

Revista Brasileira de Geografia Física



ISSN:1984-2295

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Evapotranspiração de Referência: Uma Formulação através da Análise Dimensional

Samyr Barata Chebly¹, Enilson Palmeira Cavalcanti², Vicente de Paulo Rodrigues da Silva³, Ellen Siany Sampaio Lima⁴

¹ Mestre em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882 - Bairro: Universitário, CEP 58429-900, Campina Grande, Paraíba. (83) 99672-0543. samyrchebly@gmail.com (autor correspondente). ^{2,3} Professor Titular de Pós-Graduação da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Rua Aprígio Veloso n° 882, CEP 58429-140, Campina Grande, Paraíba. (83) 2101-1054. enilson@dca.ufcg.edu.br, vicente.paulo@edu.br, ⁴ Mestranda em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882 - Bairro: Universitário, CEP 58429-900, Campina Grande, Paraíba. (83) 98654-7558. ellensianysl@gmail.com

Artigo recebido em 01/10/2018 e aceito em 15/03/2019

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo obter uma expressão para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) usando a técnica de analise dimensional. Foram selecionadas oito localidades, sendo duas em cada mesorregião do estado da Paraíba: Sertão Paraibano, Borborema, Agreste Paraibano e Mata Paraibana. A série de dados utilizada nesta pesquisa correspondeu ao período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013 da evapotranspiração de referencia (mm/dia), saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹), umidade relativa do ar (%), temperaturas máxima e mínima (°C) foram extraídos de arquivos em pontos de grade para o Brasil, (Xavier et al. 2016). Os resultados indicam que a técnica de análise dimensional é eficiente na determinação da ET_o . O melhor ajuste verificado, para todas as localidades em estudo, foi o logarítmico. Os resultados apresentam correlações estatisticamente significativas ao nível de 99% (α =0,01) em todas as localidades analisadas.

Palavras-chave: Evapotranspiração, Análise dimensional, Paraíba.

Reference Evapotranspiration: A Formulation through Dimensional Analysis

ABSTRACT

The objective of this work is to obtain expression for the calculation of reference evapotranspiration (ET_o) using the dimensional analysis technique. Eight localities were selected, two in each mesoregion of Paraíba state: Sertão Paraíbano, Borborema, Agreste Paraíbano and Mata Paraíbana. The data series used in this research corresponded to the period from January 1 to December 31, 2013, of reference evapotranspiration (mm/day), radiation balance (MJ m⁻² day⁻¹), relative humidity, maximum and minimum temperatures (°C) were extracted from files at grid points for Brazil (Xavier et al., 2016). The results indicate that the dimensional analysis technique is efficient in the determination of ET_o . The best fit for all the study sites was logarithmic. The results showed statistically significant correlations at the 99% level (α =0,01) in all the analyzed locations.

Keywords: Evapotranspiration, Dimensional analysis, State of Paraiba.

Introdução

A região Nordeste do Brasil (NEB) caracteriza-se pela irregularidade espaço/temporal da precipitação e processos de escoamento e erosão dos solos, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano. Assim, a região NEB é considerada como uma região anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da

precipitação ao longo do ano (Souza et al., 1998). O NEB apresenta alta variabilidade no clima, abrangendo desde regiões semiáridas, com precipitação anual acumulada inferior a 500 mm, até climas chuvosos nas regiões costeiras, que apresentam precipitação anual superior a 1500 mm conforme Oliveira (2014). Os regimes de chuvas se apresentam de forma heterogênea tanto na escala espacial quanto nas escalas de tempo. Segundo o

último relatório do *Intergovernamental Panel on Climate Change* (IPCC), o NEB é uma região altamente susceptível às mudanças climáticas, além de ser uma região sujeita à ocorrência de eventos de precipitação intensa; contudo ainda existem poucos estudos sobre a climatologia destes episódios na região.

