



## ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E DE UMIDADE PARA CARACTERIZAR A DINÂMICA DA BIOMASSA FLORESTAL NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Alex Nascimento Sousa<sup>1</sup>, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira<sup>1</sup>, Jose Antônio Aleixo da  
Silva<sup>1</sup>, Elisiane Alba<sup>2</sup>, Emanuel Araújo Silva<sup>1</sup>, Anderson Francisco da Silva<sup>1</sup>,  
Maria Beatriz Ferreira<sup>1</sup>, Doris Bianca Crispin-DelaCruz<sup>1</sup>

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: alexnascimento@gmail.com; rinaldo.ferreira@ufrpe.br; jaaleixo@uol.com.br; emanuel.araujo@ufrpe.br; beatriz.177@outlook.com; doriscrispin@hotmail.com

2 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, PE, Brasil. E-mail: elisiane.alba@ufrpe.br  
Autor correspondente: Alex Nascimento Sousa. E-mail: alexnascimento@gmail.com

### RESUMO

O sensoriamento remoto permite obter índices de vegetação e umidade que descrevem a dinâmica da biomassa florestal. O objetivo desse trabalho foi verificar se o índice de vegetação (NDVI) e os de umidade (NDMI, NDWI e MNDWI) fornecem informações pertinentes sobre a cobertura vegetal em decorrência das variações climáticas em um remanescente de floresta seca em Pernambuco, Brasil, em um período de 8 anos. Para isso, utilizou-se a série temporal dos índices, obtidas por imagens do Landsat-8, realizou-se a estatística descritiva dos índices, uma análise de componentes principais para verificar a correlação entre eles e representou, por meio de imagens, os índices que tiveram maior correlação. Nesse trabalho, o NDWI não respondeu muito bem aos corpos hídricos quando comparado ao MNDWI. O mesmo ocorreu com o NDMI, onde o NDVI caracterizou melhor a vegetação. Conclui-se que a variabilidade das chuvas afeta a dinâmica e a resiliência da vegetação e todos os índices podem ser utilizados para estimar a produção de biomassa.

**Palavras-chave:** Caatinga; floresta sazonal seca; sensoriamento remoto

### ***TIME SERIES ANALYSIS OF VEGETATION AND HUMIDITY INDEX TO CHARACTERIZE THE DYNAMICS OF FOREST BIOMASS IN SEMI-ARID PERNAMBUCO, BRAZIL***

#### ***ABSTRACT***

*Remote sensing makes it possible to obtain vegetation and moisture indices that describe the dynamics of forest biomass. The objective of this work was to verify whether the vegetation index (NDVI) and the moisture indexes (NDMI, NDWI and MNDWI) provide pertinent information about the vegetation cover because of climate variations in a dry forest remnant in Pernambuco, Brazil, over an 8-year period. For this, the time series of the indexes, obtained from Landsat8 images, was used, the descriptive statistics of the indexes were performed, a principal component analysis was performed to verify the correlation between them, and the indexes with the highest correlation were represented through images. In this work, NDWI did not respond very well to water bodies when compared to MNDWI. The same occurred with NDMI, where NDVI characterized the vegetation better. It is concluded that rainfall variability affects the dynamics and resilience of vegetation, and all indices can be used to estimate biomass production.*

**Key words:** *Caatinga; seasonal dry forest; remote sensing*

#### ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

A Caatinga é considerada a maior ecorregião tropical semiárida deste continente e como em todas as florestas secas, possui uma vegetação muito rica, com espécies endêmicas e caducas, de grande valor ecossistêmico, principalmente no que diz respeito à produção de biomassa, que serve para a subsistência da população e como reguladores da emissão de gases nocivos à Terra (Tabarelli *et al.*, 2018).

Atualmente, as ferramentas de sensoriamento remoto, como o sensor Landsat-8, são amplamente utilizadas para obter índices biofísicos e bandas espectrais que apresentam alta correlação com a biomassa florestal (Gizachew *et al.*, 2016). Quase sempre os pesquisadores buscam identificar índices biofísicos que podem ser utilizados para estimar a biomassa florestal em trabalhos que visam esse objetivo. Como é o caso do índice de vegetação NDVI, e os índices de umidade NDMI, NDWI e MNDWI, que supostamente possuem muito potencial para avaliar as condições de seca, um fator limitante na dinâmica da vegetação nas florestas secas (Guo *et al.*, 2017).

