



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

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

MODELAGEM COMPUTACIONAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA: AVALIAÇÃO DE FONTES DE DADOS (INMET VS. NASA POWER)

Gladistony Silva Lins¹; Sabrina da Silva Corrêa Raimundo² & Fábio Novaes³

Palavras-chave: Aprendizado de Máquina, Sensoriamento Remoto, Penman-Monteith.

INTRODUÇÃO

A gestão eficiente de recursos hídricos é vital para o desenvolvimento sustentável do Semiárido Brasileiro, região marcada por precipitações irregulares e altas taxas de evapotranspiração (LOPES; LEAL, 2015). Nesse cenário, a quantificação precisa da Evapotranspiração de Referência (ET_o) torna-se imperativa para a agricultura irrigada (ALLEN *et al.*, 1998). Embora o método de Penman-Monteith (FAO-56) seja o padrão-ouro, sua aplicação é limitada pela frequente ausência de variáveis climáticas completas em estações meteorológicas convencionais (ALLEN *et al.*, 1998).

Como alternativa, métodos simplificados e dados de sensoriamento remoto, como a plataforma NASA POWER, podem suprir lacunas das estações do INMET (NASA, 2025; INMET, 2025). Contudo, a intercambialidade entre dados de superfície e satélite não é trivial, sendo sujeita a vieses sistemáticos que podem propagar erros significativos nos modelos. Validar essa consistência é, portanto, um passo obrigatório para garantir a aplicabilidade prática dessas tecnologias no campo.

Este trabalho propõe uma análise comparativa e validação de dados para o cálculo da ET_o no Agreste Pernambucano, nas cidades de Caruaru e Arcoverde. O estudo investiga a correlação entre as fontes INMET e NASA POWER, avalia o impacto do tratamento de dados nas séries temporais e valida a acurácia de diferentes métodos de estimativa de ET_o alimentados por sensores remotos, visando fundamentar o uso dessas ferramentas na ausência de estações físicas de superfície.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Agreste Pernambucano, nas cidades de Caruaru e Arcoverde, integrando medições das estações automáticas do INMET (A341 e A309) e estimativas da plataforma NASA POWER via banco de dados PostgreSQL, com dados coletados no período

1) Afiliação: Unidade Acadêmica de Belo Jardim, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Km 03, Euno Andrade da Silva, (81) 3320-6930, gladistony.silva@ufrpe.br.

2) Afiliação: Unidade Acadêmica de Belo Jardim, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Km 03, Euno Andrade da Silva, (81) 3320-6930, sabrina.correa@ufrpe.br.

3) Afiliação: Unidade Acadêmica de Belo Jardim, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Km 03, Euno Andrade da Silva, (81) 3320-6930, fabio.novaes@ufrpe.br

de 2019 a 2025. O pré-processamento incluiu a imputação de dados faltantes por regressão linear e interpolação, além de uma auditoria de homogeneidade que corrigiu discontinuidades causadas pela realocação das estações em 2019.

Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diferem quanto às variáveis meteorológicas requeridas. O método Penman–Monteith FAO-56 integra temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, além de variáveis astronômicas auxiliares. O método Hargreaves–Samani baseia-se exclusivamente em dados de temperatura do ar e radiação extraterrestre estimada a partir da latitude e do dia do ano. Os métodos Blaney–Criddle e Thornthwaite utilizam apenas a temperatura média do ar, com correções associadas ao fotoperíodo, sendo este último aplicado em escala mensal. Por sua vez, o método Priestley–Taylor fundamenta-se no balanço de energia, empregando radiação líquida e temperatura do ar, sem considerar explicitamente os efeitos aerodinâmicos. As variáveis astronômicas auxiliares incluem latitude, dia do ano, duração do dia e radiação extraterrestre. (SANTOS et al., 2021)

Para validação das fontes, utilizou-se métricas estatísticas de precisão e acurácia: o Coeficiente de Determinação (R^2), adimensional, variando entre 0 e 1, o Erro Médio Absoluto (MAE), a Raiz do Erro Quadrático Médio ($RMSE$) e o Viés Médio ($Bias$). Tais índices foram aplicados às variáveis meteorológicas isoladas e aos resultados finais da ET_o .

RESULTADOS

A validação das variáveis meteorológicas, descrita na Tabela 1, realizada tendo a estação INMET como referência (*ground truth*), indicou que a temperatura do ar possui a maior confiabilidade entre as fontes ($R^2 > 0,56$), enquanto radiação e vento exibem correlações baixas e viés positivo sistemático. Isso sugere que os modelos que não dependem dessas variáveis devem se sair melhor na comparação entre as diferentes fontes de dados.

