

VARIABILIDADE ANUAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL NO ESTADO DE ALAGOAS UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Lucas de Moraes Teixeira¹
Helder José Farias da Silva²
Ana Paula Lopes da Silva³
Fabricio Daniel dos Santos Silva⁴
Marcus Vinicius da Silva Leonardo Firmino⁵
Josiel dos Santos Silva⁶
Jório Bezerra Cabral Júnior⁷

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração real (ETr) refere-se à perda de água para a atmosfera devido à combinação da evaporação da água do solo e da transpiração das plantas em superfícies vegetadas (Weerasinghe et al., 2020). Esse processo é um componente crucial do ciclo hidrológico e é fundamental para estudos agrícolas, econômicos e ambientais, podendo retornar até 60% da precipitação terrestre para a atmosfera (Huang et al., 2020; Silva et al., 2019). Em diversos ecossistemas, altos valores de ETr associados à distribuição irregular das chuvas podem resultar em déficit hídrico, o que torna necessário o uso racional da água para a população e a agricultura (Araújo et al., 2019).

Projeções climáticas para o século XXI, conforme Marengo e Bernasconi (2015), sugerem um aumento da seca no Nordeste do Brasil (NEB), com intensificação dos déficits hídricos, secas mais prolongadas e condições áridas a partir da segunda metade do século. Com a utilização de satélites e técnicas de sensoriamento remoto, como os sensores MODIS dos satélites Aqua/Terra, é possível monitorar grandes áreas de forma eficaz, espacializando regiões heterogêneas e reduzindo os custos das pesquisas locais (Bezerra et al., 2021; Silva, 2014).

No estado de Alagoas, a variabilidade temporal e espacial da superfície é alta em termos de disponibilidade hídrica, vegetação, tipos e usos do solo, relevo e clima, devido principalmente à distribuição irregular das chuvas (Cabral Júnior; Silva, 2020). Pesquisas anteriores com sensoriamento remoto em Alagoas têm se concentrado majoritariamente na

¹ Mestrando do curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, lucasmorais321@gmail.com;

² Doutor em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, helderlagoia@gmail.com;

³ Docente do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, ana.lopes@igdema.ufal.br;

⁴ Docente do Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, fabricio.santos@icat.ufal.br;

⁵ Mestrando do curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, mvs1firmino@hotmail.com;

⁶ Mestrando do curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, josielsan.1092@gmail.com;

⁷ Orientador e Doutor do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFAL, jorio.cabral@gmail.com.

zona litorânea, utilizando modelagem de balanço hídrico para áreas agrícolas (Farias et al., 2023) e análises biofísicas relacionadas a anos de La Niña (Santos et al., 2020).

O semiárido alagoano enfrenta recursos hídricos limitados devido à variabilidade das chuvas, que são escassas e mal distribuídas ao longo do tempo e do espaço, impondo uma baixa qualidade de vida à sociedade, sendo o manejo inadequado dos recursos naturais uma das principais causas (Medeiros et al., 2019). A gestão eficiente da água é, portanto, crucial, dado o impacto significativo da questão hídrica no progresso social e na agricultura da região (Lyra et al., 2014).

Diante do exposto, o objetivo principal desta pesquisa é caracterizar a variabilidade anual da ETr utilizando técnicas de sensoriamento remoto para o estado de Alagoas. Estes dados serão valiosos para a elaboração de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos e para o planejamento eficaz das atividades agrícolas e ambientais, especialmente em regiões semiáridas, onde a água é naturalmente limitada.

