão desses recursos naturais.

Várias pesquisas buscaram um índice capaz de refletir a disponibilidade de água para a vegetação como as de Albuquerque *et al.* (2014) que analisaram as mudanças ocorridas na cobertura vegetal através de índices de vegetação, como o NDVI e o NDWI sob intensidades pluviométricas diferentes, enquanto que, McFeeters (2013) propôs um

procedimento eficiente para identificar áreas alagadas entre as vegetações que podem servir como habitat para pernilongos. Já Oliveira (2013) usou o NDWI para levantar informações sobre o estado atual da vegetação para a elaboração de um plano de manejo de Unidade de Conservação.

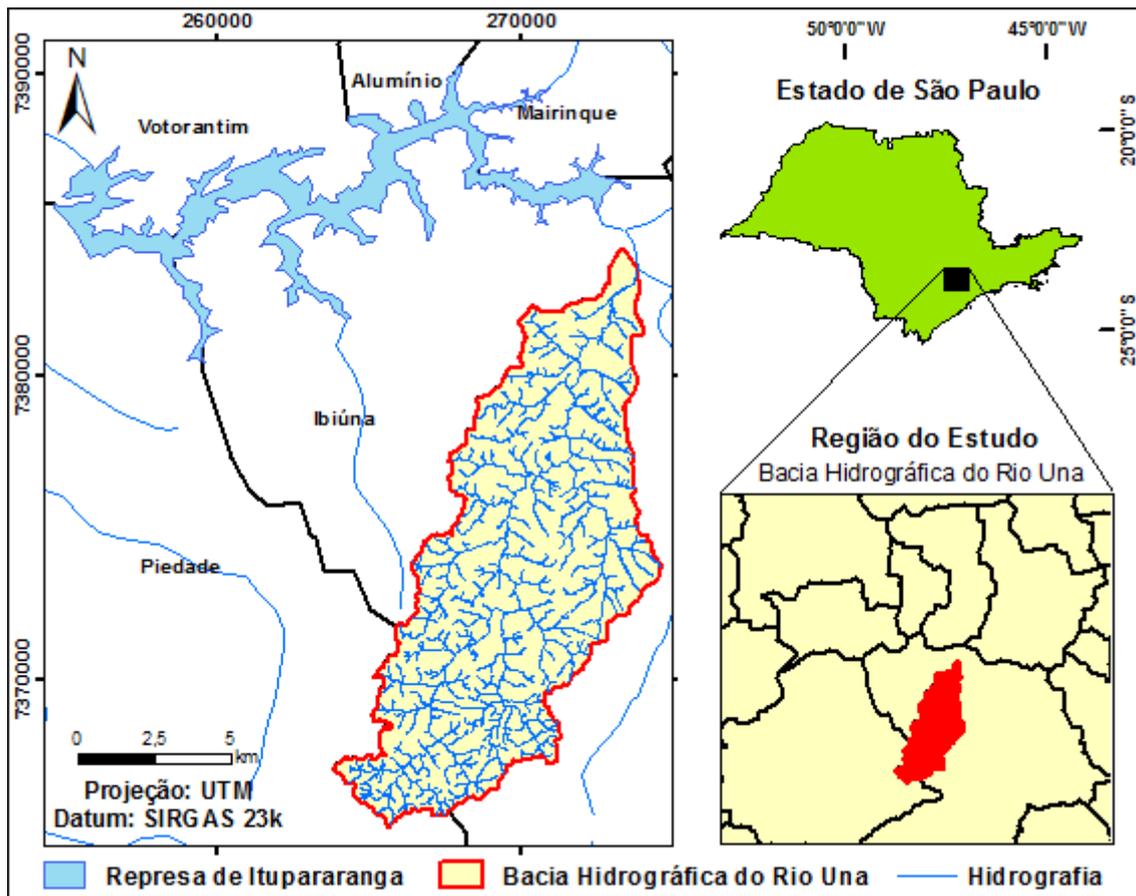
Visto isso, foi adaptado o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) para que o mesmo pudesse refletir a disponibilidade de água para a vegetação presente na Bacia Hidrográfica do Rio Una e fornecer um retrato momentâneo do estado em que se encontra a vegetação nativa.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Una, está localizada no Estado de São Paulo no Município de Ibiúna (Figura 1). O Rio Una juntamente com os Rios Sorocabuçu e o Sorocamirim desembocam no reservatório de Itupararanga, o qual possui grande importância regional, sendo o principal manancial de captação de água para região de Sorocaba (SALES, 2015; SILVA *et al.*, 2016).