Com base nessas premissas, o objetivo deste estudo é analisar os índices NDVI, NDMI, NDWI e MNDWI ao longo de uma série temporal de 8 anos em um remanescente de floresta seca da Caatinga, localizado no estado de Pernambuco, Brasil. Utilizando o sensor Landsat-8, busca-se verificar se esses índices podem fornecer informações pertinentes sobre a cobertura vegetal e as variações climáticas, podendo ser utilizados para estimar a produção de biomassa em estudos que visam tal objetivo.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada em um ambiente de Caatinga, compreendendo o município de Floresta e Betânia, em Pernambuco, Nordeste do Brasil. A vegetação da área é classificada como Savana Estépica arborizada (IBGE, 2012). O clima é do tipo Bsw'h, caracterizado por ser muito quente, semiárido, tipo estepe, marcada por uma estação seca e outra chuvosa. Possui temperatura média anual de 26,5°C e as médias anuais de precipitação da ordem de 623 mm, com período de chuva concentrado de janeiro a maio, sendo os meses mais chuvosos março e abril (Accioly *et al.*, 2017).

#### Coleta de dados

Utilizou-se um script de processamento digital no GEE, com os seguintes conjuntos de dados GEE ID: Landsat-8 OLI ("LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2"), com disponibilidade de dados geoespaciais de 2015 a 2022, ao longo de 8 anos, cujo sensores apresentam resolução temporal entre 14 e 16 dias, resolução espacial de 30 m e resolução radiométrica de 16 bits. Também foram obtidos dados de precipitação pluviométrica diária da estação do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET da região.

### Metodologia utilizada

Com as imagens Landsat-8, foram calculados os índices NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse *et al.*, 1974), NDMI - *Normalized Difference Moisture Index* (Gao, 1996), NDWI - *Normalized Difference Water Index* (McFeeters, 1996) e MNDWI - *Modified Normalized Difference Water Index* (Xu, 2006).

Foram obtidas 43 imagens do sensor Landsat-8 para os 8 anos, sendo estas as imagens filtradas com cobertura de nuvem menor que 10%. Utilizou-se essas cenas para obter os valores médios anuais de cada índice biofísico. Obteve-se a precipitação total de cada ano, que foram utilizadas para explicar os fenômenos relacionados aos índices. Realizou-se a estatística descritiva dos valores obtidos e uma Análise de Componentes Principais – PCA, para verificar a correlação entre os diferentes índices, pelo *software* PAST. Para verificar a influência dos índices mais correlacionados, elaborou-se mapas do início e fim do período, pelo *software* QGIS.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O NDVI (0,1620) foi o índice biofísico com maior valor médio, vindo em seguida o NDMI (-0,0751), NDWI (-0,2022) e o MNDWI (-0,2737). Observa-se pelo desvio padrão que os valores dos índices, no período de 8 anos, são poucos dispersos, ou seja, não apresentam uma grande variação (Tabela 1).

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos índices biofísicos analisados no período de 2015 a 2022

Índices	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
NDVI	0,107	0,2270	0,1620	0,044
NDMI	-0,1324	-0,0160	-0,0751	0,044
NDWI	-0,2434	-0,1644	-0,2022	0,028
MNDWI	-0,2906	-0,2460	-0,2737	0,015

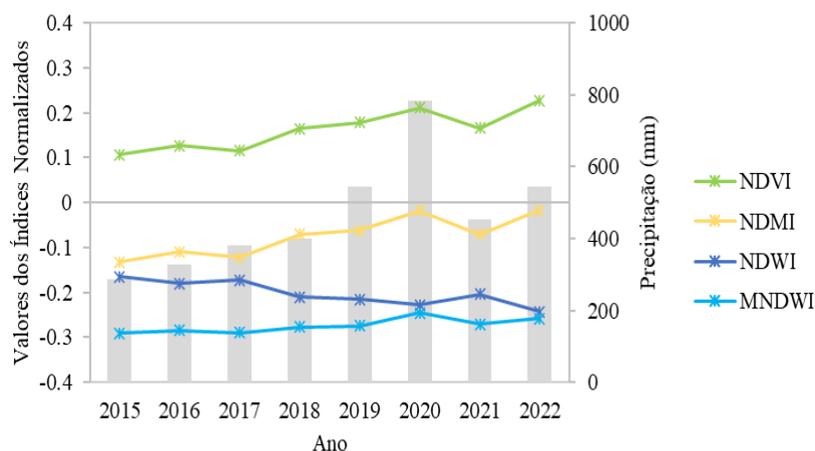
Em que: NDVI - *normalized difference vegetation index*; NDMI - *normalized difference moisture index*; NDWI - *normalized difference water index*; MNDWI - *modified normalized difference water index*.

