



# I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento  
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

## MONITORAMENTO DA SECA EM PERNAMBUCO VIA ERA5- LAND

*Jean Firmino Cardoso*<sup>1</sup>; *Daiane Francisca do Nascimento Silva*<sup>2</sup>; *Antonino Celso Dantas Antonino*<sup>3</sup>; *José Miguel Reichert*<sup>4</sup>; *Hugo Emanuel Bezerra de Lima*<sup>5</sup> & *Geanderson Ferreira dos Santos*<sup>6</sup>

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas, Hidrologia, ERA5-Land, Seca, Recursos Hídricos, Semiárido.

### INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos no estado de Pernambuco enfrenta um desafio de alta complexidade diante da variabilidade climática acentuada e da recorrência de eventos extremos, fenômenos que vêm se intensificando nas últimas décadas conforme apontam estudos sobre índices pluviométricos na bacia do São Francisco (Bezerra *et al.*, 2019). A crise de seca que marcou o início de 2025, levando mais de uma centena de municípios a decretarem estado de emergência, expõe as limitações do monitoramento baseado apenas em dados pluviométricos pontuais.

Para uma compreensão sistêmica da escassez hídrica, torna-se imperativo analisar as interações termodinâmicas entre a superfície e a atmosfera, visto que a partição dos fluxos de energia em calor sensível e latente é determinante para a intensificação da aridez em biomas como a Caatinga (Souza *et al.*, 2015). Nesse cenário, o conjunto de dados de reanálise ERA5-Land, produzido pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), oferece uma oportunidade inédita de monitoramento espacial contínuo.

Com resolução de 9 km e cobertura desde 1950, essa base de dados permite o cálculo de variáveis complexas de fluxo de energia e umidade do solo (Copernicus Climate Change Service, 2019). O presente estudo propõe uma abordagem metodológica avançada para validar e aplicar esses dados em Pernambuco, visando desenvolver produtos cartográficos inéditos que identifiquem a severidade da seca agrícola e hidrológica com maior precisão do que os métodos convencionais.

---

<sup>1</sup>) Universidade Federal de Pernambuco – PROTEN, +55 81 98911-1366, [jean.firmino@ufpe.br](mailto:jean.firmino@ufpe.br)

<sup>2</sup>) Universidade Federal de Pernambuco – PROTEN, +55 81 98190-3469, [daiane.francisca@ufpe.br](mailto:daiane.francisca@ufpe.br)

<sup>3</sup>) Universidade Federal de Pernambuco – PROTEN, +55 81 98565-1962, [antonio.antonino@ufpe.br](mailto:antonio.antonino@ufpe.br)

<sup>4</sup>) Universidade Federal de Pernambuco – PROTEN, +55 55 99705-7652, [reichert@ufsm.br](mailto:reichert@ufsm.br)

<sup>5</sup>) Universidade Federal de Pernambuco – PROTEN, +55 81 98972-3302, [hugolimaengcivil.hl@gmail.com](mailto:hugolimaengcivil.hl@gmail.com)

<sup>6</sup>) Universidade Federal de Pernambuco – PROTEN, +55 81 98919-6517, [geanderson.fsantos@ufpe.br](mailto:geanderson.fsantos@ufpe.br)

## METODOLOGIA

A execução deste estudo fundamenta-se no uso de ferramentas de computação em nuvem e programação científica em Python para o processamento de grandes volumes de dados climáticos. O recorte temporal abrange a série histórica integral de janeiro de 1950 a janeiro de 2025, focando especialmente nas mesorregiões do estado de Pernambuco.

A aquisição dos dados é realizada através da interface de programação de aplicações do *Copernicus Climate Data Store* (cdsapi), executada em ambiente Google Colab para garantir a reprodutibilidade e a eficiência no manuseio das matrizes multidimensionais. O protocolo metodológico inicia-se com a etapa rigorosa de validação estatística, na qual os dados simulados pelo modelo são confrontados com as observações reais de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As variáveis listadas na Tabela 1, como Precipitação Total e Temperatura do Ar, são comparadas par a par nas mesmas coordenadas geográficas das estações, utilizando métricas de erro como a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para atestar a confiabilidade da reanálise localmente.

Tabela 1 - Variáveis do ERA5-Land selecionadas para o desenvolvimento dos indicadores hidroclimáticos em Pernambuco.

Variável	Unidade	Descrição e Aplicação no Estudo
total_precipitation	m	Precipitação total acumulada. Base para cálculo de entrada de água no sistema.
2m_temperature	K	Temperatura do ar a 2m. Fundamental para validação com INMET e cálculo de demanda atmosférica.
2m_dewpoint_temperature	K	Temperatura do ponto de orvalho. Usada para calcular o Déficit de Pressão de Vapor (VPD).
skin_temperature	K	Temperatura da superfície. Indicador de estresse térmico da vegetação e ilhas de calor.
volumetric_soil_water_layer_1	m3/m3	Umidade do solo (0-7 cm). Indicador de resposta rápida a chuvas e seca agrícola imediata.
volumetric_soil_water_layer_4	m3/m3	Umidade do solo (100-289 cm). Indicador de status das reservas subterrâneas.
total_evaporation	m	Evapotranspiração real. Soma da transpiração, evaporação do solo e de dossel.
potential_evaporation	m	Evapotranspiração potencial. Representa a demanda atmosférica máxima por água.
surface_sensible_heat_flux	J/m2	Fluxo de calor sensível. Energia usada para aquecer o ar. Numerador da Razão de Bowen.
surface_latent_heat_flux	J/m2	Fluxo de calor latente. Energia usada para evaporar água. Denominador da Razão de Bowen.

surface_runoff	m	Escoamento superficial. Indicador de cheias rápidas e impermeabilização do solo.
sub_surface_runoff	m	Escoamento subsuperficial. Contribuição para a vazão de base dos rios.