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Una



Fonte: Elaboração própria.

Uso do Solo e Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Una

O mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Una foi gerado a partir da análise das imagens de satélite multiespectrais ortorretificadas do sensor SPOT 5 com resolução espacial de 2,5 metros do ano de 2010 cedidas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Para o tratamento e análise dessas imagens foi utilizado o método de classificação supervisionada multivariada de Máxima Verossimilhança (MAXVER) presente no software ArcGIS 10.1 (SILVA et al., 2016; LOURENÇO et al., 2014).

As classes do mapa de uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo foram divididas em Pastagens, Matas (Área Florestal), Lagos, Edificações Urbanas, Edificações Rurais, Campos Sujos, Agriculturas de longo período (culturas perenes) e Agricultura de curto período (culturas temporárias), de acordo com os níveis I e II presentes no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), com exceção das áreas com edificações urbanas que foram divididas em Edificações Urbanas e Rurais de acordo com a classificação dos setores censitários presentes no Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2012) e os Campos Sujos que foram introduzidos de acordo com o

mapeamento realizado por Vaeza et al. (2010) e Detoni (2011). Além disso, foi identificado a Estação de Tratamento de Esgoto e o Aterro Sanitário do município de Ibiúna presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Os arquivos vetoriais gerados no ArcGIS 10.1 foram exportados para o Google Earth para retificação das áreas e atualização da situação do uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Una, uma vez que, as imagens do SPOT 5 são de 2010. Além disso, foram realizadas várias visitas *in loco* para confirmação das classes de uso do solo e cobertura vegetal extraídas.

Divisão por sub-bacias

O sistema de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Una foi extraído de cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC) na escala 1:10.000 e digitalizado no ArcGIS 10.1.

Para definir o número de Sub-Bacias Hidrográficas foi identificado, primeiramente, a ordem dos cursos da água da Bacia Hidrográfica. Para isso, foram utilizados os critérios estabelecidos por Strahler (1952).

Identificado a ordem do curso de água principal da Bacia Hidrográfica do Rio Una, as Sub-Bacias Hidrográficas foram determinadas como sendo as que apresentavam um curso de água com uma ordem inferior ao do curso da água principal, além das que apresentavam a mesma ordem do curso de água principal onde houvesse

uma confluência entre o curso de água principal e o curso de água com uma ordem imediatamente inferior, baseado em seus divisores topográficos internos (SILVA et al., 2016).

Para determinar os divisores topográficos das Sub-Bacias Hidrográficas foi necessário interpolar os dados de elevação do terreno extraídos de cartas planialtimétricas do IGC pelo método de interpolação TIN (*Triangulated Irregular Network*). A partir dessa superfície gerada foi possível extrair automaticamente as Sub-Bacias Hidrográficas pelo módulo *Hidrology* do ArcGIS 10.1.

Geração do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)

O NDWI (*Normalized Difference Water Index*) é um índice capaz de destacar a presença de moléculas de água no dossel das plantas, além de possibilitar acompanhar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico da vegetação através do emprego de operações aritméticas com as bandas do infravermelho próximo (IP) e infravermelho médio (IM) como pode ser visualizado na Equação (1) (GAO, 1996; GU *et al.*, 2007).

$$NDWI = \frac{IP - IM}{IP + IM} \quad (1)$$

Ainda, Albuquerque *et al.* (2014) afirmaram que a umidade alta está relacionada diretamente com o vigor vegetativo. Portanto, o NDWI é um bom indicador da disponibilidade de água para a vegetação por

avaliar o estresse hídrico e possibilitar diferenciar a disponibilidade de água ao longo da Bacia Hidrográfica.