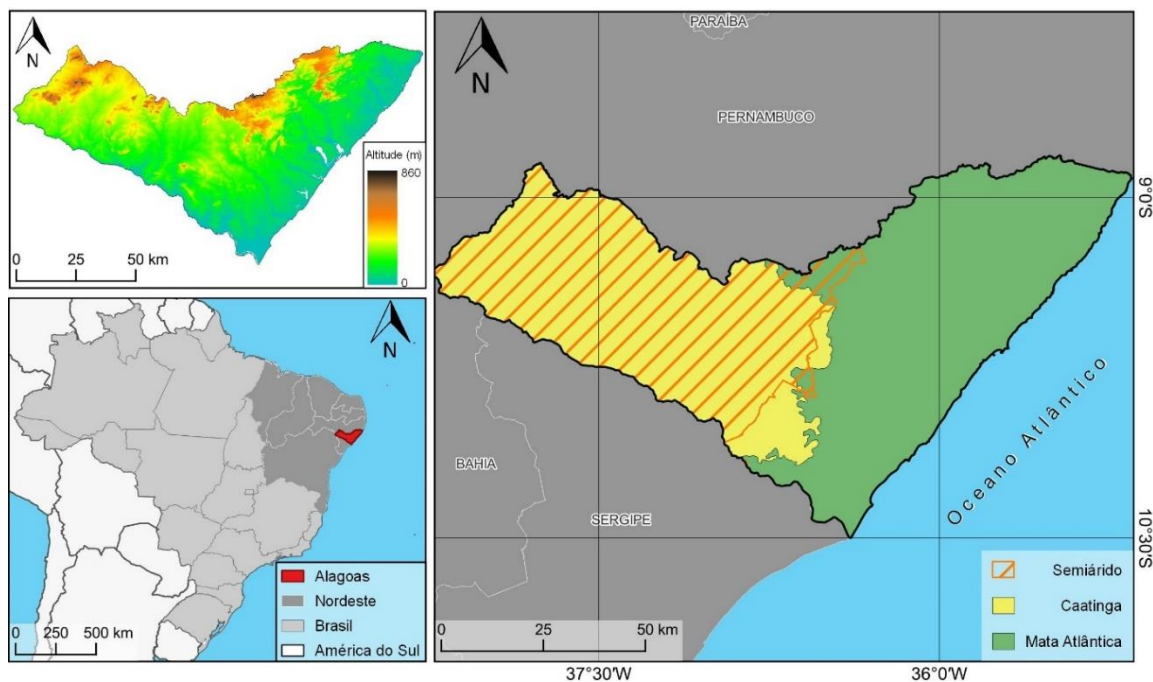
MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estado de Alagoas, localizado na região do NEB (Figura 1), possui 102 municípios e uma área de 27.830 km² (IBGE, 2021). Embora seja o segundo menor estado do Brasil em termos de território, apresenta uma grande variabilidade climática e regional, com 45,4% de sua área inserida na região semiárida (SUDENE, 2017).

Segundo a classificação de Köppen, o estado possui dois tipos climáticos predominantes: Tropical Chuvoso (A) a leste e Semiárido (B) a oeste (Alvares et al., 2013). As regiões com maiores altitudes, principalmente ao norte do estado nas margens do Planalto da Borborema, apresentam temperaturas mais baixas, enquanto as áreas mais a oeste têm temperaturas superiores a 28°C no verão e uma média anual de 26,3°C (Monteiro; Côrrea, 2020; Santos et al., 2023).

Figura 1 - Mapa de localização do estado de Alagoas, com destaque as delimitações dos biomas e semiárido.



Dados

Os dados de ETr utilizados neste estudo foram obtidos do Produto de Evapotranspiração Global Anual - MOD16A3, disponível a partir do início do século XXI. Este produto oferece dados de ETr calculados a partir da equação de Penman-Monteith, processados em uma grade de 500 metros (Mu et al., 2011).

Os dados MOD16A3 são derivados das imagens do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, com resolução temporal de oito dias, o que permite uma análise detalhada da variabilidade da ETr. Este produto de evapotranspiração global tem sido avaliado em várias regiões do mundo e mostrou resultados satisfatórios quando comparado com medições de campo, com variações de até 30% nos resultados finais (Hu et al., 2015; Loarie et al., 2011; Ramoelo et al., 2014; Ruhoff et al., 2012).