Tabela 1: Validação das Variáveis Meteorológicas (NASA POWER vs. INMET)

Localidade	Variável	<i>Bias</i>	<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	R^2
Arcoverde	Temperatura (°C)	0,124	0,959	1,441	0,677
	Umidade (%)	2,897	5,240	7,355	0,666
	Radiação (MJ/m ²)	2,381	2,985	4,921	0,472
	Vento (m/s)	1,852	1,859	2,022	0,429
Caruaru	Temperatura (°C)	1,259	1,461	1,869	0,564
	Umidade (%)	-3,570	5,570	7,202	0,554
	Radiação (MJ/m ²)	1,667	3,899	4,909	0,308
	Vento (m/s)	2,174	2,178	2,313	0,333

A Tabela 2 mostra a performance dos diferentes modelos de ET_o . O modelo de Thornthwaite

foi o mais resiliente à mudança de fonte de dados ($R^2 = 0,962$), dependente apenas da temperatura. Porém, sua estabilidade não reflete acurácia física, apresentando baixa correlação com o padrão-ouro, descrito na Tabela 3. Hargreaves-Samani destacou-se como a alternativa mais fiel sob condições de ruído, superando Penman-Monteith via satélite em Arcoverde ($MAE = 0,729$ mm/dia). A análise das médias diárias de ET_o (*Bias* na Tabela 2) evidencia o risco de superestimativa no manejo hídrico, com o modelo de Penman-Monteith via satélite gerando os maiores excedentes.

Tabela 2: Desempenho dos Modelos de ET_o comparando dados de Satélite vs. Estações em mm/dia (ordenados por R^2)

Localidade	Modelo de ET_o	<i>Bias</i>	<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	R^2
Arcoverde	Thornthwaite	0,011	0,027	0,034	0,962
	Hargreaves-Samani	0,422	0,498	0,728	0,751
	Penman-Monteith	0,739	0,832	1,155	0,684
	Blaney-Criddle	0,045	0,422	0,652	0,654
	Priestley-Taylor	0,725	0,894	1,461	0,502
Caruaru	Thornthwaite	0,106	0,106	0,128	0,764
	Hargreaves-Samani	0,625	0,688	0,842	0,725
	Blaney-Criddle	0,527	0,613	0,781	0,572
	Penman-Monteith	0,942	1,080	1,380	0,513
	Priestley-Taylor	0,589	1,207	1,513	0,316

Nota: Comparação realizada tendo a estação INMET como referência (ground truth).

Tabela 3: Comparativo dos Modelos Simplificados vs. Penman-Monteith Estação (Padrão-Ouro)

Estação	Modelo	Fonte	<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	R^2
Arcoverde	Hargreaves-Samani	Estação	0,540	0,719	0,754
		Satélite	0,729	1,039	0,579
	Penman-Monteith	Satélite	0,832	1,155	0,684
		Priestley-Taylor	Estação	1,144	1,287
	Satélite		1,694	1,891	0,677
	Thornthwaite	Estação	1,151	1,383	0,240
		Satélite	1,149	1,380	0,251
	Blaney-Criddle	Estação	4,456	4,659	0,207
		Satélite	4,501	4,656	0,323
	Caruaru	Hargreaves-Samani	Estação	0,610	0,755
Satélite			1,085	1,337	0,445

Penman-Monteith	Satélite	1,080	1,380	0,513
Priestley-Taylor	Estação	1,339	1,464	0,883
	Satélite	1,924	2,196	0,408
Thornthwaite	Estação	1,034	1,243	0,356
	Satélite	1,074	1,286	0,249
Blaney-Criddle	Estação	4,595	4,678	0,506
	Satélite	5,123	5,227	0,311

Nota: As métricas comparam cada configuração com o modelo Penman-Monteith (INMET).

CONCLUSÕES

Este estudo validou o uso de dados do NASA POWER para estimativa da ET_o no Agreste Pernambucano, identificando algumas limitações. A superestimativa da velocidade do vento e incertezas na radiação solar orbitais elevam o desvio do modelo Penman-Monteith com dados de satélite para patamares superiores a 1,0 mm/dia com relação às estações. O modelo de Hargreaves-Samani é o mais recomendado para dados de satélite, apresentando maior fidelidade ao padrão-ouro de superfície e erros comparáveis ao padrão-ouro via satélite. Embora estável entre fontes, o modelo de Thornthwaite mostrou-se inadequado para irrigação de precisão devido à baixa correlação com o padrão-ouro ($R^2 = 0,251$).

Para o planejamento hídrico em áreas sem estações físicas, como Belo Jardim, o uso de sensoriamento remoto com modelos baseados em temperatura (Hargreaves-Samani) é uma estratégia alternativa eficaz. Esses achados fundamentam o monitoramento climático digital, exigindo calibrações regionais para mitigar desperdícios hídricos e garantir a sustentabilidade no semiárido.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. [S.l.]: FAO, Rome, 1998. v. 300. D05109 p.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Dados Históricos Meteorológicos*. 2025. Acesso em: 15 set. 2025. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>.
- LOPES, I.; LEAL, B. G. Índice de aridez e tendência à desertificação para estações meteorológicas nos estados da Bahia e Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015.
- NASA. *Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)*. 2025. Acesso em: 15 set. 2025. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/>>.
- SANTOS, A. A.; MEDEIROS, G. A.; HELFER, F. Comparison of 18 reference evapotranspiration models with the Penman-Monteith method in different time scales. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/5NHfZVKKhJ5GsqrJP8cdyQt/>. Acesso em: 09 jan. 2026.