

Dinâmica temporal da evapotranspiração na bacia hidrográfica do Benguê através de plataforma de dados globais

Eduardo Lima de Sousa Júnior¹, Nazaré Suziane Soares², Italo Sampaio Rodrigues³, Carlos Alexandre Gomes Costa⁴.

RESUMO: A evapotranspiração é um processo complexo e dinâmico, cuja estimativa apresenta desafios significativos, especialmente em grandes escalas espaciais. Por se tratar de um fluxo atmosférico, sua quantificação direta é limitada e frequentemente requer o uso de modelos ou sensores remotos. Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica temporal da evapotranspiração (ET) em uma bacia hidrográfica localizada em região semiárida do Brasil, no período de 2013 a 2022, por meio de dados obtidos através do sensoriamento remoto (MOD16A2, MOD13Q1 V6.1). Além da caracterização da variabilidade espaço-temporal da ET, buscou-se investigar suas relações com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a fim de compreender os padrões de resposta da cobertura vegetal às condições climáticas predominantes. A abordagem adotada permitiu observar características típicas de região semiárida: forte sazonalidade climática e vegetação adaptada à escassez hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: hidrologia, sensoriamento remoto, semiárido brasileiro

Temporal dynamics of evapotranspiration in the Benguê watershed using a global data platform

ABSTRACT: Evapotranspiration is a complex and dynamic process, the estimation of which presents significant challenges, especially on large spatial scales. Because it is an atmospheric flux, its direct quantification is limited and often requires the use of models or remote sensors. In this context, this study aimed to analyze the temporal dynamics of evapotranspiration (ET)

¹ Doutorando no PPG em Engenharia Agrícola da UFC, Fortaleza, CE. (86) 99912-3415. email: eduardolimajunior@alu.ufc.br.

² Pós-doc, Depto de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE.

³ PhD em Earth, Space and Physical Science pela Universidade de Lethbridge, ULETH.

⁴ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE.

in a watershed located in a semi-arid region of Brazil, from 2013 to 2022, using data obtained through remote sensing (MOD16A2, MOD13Q1 V6.1). In addition to characterizing the spatial-temporal variability of ET, we sought to investigate its relationship with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in order to understand the response patterns of vegetation cover to prevailing climatic conditions. The approach adopted allowed us to observe characteristics typical of semi-arid regions: strong climatic seasonality and vegetation adapted to water scarcity.

KEYWORDS: hydrology, remote sensing, semi-arid Brazil

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é o processo pelo qual ocorre a transferência de água do ambiente terrestre para a atmosfera, englobando tanto a evaporação da água presente na superfície do solo e na vegetação úmida quanto a transpiração vegetal, resultante da atividade fisiológica das plantas (Novák, 2012). No semiárido brasileiro as altas taxas de evaporação, geralmente superiores à precipitação, reforçam a necessidade de monitoramento dos índices de evapotranspiração.

A estimativa da evapotranspiração (ET) desempenha um papel fundamental na análise do balanço hídrico em bacias hidrográficas, sendo essencial para quantificar as perdas de água associadas aos processos de evaporação e transpiração. Nesse contexto, o sensoriamento remoto se destaca como uma ferramenta indispensável, permitindo a obtenção de estimativas da ET de forma contínua, espacialmente distribuída e em diferentes escalas temporais. Por meio de sensores orbitais, é possível acessar variáveis biofísicas e meteorológicas necessárias para modelos de estimativa de ET, como temperatura da superfície, radiação solar, albedo e índices de vegetação. Produtos derivados de satélites, como o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), têm sido amplamente utilizados para esse fim, por fornecerem séries temporais consistentes e de ampla cobertura espacial.

A alta resolução espacial e o longo período de registro do Landsat fornecem uma oportunidade única para o desenvolvimento de estimativas de séries temporais longas de conjuntos de dados globais de ET. Entre muitas outras aplicações, as estimativas de séries temporais de ET em escala de campo espacial são cruciais para modelar a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos em agroecossistemas irrigados (Jaafar e Ahmad, 2020).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica temporal da evapotranspiração (ET) em uma bacia hidrográfica localizada em região semiárida do Brasil, no período de 2013 a 2022, por meio de dados obtidos via sensoriamento remoto. Além da caracterização da variabilidade espaço-temporal da ET, buscou-se investigar suas relações com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a fim de compreender os padrões de resposta da cobertura vegetal às condições climáticas predominantes.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Benguê (Coordenadas: 6°30'48"S 40°10'55"W), localizada no município de Aiuaba, região Centro-Sul do estado do Ceará, inserida na sub-bacia do Alto Jaguaribe, no semiárido do Nordeste brasileiro (Figura 1). Com área de drenagem de aproximadamente 933 km², a bacia é controlada pelo reservatório do Benguê, cuja capacidade de armazenamento é estimada em 19,6 hm³. Este reservatório desempenha um papel estratégico na região, com usos prioritários voltados ao abastecimento humano e à garantia da perenização do rio Umbuzeiro, curso d'água principal da bacia (Medeiros et al ., 2010).