O NDWI foi gerado a partir da análise de imagens orbitais digitais de 2 bandas espectrais (5e6) do satélite Landsat-8, sensor TM, de órbita/ponto 219/76, obtidas em 02 de maio de 2015, com resolução espacial de 30 metros. As imagens possuíam 0% de nuvens para a área de estudo e foram disponibilizadas pelo *U.S. Geological Survey* (USGS).

Para avaliar cada Sub-Bacia Hidrográfica quanto aos valores de NDWI encontrados foi extraído somente os valores referentes à classe de matas obtida a partir do mapa do uso do solo e cobertura vegetal.

Segundo Gao (1996), os valores inferiores a zero, representam áreas com vegetação seca, enquanto que, os valores positivos representam a vegetação verde, pois o NDWI relaciona a quantidade de água por unidade de área na vegetação.

Visto isso, os valores de NDWI superiores a zero para cada Sub-Bacia

Hidrográfica foram quantificados em área e, posteriormente, calculada a razão entre essas áreas em relação à área total coberta por vegetação (classe de matas) de cada Sub-Bacia Hidrográfica à qual elas pertencem conforme a Equação (2).

$$NDWI_{sub} = \frac{A_{sup}}{A_{veg}} \quad (2)$$

Onde:

$NDWI_{sub}$ é a razão entre áreas dos valores de NDWI superiores a zero com a classe de matas de cada Sub-Bacia Hidrográfica;

A_{sup} é a área ocupada na classe de matas por valores de NDWI superiores a zero;

A_{veg} é a área total de matas presente.

RESULTADOS

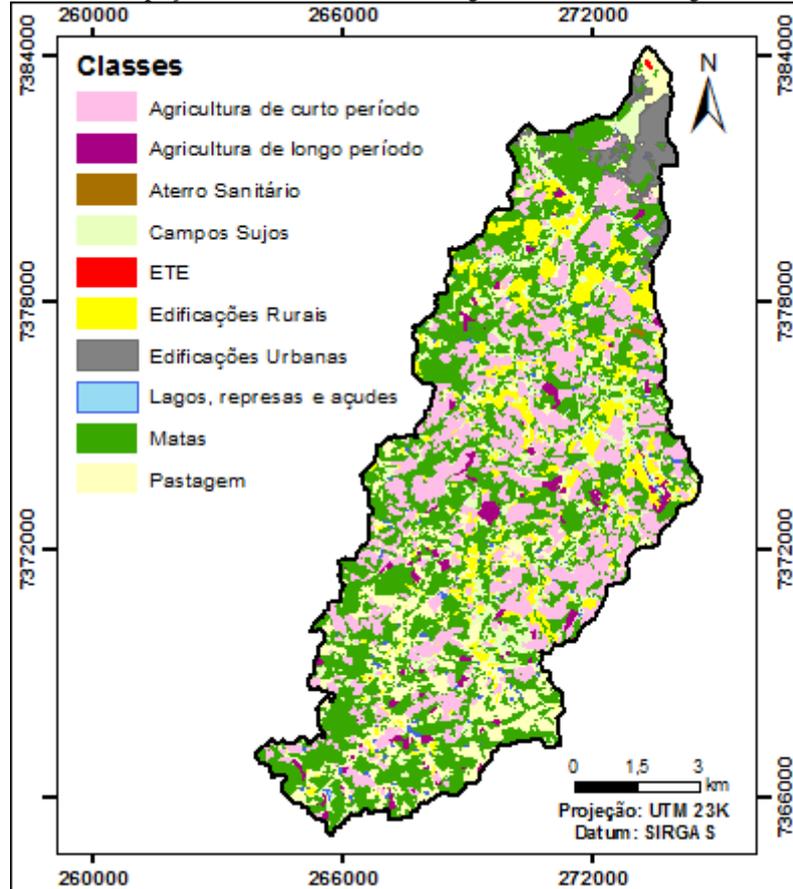
A Tabela 1 mostra a distribuição quantificada em áreas e em porcentagens do total das classes de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, enquanto que, a Figura 2 mostra o mapa de Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal da área de estudo.