Esses dados são disponibilizados gratuitamente através do link: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a3gfv061/>. Neste estudo, foram utilizadas séries históricas anuais de 2001 a 2020, possibilitando a identificação de tendências e variabilidades da ETr ao longo de vinte anos no estado de Alagoas.

Metodologia

Os dados de ETr do produto MOD16A3 foram processados, resultando em uma série temporal anual para cada pixel da área de estudo. A espacialização da ETr foi realizada para o estado de Alagoas, visando caracterizar a distribuição da ETr nas diferentes regiões, incluindo os biomas de Mata Atlântica e Caatinga. Essa análise permitiu a identificação de áreas com

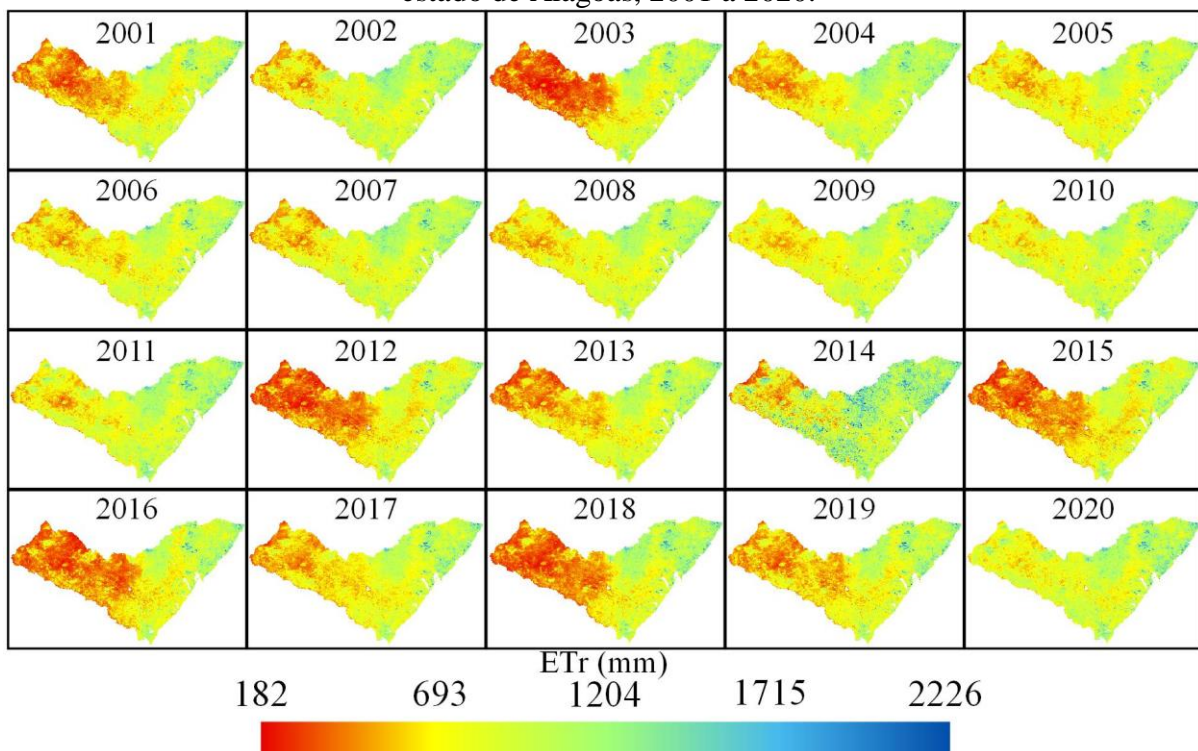
menor e maior ETr em cada bioma, destacando as variações dentro e entre os diferentes ecossistemas do estado.