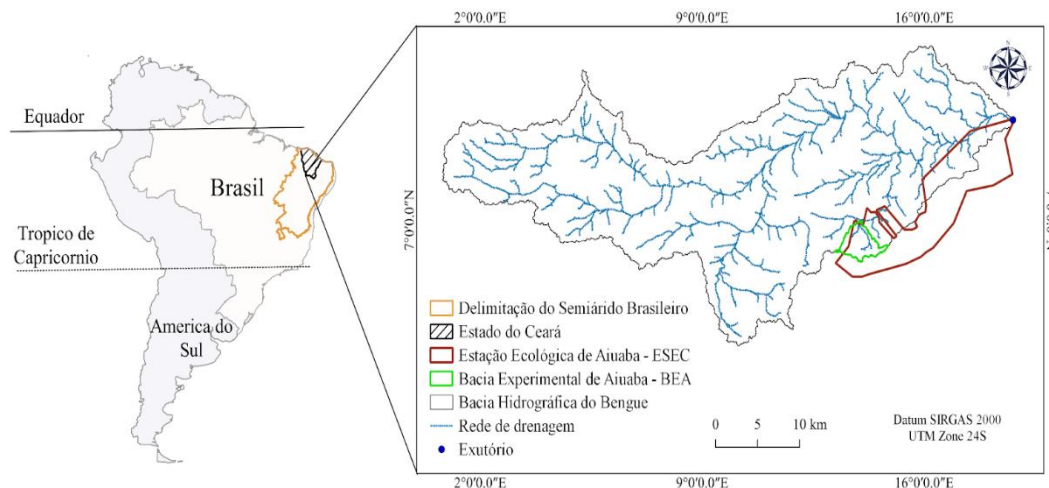


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Benguê, Ceará, Brasil.

A área do estudo apresenta clima característico semiárido tipo BS, segundo os critérios de classificação climática de Köppen (Araújo e Piedra, 2009). Além disso, a precipitação média anual é de 580 mm e evaporação potencial de aproximadamente 2.500 mm/ano, com elevado

déficit hídrico atmosférico durante a maior parte do ano. A precipitação é fortemente variável ao longo do tempo, com uma estação chuvosa bem definida (janeiro a maio), durante a qual ocorrem 85% da precipitação total anual. Predominam as chuvas convectivas, concentradas em poucos eventos de alta intensidade. A temperatura média anual é de 26°C, com pouca variação ao longo do ano: 24°C em junho e julho a 28°C em novembro, com temperatura diária variando de 15°C a 35°C. A umidade relativa do ar tem média anual de 62%.

A vegetação natural é a Caatinga, o único bioma brasileiro único e típico da região semiárida do Nordeste do país (Medeiros et al., 2014). É importante destacar que, na área da bacia hidrográfica deste estudo, está inserida a Bacia Experimental de Aiuaba (BEA), com 12 km² de extensão, monitorada desde 2003 pelo Grupo de Pesquisa Hidrossedimentológica do Semiárido (www.hidrosed.ufc.br). Integralmente inserida na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC de Aiuaba), apresentando, portanto, cobertura vegetal preservada.

O processamento dos dados, foi realizado por meio da plataforma Google Earth Engine – GEE (earthengine.google.com), uma ferramenta computacional baseada em nuvem que permite o acesso, o processamento e a análise de grandes volumes de dados geoespaciais. O GEE disponibiliza gratuitamente uma ampla coleção de imagens de satélite e dados ambientais, além de oferecer infraestrutura para execução e análise espacial em larga escala (Gorelick et al., 2017).

Os dados de ET foram obtidos do produto MOD16A2, que fornece estimativas de ET em escala global a partir dos dados MODIS com base na equação de Penman-Monteith, adaptada para a inserção de dados de sensoriamento remoto. Neste estudo foram utilizados os mosaicos anuais desse produto, com resolução espacial de 1km. (Qiaozhen et al., 2014).

