

APLICAÇÃO DO ÍNDICE NDWI PARA DELIMITAÇÃO DE ZONAS RIPÁRIAS NAS PLANÍCIES DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS MACACU E CACERIBU – RJ

Rafael Cardão Augusto ¹, Carla Bernadete Madureira Cruz ², Vinicius da Silva Seabra ³, Jéssica Silva Martins ⁴, Kênia Samara Mourão Santos ⁵

¹UFRJ, Cidade Universitária, rafaelcardao@hotmail.com; ²UFRJ, Cidade Universitária, carlamad@gmail.com; ³UERJ, Faculdade de Formação de Professores, vinigeobr@gmail.com; ⁴UFRJ, Cidade Universitária, martins.jess89@gmail.com; ⁵UTFPR, Campus Curitiba, keniak33@hotmail.com

RESUMO

As zonas ripárias são áreas sazonalmente saturadas, sendo as áreas mais dinâmicas das bacias hidrográficas, determinando o estabelecimento da mata ciliar e possuindo importância no equilíbrio natural da bacia. Sua delimitação possui literatura consolidada em áreas declivosas e pequenas bacias, porém ainda carecendo de métodos em áreas planas. O presente trabalho propõe a delimitação de zonas ripárias em áreas de planícies através de modelagem multitemporal que considera o máximo valor do índice NDWI por pixel na série histórica de imagens do satélite Landsat, aplicada às bacias dos rios Macacu e Caceribu, no estado do Rio de Janeiro. A metodologia encontra-se em consonância com o conceito da máxima superfície de inundação em 50 anos como critério de definição da zona ripária e com aplicações do NDWI para identificação de solos úmidos relacionados a dados pluviométricos. Os resultados constataram que 62% da área de planície em tais bacias é sazonalmente alagável.

Palavras-chave — sensoriamento remoto, áreas úmidas, índices espectrais, análise temporal.

ABSTRACT

Riparian zones are seasonally saturated areas, being the most dynamic areas of hydrographic basins, determining the establishment of riparian forest and having importance in the natural balance of the basin. Its delimitation has consolidated literature in sloping areas and small watersheds, but still lacking methods in flat areas. The present work proposes the delimitation of riparian zones in lowland areas through multitemporal modeling that considers the maximum value of the NDWI index per pixel in the historical series of Landsat satellite images, applied to the Macacu and Caceribu river watersheds, in the Rio de Janeiro state. The methodology is in line with the concept of the maximum inundation surface in 50 years as a criterion for defining the riparian zone and with applications of the NDWI for the identification of wet soils related to rainfall data. The results found that 62% of the lowland area in such basins is seasonally flooded.

Key words — remote sensing, wetlands, spectral indices, temporal analysis.

1. INTRODUÇÃO

As zonas ripárias podem ser consideradas como as áreas sazonalmente saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, e que podem se expandir durante chuvas prolongadas [1], constituindo-se como as áreas mais dinâmicas da paisagem numa bacia hidrográfica [2].

A delimitação de zonas ripárias se depara com um cenário de dificuldade metodológica, sobretudo ao se tratar de seus limites em áreas planas. No Brasil, tal delimitação foi desenvolvida por vários autores [3] [4] [5], através de modelos hidrológicos utilizando atributos ou índices topográficos, ambos em pequenas ou microbacias hidrográficas de características declivosas. Em geral, tais índices caracterizam a totalidades de áreas planas como zonas saturáveis.

Na literatura estrangeira, foi definido o conceito da *50-year flood inundation zone* [6], determinando que a máxima área alagada na planície de inundação nos últimos 50 anos numa bacia se configura como o descritor ideal de delimitação da zona ripária, associando isto a planícies de inundação ativas, onde os canais fluviais ainda realizam resposta aos eventos de precipitação.

Desde então, diversos autores estrangeiros utilizaram do conceito para identificar e caracterizar zonas ripárias, através de diferentes métodos, em geral envolvendo mensurações em campo, bases temáticas, modelos hidrológicos, MDE, ou imagens de sensores ativos.