Tabela 1 - Classes de Uso do Solo e Cobertura Vegetal distribuídas na área de estudo

Classes de uso do solo	Área por classes (ha)	% do Total
Agricultura de curto período	2204,0	22,86
Agricultura de longo período	229,3	2,38
Aterro Sanitário	4,9	0,05
Campos Sujos	1009,6	10,47
Edificações Rurais	773,9	8,03
Edificações Urbanas	272,6	2,83
ETE	3,3	0,03
Lagos, represas e açudes	63,0	0,65
Matas	3945,0	40,91
Pastagem	1136,4	11,79
Área Total (ha)	9642	

Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 - Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Una



Fonte: Elaboração própria.

A classe de uso do solo e cobertura vegetal mais presente ao longo da Bacia Hidrográfica é de matas (área florestal), que corresponde aproximadamente a 41% da área de estudo.

Porém, a área ocupada por agricultura de curto período é relativamente alta e corresponde a aproximadamente 23% da área de estudo, indicando que a Bacia Hidrográfica é predominantemente rural e está sujeita a processos erosivos devido à rotatividade de culturas, expondo o solo a processos erosivos de origem hídrica.

A classe de área urbana corresponde a aproximadamente 3% da área de estudo e indica que os impactos provenientes das

atividades humanas desenvolvidas em centros urbanos são relativamente baixos, uma vez que, a população urbana do município é pequena e uma parte considerável dessa área está localizada em outra Bacia Hidrográfica.

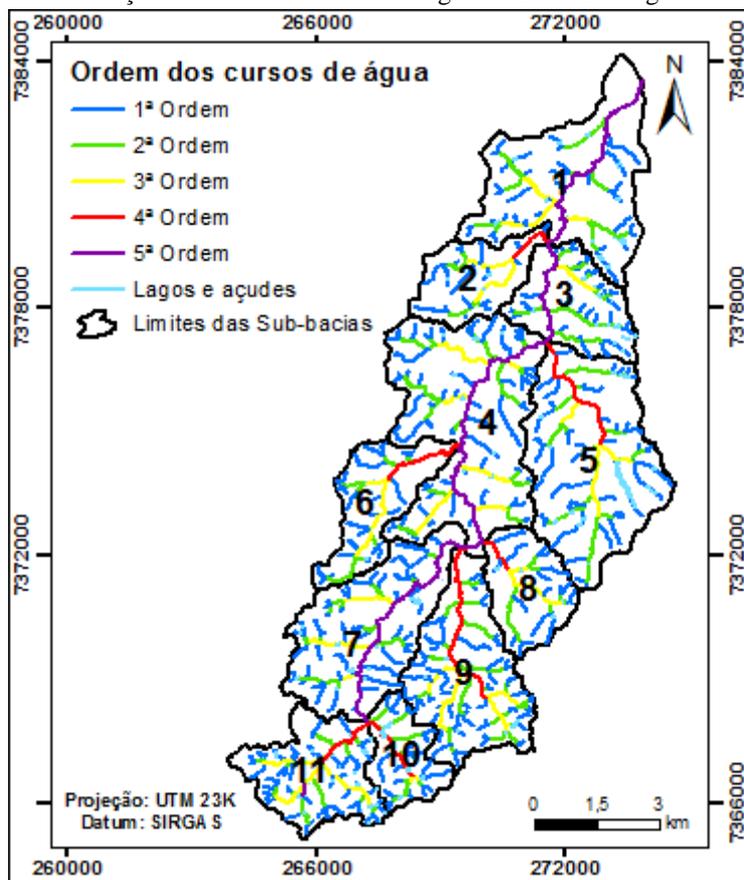
A Bacia Hidrográfica do Rio Una apresenta o curso de água principal classificado como de quinta ordem, isto é, o Rio Una é de quinta ordem, portanto, as Sub-Bacias Hidrográficas presentes na área de estudo apresentam seus cursos de água principais classificados como de 4ª ordem ou 5ª ordem.

De acordo, com a metodologia adotada foi possível identificar 11 Sub-Bacias Hidrográficas na área de estudo como pode

ser visualizado na Figura 3 que apresenta, além dos limites das sub-bacias hidrográficas,

a ordem de todos os cursos de água segundo a classificação proposta por Strahler (1952).