Na Paraíba os termos "sertões", onde a vegetação de caatinga está incluída preponderantemente, e o "semiárido" paraibano não estão referidos como territórios equivalentes. À mesorregião do Sertão somam-se às da Borborema, Agreste e parte da Mata Paraíba e pela denominação das áreas de entorno, na união das zonas áridas, semiáridas e as sub-úmidas secas. Os 223 municípios existentes no estado apresentam grau ou índice de aridez entre 0,21 e 0,65. A grande parte das terras onde ocorrem ou que estão sob risco de desertificação na Paraíba tem como causas o desmatamento excessivo, a superpastagem, o uso inadequado da irrigação. Na base desses problemas estão o pequeno acesso a conhecimentos e tecnologias que possam gerar usos mais sustentáveis dos solos (Azevedo, 2011). Estudos já indicam que o clima no semiárido está cada vez mais seco, a temperatura máxima da região tem apresentado aumento significativo e as áreas sofrem com chuvas mais intensas, mas com intervalos maiores que a média histórica.

A associação entre mudanças no uso e ocupação da terra e mudanças climáticas de origem global sugere que se investiguem as trocas radiativas entre a atmosfera e a superfície podem impactar fortemente as atividades agropecuárias da região. Neste contexto, estudos voltados para a evapotranspiração são importantes para o manejo adequado das atividades agrícolas, evitando assim, as consequências desastrosas causadas pelo manejo inadequado do solo, bem como contribuir para a mitigação de problemas futuros.

Francisco et al. (2017) demonstraram que as estimativas de ETo mensais para o Estado da Paraíba apresentam dependência da localização geográfica, sobretudo da topográfica local, assim como Souza et al. (2017) ao comparar métodos alternativos com métodos padrão de evapotranspiração de referência, indicaram que para diferentes regiões os métodos alternativos devem ser testados individualmente.

Relacionado a estas questões, Moura et al. (2013) enfatizam que estudos da evapotranspiração são importantes para o planejamento agrícola, sendo cada vez maior a exigência de informações

sobre as necessidades hídricas das culturas para o planejamento regional e preliminar de projetos. Este estudo se torna mais importante em regiões caracterizadas pela irregularidade espacial e temporal da precipitação, e pela escassez de reservas naturais de água, como nas áreas áridas e semiáridas do Nordeste do Brasil.

Os processos climáticos do (NEB) são complexos e associados ao comportamento de vários sistemas de circulação atmosférica, dentre os mais atuantes são os sistemas frontais (Kousky, 1979), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Uvo, 1989), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (Kousky e Gan, 1981) e os Distúrbios de Leste (Espinoza, 1996), como também os fatores orográficos, de maritimidade e continentalidade, resultando em uma grande variabilidade espacial e temporal das variáveis meteorológicas, como a precipitação, temperatura, umidade relativa e regime hidrológico, e em especial no Estado da Paraíba. A agricultura é uma das atividades que mais depende do tempo e clima, e seu fator econômico são responsáveis por aproximadamente 60 a 70% da variabilidade final da produção (Ortolani e Camargo, 1987). Estudos mostram que devido aos efeitos climáticos, atividades humanas (Oliveira et al., 2014) e situações como a ausência de chuvas afetada negativamente toda a atividade agrícola (Castro e Reichardt, 1980), levando a graves impactos sociais e econômicos sem precedentes (Sousa et al., 2004).

A evapotranspiração (ET) é controlada pela disponibilidade energética que depende da localidade e da estação do ano, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (Pereira et al., 1997). Basicamente, a ET representa a água teoricamente necessária para não faltar nem sobrar umidade no solo, e é utilizada na determinação do balanço hídrico para a identificação dos períodos de excesso ou escassez de água (Camargo, 1999; Barros et al., 2012; Costa et al., 2015). Por outro lado, Dingman (2002) afirma que o termo evapotranspiração abrange todos os processos no qual a água líquida é transformada em vapor de água na superfície terrestre, incluindo a evaporação da água no dossel das plantas, corpos d'água, solos e a transpiração das plantas.

De acordo com Carvalho et al. (2011), muitos métodos foram desenvolvidos para a estimativa da evapotranspiração de referência, que foram ajustados às condições climáticas da região, simplicidade de uso e limitação de elementos meteorológicos ou climatológicos. A diversidade desses métodos se dá em razão da grande variabilidade dos parâmetros que influenciam o fenômeno. Considerando o empirismo de muitos deles existe sempre a necessidade de pesquisas para avaliar o método que tem maior aplicabilidade ao local de estudo.