Entre os índices utilizados no sensoriamento remoto destacam-se também os que possuem objetivo de analisar a umidade na vegetação e nos solos. O Índice de Diferença Normalizada da Água, ou *Normalized Difference Water Index* (NDWI) possui formulações propostas por dois autores [7] [8]. O NDWI de Gao [7], é utilizado para estimar o teor de umidade da vegetação, e é calculado a partir da razão entre as bandas do infravermelho próximo (pnir) e infravermelho médio (pswir), expressado pela fórmula:

$$NDWI = (pnir) - (pswir) / (pnir) + (pswir)$$

Foi constatado que, em solos homogêneos de baixa densidade de cobertura vegetal, em até 10cm de profundidade há grande relação entre a umidade dos solos e a reflectância captada pelos sensores orbitais, e que os comprimentos de

onda de 750 a 1050 (infravermelho próximo ao médio) são os que apresentam maior sensibilidade [9].

Isto posto, diversos estudos tem utilizado o NDWI de Gao para caracterizar a umidade dos solos utilizando imagens orbitais de sensores passivos, correlacionando as variações dos valores do índice com dados de precipitação

Entre tais pesquisas, [10] constataram que o NDWI de Gao possui maior sensibilidade de distinção do teor de umidade no solo em baixa densidade vegetal. O estudo comparou os índices aplicados em imagens dos sensores MODIS, e definiu o valor entre 0.52 e 0.85 do NDWI de Gao como a faixa espectral de identificação do solo úmido em gramíneas, aferindo com dados coletados em campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia envolveu uma modelagem através da plataforma web gratuita *Google Earth Engine* (GEE) com o objetivo gerar um mapa que indica a máxima superfície alagável no recorte temporal de 35 anos, entre 1984 e 2018, nos períodos chuvoso e seco, por meio dos valores do índice NDWI e de suas relações com dados pluviométricos. A geração de tal dado está relacionada ao conceito da máxima superfície de inundação em 50 anos [6], limitada pela série temporal do sensor escolhido: Landsat, sensores TM e OLI, de 30 metros de resolução espectral, que possuiu datas de lançamento em 1984 e 2013, respectivamente.

Para a aplicação da metodologia, não foram incluídas as áreas do domínio declivoso, obtida a partir de índice topográfico e de característica predominantemente florestal, a área de mangue da APA de Guapimirim e dos núcleos urbanos já existentes em 1984, a partir de interpretação visual de imagem Landsat. Tais áreas foram removidas porque o NDWI não é sensível à umidade do solo sob tais classes de cobertura da terra [7].

A metodologia envolveu a aquisição dos dados da estação pluviométrica para escolha das imagens dos períodos chuvoso e seco em cada ano, por meio da plataforma *Hidroweb* [11], sendo escolhido o pluviômetro Fazenda do Carmo, de código 2242013, localizado na coordenada -22,44;-42,76, na cabeceira norte da bacia hidrográfica do rio Macacu. A escolha deu-se por sua posição estratégica, localizada nas vertentes das Bacias Hidrográficas dos Rios Macacu e Caceribu (BHRMC), onde a chuva precipitada sobre essa área contribui com a vazão de toda a extensão da bacia.

A partir dos dados do pluviômetro foram analisados mensalmente, de 1984 a 2018, o valor médio e máximo de chuva, a fim de identificar em cada ano o período chuvoso e seco, com o objetivo de escolher, no final acumulado de cada período, uma imagem Landsat. Em geral os períodos chuvosos se localizaram entre dezembro e março, e os secos entre junho e setembro de cada ano. Cabe destacar que a escolha das imagens apresentou limitações como a quantidade de nuvens. No total foram selecionadas 26 imagens do período chuvoso e 28 imagens do período seco,

todas da órbita-ponto 217-076.

Após a seleção das imagens, os anos de 1984, 1997 e 2018 foram testados alguns alguns índices sensíveis a umidade e discutidos na bibliografia. Foram aplicados 3 índices e analisada a banda termal sobre as duas imagens de cada ano, dos períodos chuvoso e seco, e em seguida calculados os valores das médias dos índices para os domínios de planícies e comparados, em cada ano. Os índices aplicados foram o NDWI de Gao, o NDWI de McFeeters, o NDVI e a banda termal do sensor, com o o NDWI de Gao apresentando melhor desempenho.

Isto posto, foi dado início à modelagem. Foram criadas duas coleções de imagens: período chuvoso e período seco, com as imagens de diferentes sensores (TM e OLI) sendo normalizadas em cada coleção. Após a criação das variáveis, foi criada uma função para o cálculo do NDWI utilizando as bandas do NIR e do SWIR, conforme fórmula apresentada na revisão teórica.