O valor médio do NDVI ao longo dos últimos 8 anos é considerado baixo. No entanto, quando comparado ao estudo de Araújo *et al.* (2018), que identificou valores inferiores a 0,15 para todo o Nordeste brasileiro no período de 2002 a 2011, o valor obtido é considerado aceitável.

A média do NDVI e do NDMI caracteriza a região como uma vegetação de baixa estatura, composta por arbustos e árvores, e apresentando sinais de estresse hídrico. Por outro lado, a média do NDWI e MNDWI indica que a área possui uma vegetação seca, com períodos de precipitação moderada (Gil *et al.*, 2019).

A análise da série temporal dos valores médios dos índices biofísicos e de precipitação de cada ano permite caracterizar a região com base na vegetação e na umidade. É perceptível que ao longo dos 8 anos, os valores dos índices apresentam uma variabilidade constante, cada um com seus limites mínimo e máximo definidos. Observa-se que esses valores dos índices refletem a variação sazonal (Figura 1).

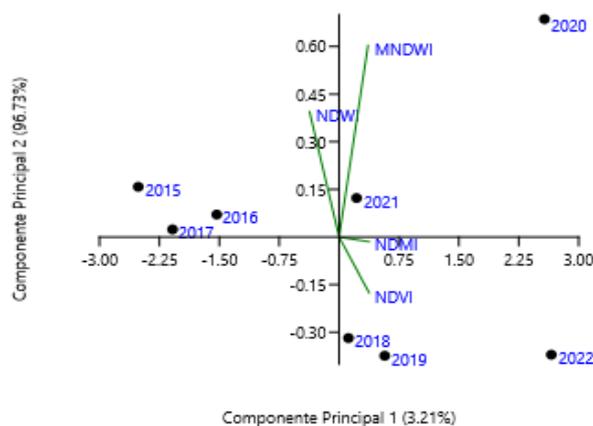
## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal



**Figura 1.** Gráfico com a série temporal dos índices biofísicos (NDVI, NDMI e MNDWI) com a precipitação total anual no período de 2015 a 2022.

O NDMI apresentou um comportamento semelhante ao NDVI. O NDMI é uma medida sensível à umidade do dossel das plantas, enquanto o NDVI é sensível à presença de clorofila nas folhas. Ambos os índices são sensíveis à umidade da vegetação e do solo em uma floresta (Rahman & Mesev, 2019). O NDWI e o MNDWI respondem à deposição de água na superfície da Terra, sendo o MNDWI, o que caracteriza melhor os corpos hídricos e as plantas com maior teor de água nas folhas, o que é observado nos resultados desse trabalho quando os valores obtidos são relacionados aos anos com maior precipitação anual. (Gil *et al.*, 2019).

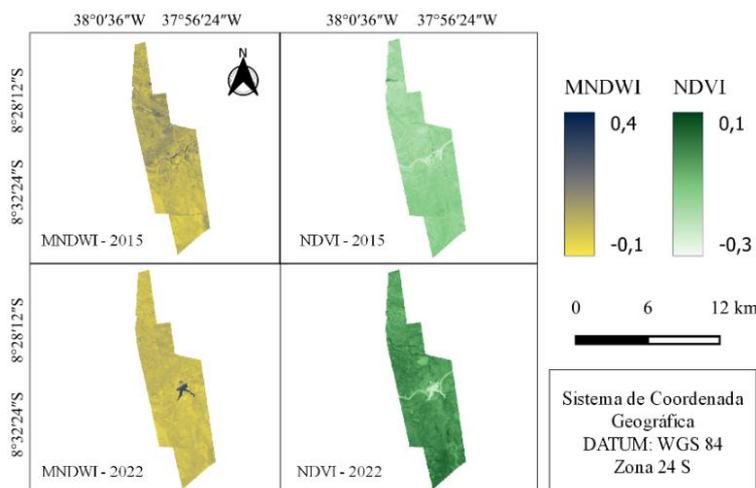
Na Figura 2 é apresentada a análise de componentes principais (PCA) usando gráfico biplot para os índices biofísicos e os anos estabelecidos. Respeitando o critério estabelecido por Kaiser (1958), o autovalor da PC1 foi maior que 1 (3,87), tendo esse um valor significativo no Eixo 1, podendo ser representativo para análise.