Os dados foram processados utilizando os softwares QGIS (versão 3.16.9) para a elaboração de mapas e RStudio (versão 4.3.1) para a realização de estatísticas descritivas, incluindo a construção de boxplots com medidas anuais, como mediana, quartis, valores mínimos e máximos, além da identificação de outliers. A análise foi realizada em duas escalas principais: temporal e espacial. A escala temporal permitiu a identificação de possíveis tendências ao longo dos anos, enquanto a análise espacial focou na variação da ETr entre as diferentes regiões e biomas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

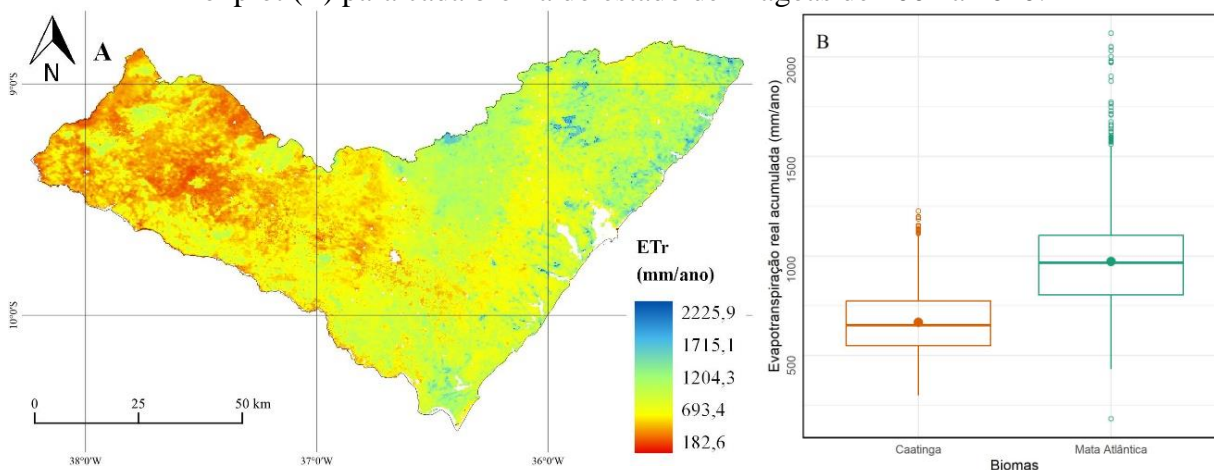
Observa-se a variação espacial do acumulado anual da ETr (Figura 2), apresenta uma média de 827,9 mm/ano com valores mínimo e máximo, respectivamente, de 182,6 a 2225,9 mm/ano. Reforça-se que os menores valores, também do acumulado anual, ocorrem no oeste do estado, com acumulado anual dos anos de 2001, 2003, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2018, os valores variam de 182 a 300 mm/ano. Em contrapartida, do centro ao leste de Alagoas os valores acumulados foram superiores a 800 mm/ano, com destaque a área nordeste que apresentou maior frequência de ETr superior a 1200 mm/ano.

Figura 2 - Variação espacial do acumulado médio anual da Evapotranspiração real para o estado de Alagoas, 2001 a 2020.



Na Figura 3A, observa-se o acumulado médio anual da ETr, com a região oeste apresentando valores entre 183 mm e 700 mm/ano, exceto algumas áreas de maiores altimetrias onde a ETr chega a 1000 mm/ano. As regiões do nordeste alagoano se destacam pelos valores de acumulado médio de ETr superiores a 1500 mm/ano. No boxplot (Figura 3B), a média anual foi de 826 mm, com valores discrepantes (outliers) superiores a 1000 mm/ano na caatinga e 1500 mm/ano na mata atlântica. Além disso, nota-se que 75% dos valores de ETr estão abaixo de 1000 mm/ano. De forma geral, é possível observar a diferença na ETr entre a região seca (sertão alagoano), com os menores valores, e a região úmida do estado (leste alagoano), com os maiores valores, ao longo dessa série de vinte anos.