Figura 3 - Classificação da ordem dos cursos de água da Bacia Hidrográfica do Rio Una



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para a Bacia Hidrográfica do Rio Una considerando o número de cursos de água, o

comprimento total e a porcentagem de ocorrência de cada uma das ordens dos cursos d'água.

Tabela 2 - Quantificação da ordem dos cursos de água da área de estudo

Ordem	Quantidade de rios	% do número de rios	Comprimento (Km)
1ª Ordem	424	71,86%	142,68
2ª Ordem	125	21,19%	58,76
3ª Ordem	33	5,59%	35,07
4ª Ordem	7	1,19%	16,21
5ª Ordem	1	0,17%	24,37
Total	590	100,0%	277,09

Fonte: Elaboração própria.

Os cursos de água presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una possuem uma

extensão total 277,09 km e Densidade de Drenagem equivalente a 2,9km.km⁻², o que

indica, segundo Beltrame (1994) e Silva et al. (2016), que é uma Bacia Hidrográfica com alta densidade de drenagem

O curso de água principal tem aproximadamente 27,7km de extensão, além disso, além disso, verifica-se que os cursos de água de primeira ordem são os que apresentam a maior frequência, ou seja, correspondem a 71,9% do número total de rios da Bacia Hidrográfica (Tabela 2). Estes além de contribuírem com a maior extensão são responsáveis por englobarem as 424 nascentes da área em estudo.

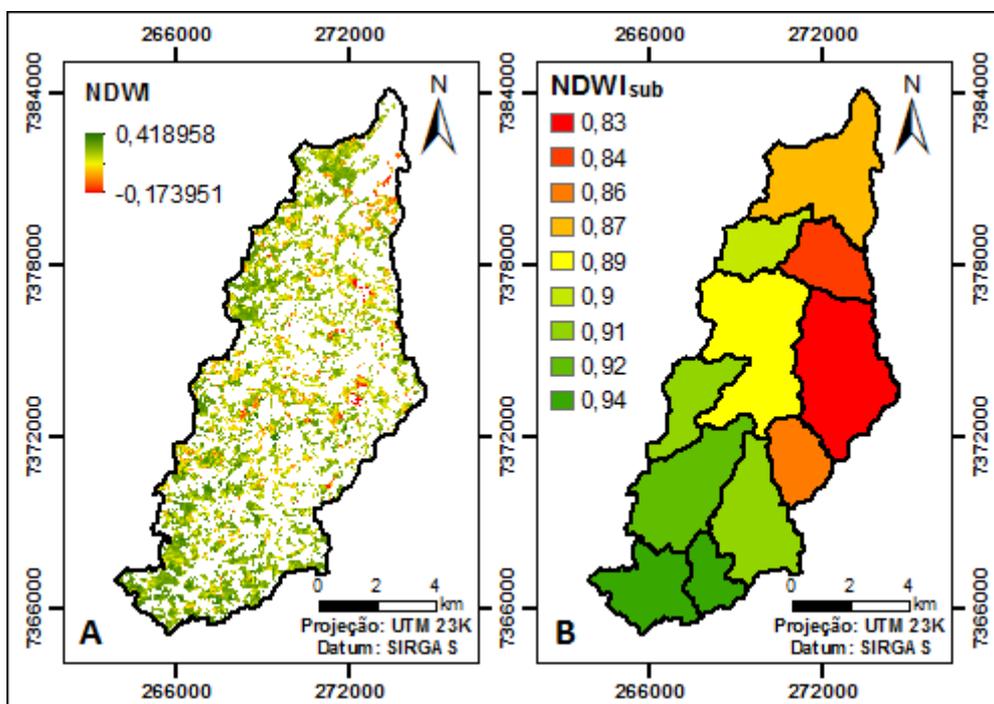
As nascentes são de extrema importância para a manutenção da rede de drenagem dos cursos de água (MEIRA et al.,

2016). No entanto, Bacia Hidrográfica do Rio Una algumas se encontraram em propriedades particulares de pequenos agricultores e carecem de um plano de manejo para garantir sua proteção e conservação.