Sobre estas coleções foi aplicado o cálculo do NDWI [7] sobre cada imagem. Feito isso, foram realizadas análises de correlação entre os resultados de NDWI de cada imagem e os dados pluviométricos acumulados do período chuvoso, para cada ano.

Para realizar as análises, foram gerados 420 pontos aleatórios sobre as áreas de planícies da BHRMC, na forma de amostras. Para cada uma das amostras foram extraídos os valores de NDWI de cada imagem da série histórica do período chuvoso. Após isso, foram calculadas as medianas de NDWI das amostras, bem como computada a quantidade de amostras com valores superiores a 0,52 em cada ano, o que corresponde ao NDWI muito úmido [10] em áreas de cobertura de gramínea. A partir disso, os valores foram comparados com a precipitação acumulada de 3 meses no período úmido que antecede a data de cada imagem.

Após tais análises, foi calculado o valor máximo do NDWI por pixel das duas coleções (TM e OLI), nos dois modelos de períodos (chuvoso e seco), a fim de obter a máxima área úmida na BHRMC, comparando os dois períodos. A partir destes resultados foram geradas as frequências de valores do NDWI em cada período, e comparadas em histograma.

Isto posto, os resultados matriciais foram exportados no formato *raster Geotiff*, e utilizados para análises em ambiente SIG. A partir disso, foi gerada uma reclassificação para cada período: áreas com valores inferiores a 0,52 e áreas com valores iguais ou superiores a 0,52. Tais valores correspondem a um limiar de áreas úmidas identificadas a partir do NDWI de Gao por [10], e discutidos na revisão bibliográfica, onde os valores iguais ou superiores a 0,52 correspondem a solos que responderam com grande umidade à períodos acumulados de precipitação (Figura 1).

Após isso, foram aplicados filtros espaciais sobre as duas áreas geradas para que houvesse a redução de pixels isolados de classe, menores que 1ha, sendo absorvidos pela classe do entorno. Por fim, a partir dos resultados das diferentes classes obtidas foram extraídos os valores médios de altitude e

declividade a partir de modelos digitais de elevação SRTM com o objetivo de verificar as médias geomorfológicas de cada classe.

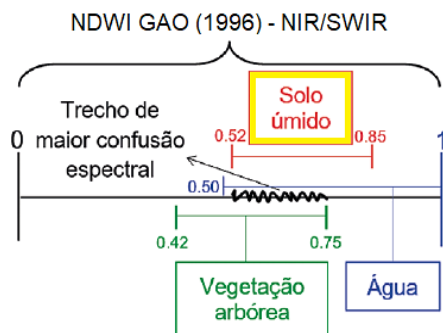


Figura 1. Valores de NDWI de Gao relacionados com solo úmido. Fonte: Pereira et al (2018)

Cabe destacar o trecho de confusão entre solo úmido e vegetação arbórea [10]. Da mesma forma, o NDWI não apresenta sensibilidade à variação dos períodos em áreas urbanas, que respondem com valores sempre inferiores [7]. Conforme descrito na caracterização da área de estudo, a planície da BHRMC é composta predominantemente por pastagens, tendo sido sua área de mangue e núcleos urbanos já existentes em 1984 descontados das análises e resultados.

3. RESULTADOS

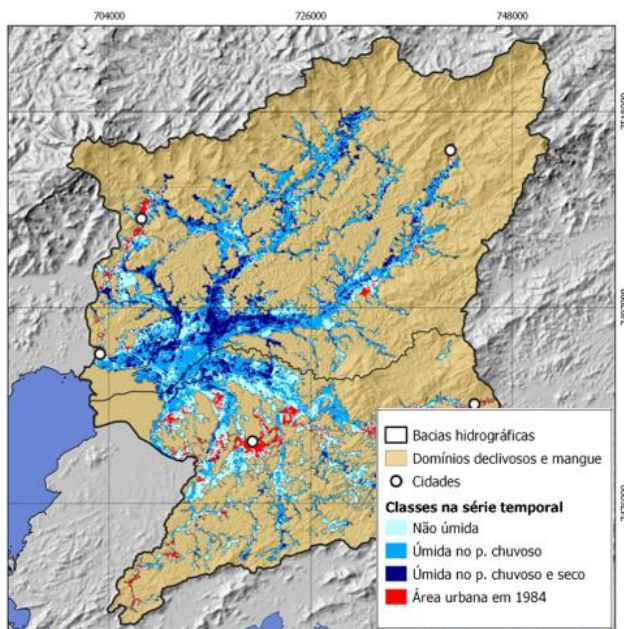


Figura 2. Áreas úmidas mapeadas na planície da BHRMC

No domínio de planícies da BHRMC, a área não úmida correspondeu a 188 Km², ou 38% do domínio; a área úmida somente no período chuvoso correspondeu a 219 Km², ou 45%, enquanto a área úmida nos períodos chuvoso e seco apresentou 84 Km², ou apenas 17% da área (Figura 2).