O análise da vegetação, o produto MOD13Q1 V6.1 fornece um valor de Índice de Vegetação (VI) por pixel. Há duas camadas principais de vegetação. A primeira é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, que é chamado de índice de continuidade para o NDVI derivado do Radiômetro Avançado de Altíssima Resolução da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA-AVHRR) (NASA, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as estimativas anuais de ET para a bacia do Benguê no período avaliado, 2013 a 2022. Entre os resultados observados, os menores valores de ET foram observados nos anos de 2017 (ET 206 a 594 mm.ano⁻¹) e o 2021 (ET 170 a 654 mm.ano⁻¹). Os

maiores valores de ET foram observados nos anos de 2016 (778,3mm.ano⁻¹) e 2020 (818 mm.ano⁻¹), onde no mapa é possível observar área na coloração azul escuro (valores maiores do que 800 mm.ano⁻¹) na porção oeste da bacia do Benguê.

Quando comparados aos valores encontrados na literatura, as estimativas da ET apresentadas por esta pesquisa são semelhantes aos valores encontrados por Costa et al. 2020, em pesquisa realizada no estado do Ceará. É importante destacar que segundo Jaafar e Ahmad (2020), em regiões semiáridas, a nebulosidade frequente pode limitar a estimativa de evapotranspiração por sensoriamento remoto especialmente em períodos chuvosos.

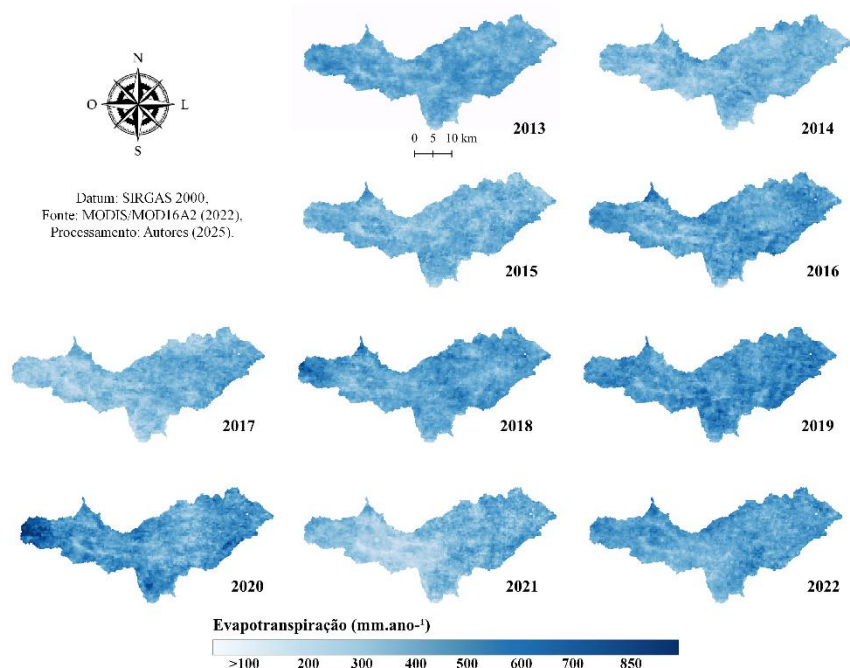


Figura 2. Mapas de Evapotranspiração anual (mm.ano⁻¹) na Bacia Hidrográfica do Benguê dos anos 2013 a 2022, segundo o produto MOD16.

A série de evapotranspiração, é possível observar um comportamento relativamente estável da ET ao longo dos anos analisados, indicando uma resposta consistente à sazonalidade climática da região semiárida. Segundo Oliveira et al., (2017) deve-se levar em conta a influência do tipo de cobertura no balanço hídrico em uma determinada região, uma vez que as mudanças de cobertura da terra são intensas, com cada vez mais áreas sendo convertidas para o uso agrícola.

O regime de chuvas no Ceará, assim como em grande parte do Nordeste brasileiro, apresenta alta concentração durante a estação chuvosa (Melo et al. 2024). O ano de 2019 aparece como um chuvoso, já os anos 2014, 2020 e 2021 com menor intensidade e frequência de chuva (anos de seca). Em anos de baixa precipitação, a necessidade de irrigação aumenta.

Segundo Pereira et al., (2025) os anos de 2012 a 2017 foram anos onde ocorreram múltiplas seca no estado do Ceará.

As série temporal de NDVI sugere Entre 2013 e 2022, o NDVI a apresentou forte sazonalidade, com valores máximos variando entre $\sim 0,70$ e $0,85$, normalmente durante a estação chuvosa, e mínimos entre $\sim 0,20$ e $0,40$ no período seco. Os maiores picos ocorreram em anos mais úmidos, como 2014, 2018 e 2020, enquanto os menores picos foram observados em 2016 e 2019, associados a estiagens mais severas.