---

Fonte: Autores (2025).

Superada a fase de validação, o estudo aplica as variáveis avançadas para o desenvolvimento de quatro produtos cartográficos inéditos de diagnóstico hídrico. Primeiramente, será gerado o Mapa de Razão de Bowen ( $\beta$ ), calculado conforme a Equação 1:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (1)$$

Onde H representa o Fluxo de Calor Sensível ( $J/m^2$ ) e LE representa o Fluxo de Calor Latente ( $J/m^2$ ). Este mapa identificará zonas de aridificação acelerada, onde a energia solar é consumida majoritariamente para aquecer o ar, um processo típico de desertificação, em vez de evaporar água. Em seguida, será elaborado o Mapa de Índice de Estresse Evaporativo (ESI), definido pela Equação 2:

$$ESI = 1 - \frac{ET_{real}}{ET_{potencial}} \quad (2)$$

Onde  $ET_{real}$  corresponde à evapotranspiração total e  $ET_{potencial}$  à evapotranspiração potencial. Utilizando essas variáveis, este mapa destacará áreas onde a vegetação sofre estresse hídrico agudo, caracterizando a seca agrícola, mesmo em cenários onde a chuva recente tenha ocorrido dentro da normalidade, mas a demanda atmosférica tenha sido excessiva.

Para a análise do armazenamento de água, será desenvolvido o Mapa de Desacoplamento do Solo, que consiste na análise da correlação cruzada entre a umidade da camada superficial (layer\_1: 0-7cm) e a camada profunda (layer\_4: 100-289cm). Este produto visa identificar áreas onde a recarga de aquíferos foi interrompida, sinalizando uma desconexão hidráulica crítica. Por fim, o estudo apresentará o Mapa de Coeficiente de Escoamento Superficial (C), calculado pela razão entre o escoamento superficial (*Runoff*) e a Precipitação total. Este indicador será útil para identificar áreas urbanas na Bacia do Capibaribe com alta impermeabilização e risco de cheias relâmpago, bem como áreas rurais com baixa capacidade de infiltração. Todas as variáveis são manipuladas utilizando as bibliotecas xarray e rioarray, garantindo a precisão geoespacial dos produtos gerados.

## RESULTADOS

A partir da aplicação desta metodologia, espera-se confirmar uma alta correlação entre os dados do ERA5-Land e as estações do INMET para as variáveis termodinâmicas, validando o uso do modelo para o preenchimento de falhas históricas (Araújo *et al.*, 2022). Os mapas derivados da Razão de Bowen projetam revelar uma expansão das áreas com valores elevados no Sertão Central, indicando uma perda progressiva da capacidade de resfriamento evaporativo da superfície, um sintoma claro de degradação ambiental. A análise de Desacoplamento do Solo deve demonstrar uma desconexão significativa durante a seca de 2025, onde a umidade superficial pode apresentar recuperação pontual, enquanto as camadas profundas permanecem em déficit crítico, explicando a persistência

da crise de abastecimento. Além disso, o mapeamento do ESI deve identificar zonas de vulnerabilidade na agricultura de sequeiro do Agreste que não são detectadas apenas pelos índices pluviométricos, fornecendo subsídios técnicos mais precisos para a decretação de situações de emergência (De Araújo; Silva; De Almeida, 2025)).

## CONCLUSÕES

Conclui-se que a reanálise ERA5-Land, quando explorada em sua totalidade de variáveis físicas, constitui uma ferramenta indispensável para a modernização da gestão hídrica em Pernambuco. A capacidade de gerar mapas contínuos de balanço de energia e umidade do solo em múltiplas profundidades permite aos gestores visualizar a "seca invisível" e antecipar cenários de colapso hídrico com maior antecedência. Recomenda-se a integração operacional dessas rotinas computacionais nos órgãos estaduais, permitindo um monitoramento dinâmico que transcende a pluviometria básica e incorpora a inteligência de dados climáticos na tomada de decisão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, via PRH 48.1/UFPE (Processos ANP/FINEP N°48610.201019/2019-38 e FAPESP N°2024/10544-2), suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de P, D&I da Resolução ANP n° 50/2015. Agradece-se também a concessão da bolsa de mestrado (Processo N° 2025/17670-6).

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Caio Sérgio Pereira de *et al.* Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 5, p. 381, 20 abr. 2022.

BEZERRA, Bergson G. *et al.* Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 135, n. 1, p. 565–576, 1 jan. 2019.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. **ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present**. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), , 2019. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/doi/10.24381/cds.68d2bb30>>. Acesso em: 26 nov. 2025

DE ARAÚJO, Caio S. P.; SILVA, José R. I.; DE ALMEIDA, Ceres D. G. C. Total precipitation and air temperature data obtained from ERA5-Land reanalysis: validation and accuracy. **Revista Caatinga**, v. 38, p. e12578, 2025.

SOUZA, Luciana Sandra Bastos de *et al.* Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 627–636, 2015.