4. DISCUSSÃO

A comparação entre os índices aplicados evidenciou o NDWI de Gao como o mais sensível às diferenças pluviométricas existentes entre os períodos chuvoso e seco, conforme exemplificado na Figura 3 para o ano de 1997, onde a amplitude dos valores médios do NDWI de Gao foi maior que a dos demais índices, justificando sua aplicação nas etapas metodológicas.

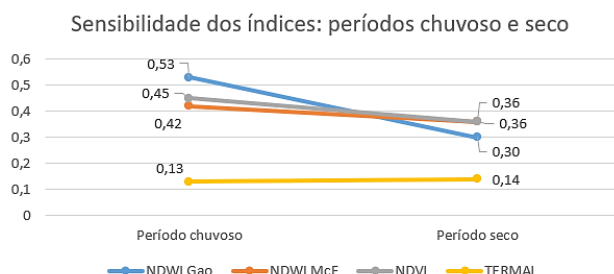


Figura 3. Sensibilidade dos índices nos períodos chuvoso e seco de 1997 na BHRMC

A primeira análise de correlação dos resultados do NDWI com os dados de precipitação teve o objetivo de avaliação qualitativa de resposta dos valores do índice ao acumulado de chuvas. Tal avaliação apresentou uma forte relação entre as medianas de NDWI das amostras e o acumulado de precipitação de 3 meses antes da data de cada imagem, observados no pluviômetro, para cada ano, com os anos com maior acumulado de precipitação sendo também os de maiores valores médios de NDWI das amostras (Figura 4).

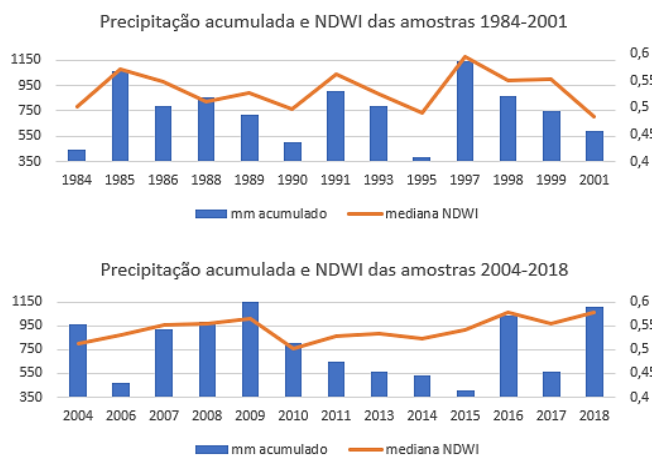


Figura 4. Precipitação acumulada e NDWI das amostras por ano de 1984 a 2018

A segunda análise possui critério quantitativo, representando a quantidade de amostras com valor alto de NDWI, e também apresentou a mesma relação entre os dados, com uma maior quantidade de amostras com valor superior a 0,52 nos anos onde o acumulado de precipitação foi maior no período chuvoso (Figuras 5).

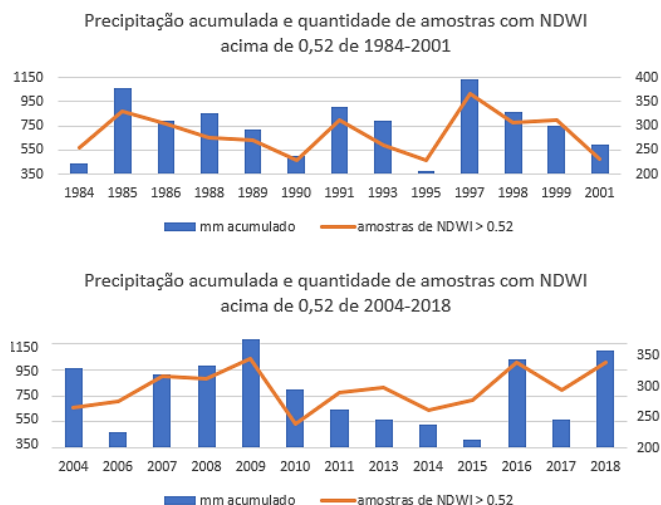


Figura 5. Precipitação acumulada e quantidade de amostras com alto NDWI de 1984 a 2018

Em relação às principais características geomorfométricas, a área não úmida da planície apresentou uma altitude média de 23m e declividade de 1,77°. A área úmida somente no período chuvoso apresentou 17m de altitude média e declividade de 1,41°, e a área úmida nos dos períodos apresentou 12m de altitude média e declividade de 1,26° (Quadro 1). Os valores estão compatíveis com os padrões geomorfométricos esperados para cada classe.