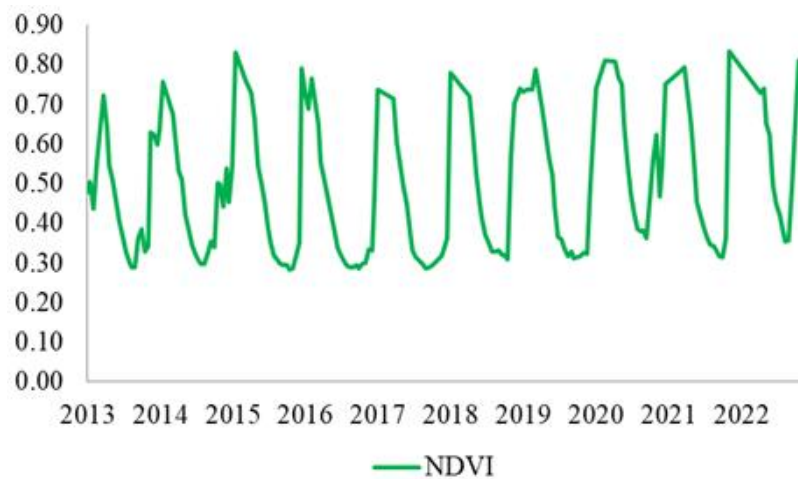


Figura 3. NDVI temporal da Bacia Hidrográfica do Benguê dos anos 2013 a 2022.

A amplitude relativamente constante ao longo do período analisado está relacionada com a vegetação predominante na área que apresenta um forte resposta a sazonalidade, tipicamente relacionado ao regime hídrico, o comportamento observado do NDVI ao longo dos anos indicando um comportamento resiliente após os períodos seca. Segundo Holanda. (2024) devido a este fator ocorre uma diminuição da evapotranspiração superficial por parte da vegetação.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos a análise combinada do NDVI e evapotranspiração (ET) permite compreender a relação entre vegetação, disponibilidade hídrica e demanda evapotranspirativa na bacia do Benguê, oferecendo insights importantes para uma gestão hídrica sustentável, que garantam a eficiência do uso da água e o equilíbrio entre a demanda evapotranspirativa e a disponibilidade dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. C.; GONZÁLEZ PIEDRA, J. I. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 23, n. 8, p. 1169-1178, 2009.

COSTA, J. A.; NAVARRO-HEVIA, J.; COSTA, C. A. G.; DE ARAÚJO, J. C Temporal dynamics of evapotranspiration in semiarid native forests in Brazil and Spain using remote sensing. **Hydrological Processes**, v. 35, n. 3, p. e14070, 2021.

Funk, Chris, Pete Peterson, Martin Landsfeld, Diego Pedreros, James Verdin, Shraddhanand Shukla, Gregory Husak, James Rowland, Laura Harrison, Andrew Hoell & Joel Michaelsen.; The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes". **Scientific Data 2**, 150066. doi:10.1038/sdata.2015.66 2015.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.,MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote sensing of Environment, v. 202, p. 18-27, 2017.

HOLANDA, D. C. Uma análise espaço-temporal da vegetação no município de Crateús (Ceará). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 6, n. 1, 2025.

Pereira, B. S., Uchôa, J. G. S., Freitas, G. S., Meira Neto, A. A., Anache, J. A., Wendland, E. C., Medeiros, P. H. Hydrological heritage: A historical exploration of human–water dynamics in northeast Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 70, n. 4, p. 546-558, 2025.

Qiaozhen Mu, Maosheng Zhao, Steven W. **Running and Numerical Terradynamic Simulation Group (2014): MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product MOD16A2 Collection 5**.

MEDEIROS, P. H.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. L.; CARLOS DE ARAÚJO, J. Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a

semiarid catchment with the WASA-SED model. **Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques**, v. 55, n. 4, p. 636-648, 2010.

MEDEIROS, P. H.A.; ARAÚJO, J. C.; ANDRELLLO, A. C. Uncertainties of the ¹³⁷Cs technique for validation of soil redistribution modelling in a semiarid meso-scale watershed. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 222-235, 2014.

MELO, R. B., Belém, P. J. A., da Costa, C. T. F., Pereira, A. R. B., Batista, P. H. T., & da Silva, W. V. Índice de Anomalia de Chuva aplicado ao estudo das precipitações na Região Crajubar-Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 34, p. 557-575, 2024.

NASA. MOD13Q1 v061. MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid. Greenbelt, MD: **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.061>. Acesso em: 8 jul. 2025.

NOVÁK, Viliam. Evapotranspiration in the soil-plant-atmosphere system. **Springer Science & Business Media**, 2012.

OLIVEIRA, Bruno Silva; MORAES, Elisabete Caria; MATAVELI, Guilherme Augusto Verola; BERTANI, Gabriel. **Análise da dinâmica da evapotranspiração, precipitação e NDVI no Cerrado brasileiro entre 2001 e 2013 utilizando dados MODIS e TRMM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2017.