O comprimento médio dos cursos de água presentes na área de estudo é de aproximadamente 0,47km, sendo que o único curso de água de quinta ordem tem o maior comprimento, igual a 24,37km, enquanto que, os cursos de água de primeira ordem foram os que apresentaram o menor comprimento médio, igual a 0,34km.

O mapa da Figura 4A apresenta os valores do NDWI para a classe de uso do solo e cobertura vegetal classificada como matas.

Figura 4 - Distribuição dos valores de NDWI e $NDWI_{sub}$ na classe de matas e por Sub-Bacias Hidrográficas



Fonte: Elaboração própria.

Os valores variaram bastante e percebe-se que próximo da área urbana e de algumas atividades agrícolas intensas na

região central é que foram encontrados valores negativos indicando um estresse hídrico da vegetação nessas áreas.

Já o mapa da Figura 4 B mostra o NDWI_{sub} distribuído por Sub-Bacia Hidrográfica. É possível observar que a maior concentração de vegetação com estresse hídrico encontra-se na região central da Bacia Hidrográfica, onde há maior presença de áreas urbanas e agrícolas, portanto, a vegetação tem que competir com as atividades antrópicas desenvolvidas nessa área por água. De uma maneira geral, os valores de NDWI foram altos, pois todos os valores estão acima de 0,8, indicando que a área de estudo não sofre com escassez hídrica disponível para a vegetação.

Os valores do NDWI_{sub} distribuídos por Sub-Bacias Hidrográficas mostram que os baixos valores concentram-se na Sub-Bacia Hidrográfica de número 5 (Figura 3), onde apresentou o menor valor igual a 0,83 e está inserida na zona rural do município de Ibiúna com presença intensa de atividades agrícolas, especialmente de hortaliças, com péssimas condições de irrigação, o que provavelmente influenciou na baixa disponibilidade de água para as matas presentes nessa área.

CONCLUSÃO

O estudo demonstra que as imagens de sensoriamento remoto em conjunto com técnicas de geoprocessamento são importantes ferramentas para avaliar a cobertura vegetal em bacias hidrográficas e, nesse estudo, possibilitou verificar as

condições de preservação das matas e como isso influencia na sustentabilidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Una, bem como o estresse hídrico da vegetação por meio do indicador NDWI.

Através das informações levantadas neste estudo, pode-se concluir que o NDWI_{sub} é uma importante ferramenta que permite interpretar numericamente a realidade da disponibilidade de água para a vegetação na Bacia Hidrográfica do Rio Una, sendo, portanto, uma alternativa rápida, simples e válida para avaliar a sustentabilidade da água, além de servir como um instrumento de tomada de decisão para gestores públicos e interessados nessa questão.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F.; DINIZ, J. M. T.; SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**, v. 01, n. 01, 2014.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas – modelo e aplicação**. Florianópolis, UFSC, 1994. 112 p.
- CARVALHO, J. R. M.; CURTI, W. F. Construção de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 91-105, 2013.
- DETONI, Sandro Francisco. Evolução do uso do solo e da cobertura vegetal na região da Serra do Boturuna, Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 51-61, 2011.

GAO, B. A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.

GU, Y.; BROWN, J.F.; VERDIN, J.P.; WARDLOW, B. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n.6, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Estatcart de Informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por Setor Censitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. CD-ROM.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Development of a methodology for evaluation of the remaining forest fragments as a management tool and environmental planning. **Ambiência**, v. 10, p. 685-698, 2014.

MCFEETERS, S. K. Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach. **Remote Sensing**, v. 5, n. 7, p. 3544-3561, 2013.

MEIRA, R. T.; SABONARO, D. Z.; SILVA, D. C. C. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 77-84, 2016.

MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 9, n. 4, p. 269-279, 2004.

MOLLER, A. P. Environmental Indicators of Biological Urbanization. In: **Environmental**

Indicators. Springer Netherlands, p. 421-432, 2015.

OLIVEIRA, J. S. S. **Índices de vegetação (NDVI, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Saltinho**. 2013. 91f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFP, 2013.

SALES, J. C. A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna/SP**. 2015. 131 f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. UNESP, 2015.

SILVA, D.C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; SALES, J.C. A.; LOURENÇO, R.W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 627-642, 2016.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**. v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e ocupação do solo em Bacia Hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.