Altitudes (m) e declividades das classes NDWI na planície			
Classe	Média	Decliv	
Não úmido	23m	1,77°	
Úmido somente no chuvoso	17m	1,41°	
Úmido no chuvoso e seco	12m	1,26°	

Quadro 1. Altitudes e declividades das classes NDWI na planície

5. CONCLUSÕES

A modelagem do máximo NDWI por pixel da série temporal de 35 anos aplicada aos domínios de planícies apresenta-se como um método inovador em consonância com a bibliografia e com o conceito de zonas ripárias, com objetivos sendo atingidos e evidenciando o potencial dos índices e a temporalidade de imagens orbitais de sensores passivos para a identificação e caracterização de áreas periodicamente saturadas como reflexo das variações de precipitação nos períodos chuvoso e úmido, ao longo e uma série de décadas.

A área úmida identifica pelo NDWI na planície atingiu o objetivo, restringindo para um percentual menor a área que pode ser considerada zona ripária em tal domínio, ao contrário dos índices topográficos que definiriam a totalidade da planície como uma área totalmente saturável. As limitações da pesquisa nesse sentido envolvem a dificuldade de validação *in loco* de um modelo temporal da forma como

foi proposto, além da volumosa presença de nuvens em imagens próximas às datas mais favoráveis para a utilização em cada um dos períodos.

Além disso, a não sensibilidade do índice NDWI à umidade dos solos sob a cobertura arbórea, que responde com constantes valores altos, e sob núcleos urbanos, que respondem com constantes valores baixos, limitaram a extensão de análise das variações do índice na área de planície, restrita somente a gramíneas, como pastagens.

6. REFERÊNCIAS

- [1] W. P. Lima, A. M. Righetto, F. F. B. Ferraz, M. J. B. Zakia. Delimitação da zona ripária em uma microbacia. In: Lima, W. P., Zakia, M. J. B. (Org.). As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento, 1ed, São Carlos: Rima, 1, 89-106, 2006.
- [2] S. V. Gregory, F. J. Swanson, A. W. McKee, K. W. Cummins. An ecosystem perspective of riparian zones. Focus on links between land and water, BioScience, Washington 41, 540-551, 1991.
- [3] M. J. B. Zakia. Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas, 98p, Tese (Doutorado), São Carlos: USP, 1998.
- [4] C. M. Attanasio. Método para a identificação da zona ripária: microbacia hidrográfica do Ribeirão São João (Mineiros do Tietê, SP), Scientia Forestalis 71, 131-140, 2006.
- [5] I. Santos, M. Kobiyama. Aplicação do TOPMODEL para determinação de áreas saturadas da bacia do rio Pequeno, S José dos Pinhais, PR. Revista Ambiental Água, Taubaté, 2, 77-89, 2008.
- [6] B. L. Ilhardt, E. S. Verry, B. J. Palik. Defining Riparian Areas, Riparian Management. In: Verry, E. S., Hornbeck, J. W., Dolloff, C. A. (Orgs) Forests of the Continental Eastern United States. Lewis Publishers, New York, NY, 23-42, 2000.
- [7] B. C. Gao. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, Remote sensing of environment, 58(3): 257-266, 1996.
- [8] S. K. McFeeters. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17, 1425-1432, 1996.
- [9] J. C. N. Epiphanyo, A. R. Formaggio, M. Valeriano, J. B. Oliveira. Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. São José dos Campos: INPE, 131p, 1992.
- [10] L. E. Pereira, E. A. Marques, A. M. Grigio, A. C. Paranhos Filho. Comparative Analysis of Normalized Difference Water Index (NDWI) Methods in Continental Wetland. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ (Impresso), 41, 654-662, 2018.
- [11] ANA, Agência Nacional de Águas. Hidroweb. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em junho de 2021.