Figura 3 - Mapa médio anual da variabilidade espacial da Evapotranspiração Real (A) e Boxplot (B) para cada bioma do estado de Alagoas de 2001 a 2020.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A variação espacial anual da evapotranspiração real (ETr) em Alagoas é significativa, com o oeste do estado apresentando os menores valores e o leste os maiores. Essas variações se devem principalmente devido à discrepante quantidade e distribuição de umidade no solo, causadas pela irregularidade da precipitação e pela presença variada de vegetação.
2. Ao longo dos vinte anos analisados, a média anual da ETr foi de 827,9 mm/ano, com extremos variando de 182,6 a 2225,9 mm/ano.
3. Algumas regiões do extremo oeste alagoano apresentaram acumulado médio anual inferior a 700 mm/ano, enquanto as regiões do nordeste apresentaram valores superiores a 1500 mm/ano.

4. A ETr, além de ser uma parte integrante do ciclo hidrológico, pode servir como um indicador crucial da quantidade de água disponível e da vegetação presente na região.

Palavras-chave: recurso hídrico; evaporação e transpiração; cobertura do solo.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Laboratório de Climatologia Teórica e Aplicada (LACTA/IGDEMA) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O último autor agradece pelo apoio e fomento à pesquisa cedidos pela FAPEAL (edital 003/2022) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Chamada CNPq/MCTI N° 10/2023).

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.
- ARAÚJO, L. et al. Evapotranspiration and biomass modelling in the Pontal Sul Irrigation Scheme. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 6, p. 2326-2338, 2020.
- BEZERRA, H. et al. Estimativa da evapotranspiração real diária no semiárido brasileiro utilizando sensoriamento remoto. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 47, p. 183-201, 2021.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; SILVA, H. J. F. Classificação climática e repercussões ambientais no estado de Alagoas, Brasil. In: André Becker Nunes; Glauber Lopes Mariano. (Org.). **Meteorologia em Tópicos**. 1ed. Maceió: Clube dos Autores, v. 7, p. 288-324, 2020.
- FARIAS, F. et al. Large-scale water balance modeling using remote sensing and weather data: Application in an agricultural growing region of the coastal northeast Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 32, p. 101072, 2023.
- HU, G. et al. Comparison of MOD16 and LSA-SAF MSG evapotranspiration products over Europe for 2011. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 510-526, 2015.
- HUANG, D. et al. Estimation of actual evapotranspiration using soil moisture balance and remote sensing. **Iranian Journal of Science and Technology**, Transactions of Civil Engineering, v. 45, p. 2779-2786, 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Delimitação do estado de Alagoas. Disponível <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html>.

LOARIE, S. R. et al. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 1, n. 2, p. 105-109, 2011.

LYRA, G.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state. Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**. v. 34, n. 13, p. 3546-3558. 2014.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1–2, 2015.

MEDEIROS, F. J. et al. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of Northeast Brazil in the 2012-2017 period. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 1, p. e20200198, 2021.

MONTEIRO, K. A.; CORRÊA, A. C. B. Application of morphometric techniques for the delimitation of Borborema Highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 102729, 2020

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**. v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011.

RAMOELO, A. et al. Validation of global evapotranspiration product (MOD16) using flux tower data in the African savanna, South Africa. **Remote Sensing**, v. 6, n. 8, p. 7406-7423, 2014.

RUHOFF, A. L. et al. Validation of the global evapotranspiration algorithm (MOD16) in two contrasting tropical land cover types. **Remote Sensing and Hydrology**, v. 352, p. 128-131, 2012.

SANTOS, F. et al. Análise sazonal dos parâmetros biofísicos utilizando o sensor MODIS para o estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 955-968, 2020.

SILVA, B. B da. **Estimativa da evapotranspiração real por meio de imagens do satélite landsat 8**. 2014. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

SILVA, H. J. F. et al. Comparative analyzes and use of evapotranspiration obtained through remote sensing to identify deforested areas in the Amazon. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 78, p. 163-174, 2019.

SILVA, J. S. et al. Climatology and significant trends in air temperature in Alagoas, Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-20, 2023.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2017. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>.

WEERASINGHE, I. et al. Can we trust remote sensing evapotranspiration products over Africa? **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 3, p. 1565-1586, 2020.