**Figura 2.** Análise de componentes principais (PCA) entre os índices biofísicos (NDVI, NDMI, NDWI e MNDWI) e os anos analisados (2015 a 2022)

Por meio da PCA foram estabelecidos dois grupos, um com os anos mais secos (2015, 2016 e 2017) e outro com os anos mais úmidos (2018, 2019, 2020, 2021 e 2022). Percebe-se o comportamento mais representativo do NDVI do que NDMI sobre a vegetação. O MNDWI possui melhor correlação com o NDVI, caracterizando melhor os corpos hídricos.

Na Figura 3 é representada a área de estudo com o MNDWI e NDVI nos anos de 2015 e 2022. Em 2015 ocorre os menores valores para ambos os índices, devido a menor precipitação. O contrário de 2022, que teve maior precipitação e maiores valores para os índices.



**Figura 3.** Distribuição do NDVI e MNDWI nos anos de 2015 e 2022 no município de Floresta, em Pernambuco, Brasil

Em seu trabalho, Silva *et al.* (2023) também evidenciaram a sensibilidade do MNDWI ao conteúdo de água, especialmente em áreas inundadas, e do NDVI à cobertura vegetal. O mesmo autor relata que o NDVI é vulnerável à seca, na Caatinga, o que é atribuído ao baixo valor desse índice, quando comparado a outros ecossistemas florestais.

### CONCLUSÃO

O MNDWI caracterizou melhor os corpos hídricos, quando comparado ao NDWI. Já o NDVI foi mais sensível à vegetação do que o NDWI. Apesar das diferenças, todos os índices podem ser testados como preditores da produção de biomassa, em futuros trabalhos, pois caracterizam as mudanças na vegetação conforme as variações climáticas anuais. Conclui-se que a variabilidade das chuvas impactou diretamente a dinâmica e a resiliência da vegetação, na área de estudo, no período de 2015 a 2022.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accioly, L. J. O.; Silva, E. A.; Cavalcanti Junior, E. A.; Alves, E. S.; Pereira, A. G. S.; Silva, R. S.; Ramos, R. R. D.; Silva, R. R. **Mapeamento do uso e cobertura das terras do Semiárido pernambucano (escala 1:100.000)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 100p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 260). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166335/1/CNPS-BPD-260-2017.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Araújo, A. L.; Silva, M. T.; Silva, B. B.; Santos, C. A. C.; Dantas, M. P. Análise das Mudanças de Parâmetros Biofísicos Sobre o Nordeste Brasileiro de 2002 a 2011 com Dados Modis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p.589-599, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-778633400>.
- Gao, B. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p.257-266, 1996. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3).
- Gil, A. P.; Padovani, C. R.; Coelho, A. L. N. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. **Anais...** Santos: Galoá, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198878/1/galoa-proceedings-SBSR-2019-96525-COMPARACAO-ENTRE-NDWI-E-MNDWI.pdf>. Acesso em: 12 Jul. 2023.

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

- Gizachew, B.; Solberg, S.; Naesset, E.; Gobakken, T.; Bollandsas, O. M.; Breidenbach, J.; Zahabu, E.; Mauya, E. W. Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data. **Carbon Balance and Management**, v. 11, n. 1, e13, 2016. <http://dx.doi.org/10.1186/s13021-016-0055-8>.
- Guo, M.; Li, J.; Sheng, C.; Xu, J.; Wu, L. A Review of Wetland Remote Sensing. **Sensors**, v. 17, n. 4, p.777-813, 2017. <https://doi.org/10.3390/s17040777>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272p. (IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, 1). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 10 Jul. 2023.
- Kaiser, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p.187-200, 1958. <https://doi.org/10.1007/bf02289233>.
- McFeeters, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p.1425-1432, 1996. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- Rahman, S.; Mesev, V. Change vector analysis, tasseled cap, and NDVI-NDMI for measuring land use/cover changes caused by a Sudden short-term severe drought: 2011 texas event. **Remote Sensing**, v. 11, n. 19, p.2217-2238, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11192217>.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with Ertis. In: NASA. **Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp.**, v. 1, Sect. A. Greenbelt: NASA, 1974. (Paper-A20). Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 12 Jun. 2023.
- Silva, J. L. B.; Moura, G. B. A.; Silva, M. V.; Oliveira-Júnior, J. F.; Jardim, A. M. R. F.; Refati, D. C.; Lima, R. C. C.; Carvalho, A. A.; Ferreira, M. B.; Brito, J. I. B. Environmental degradation of vegetation cover and water bodies in the semiarid region of the Brazilian Northeast via cloud geoprocessing techniques applied to orbital data. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 121, e104164, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104164>.
- Tabarelli, M.; Leal, I. R.; Scarano, F. R.; Silva, J. M. C. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p.25-29, 2018. <https://doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>.
- Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p.3025-3033, 2006. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.