Os índices de evaporação potencial são pelas variáveis meteorológicas estimulados (radiação, pressão de vapor, velocidade do vento e temperatura do ar). Diferentes métodos para estimar evaporação potencial a partir de uma ou mais variáveis foram desenvolvidos de acordo com as condições climáticas locais e disponibilidade de dados adequados (Shuttleworth, 1993); Singh e Xu, 1997); Xu e Singh, (2000; 2001). Segundo a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e também a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) consideraram como padrão o método Penman-Monteith (Allen et al., 1998) para estimativas de evapotranspiração de referencia.

De acordo com Cengel e Cimbala (2007), o principio da homogeneidade consiste em que toda a equação que demonstra uma lei física ou descreve um processo físico que deve ser homogênea, ou seja, todos os termos da equação devem ter as mesmas condições. Através do teorema de Pi de Buckinghan, a análise dimensional é baseada na análise das variáveis e parâmetros que governam um fenômeno e permite encontrar a relação entre as variáveis que formam parâmetros adimensionais, ou seia, é um meio para simplificação de um problema físico empregando a homogeneidade dimensional para reduzir o número das variáveis de análise. Ao ser menor o número de variáveis ou parâmetros, é possível organizar e expressar, mas eficazmente os resultados. Entretanto, a analise dimensional não pode proporcionar uma resposta completa para qualquer problema, devido a mesma ser um instrumento que apenas indica os grupos adimensionais que descrevem o fenômeno e não as relações especificas entre os grupos adimensionais segundo (Munson et al., 2004). Neste sentido, este trabalho

tem como objetivo obter uma expressão para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET₀) utilizando-se a técnica de analise dimensional.

Material e métodos

As áreas de estudo estão localizadas no Estado da Paraíba na Região Nordeste do Brasil (NEB) em destaque na (Figura 1), e compreende a região entre longitude de 34°45'W e 38° 45'W e latitude de 6°02'S e 8° 19'S, com uma população de 3.766.528 habitantes, possui uma extensão territorial de 56.468.427 km², contendo 04 mesorregiões, 23 microrregiões e 223 municípios (Fonte/IBGE2016). Os municípios em estudo são: João Pessoa e Sapé (Zona da Mata); Campina Grande e Guarabira (Agreste); Monteiro e Santa Luzia (Borborema); Patos e Sousa (Sertão).

Estas localidades são relacionadas na Tabela 1 com as respectivas coordenadas geográficas. Segundo a classificação climática de (Köppen e Geiger,1928; Francisco e Santos, 2017), no estado da Paraíba predominam climas dos tipos: As' (quente e úmido), no período de outono – inverno e compreende entre o planalto da Borborema, parte da Mata Paraibana e parcialmente a região do Agreste, também o Bsh' que é semiárido quente onde predominam nas regiões do Agreste Paraibano e da Borborema e a Aw' (quente e úmido) no período de verão – primavera na mesorregião do Sertão Paraibano.

Foram utilizados dados meteorológicos diários formatados para o *Grid Analysis and Display System* (GrADS), disponibilizados por Xavier et al. (2016), https://utexas.app.box.com/v/xavier-etal-ijoc-data. O período selecionado para a pesquisa compreende 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013. As variáveis meteorológicas selecionadas foram as seguintes: evapotranspiração de referência (ET_0), saldo de radiação (Rn), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) e umidade relativa (UR).

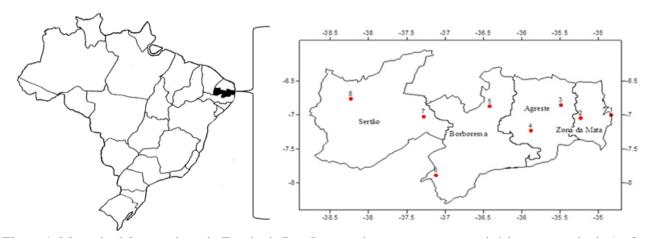


Figura 1. Mapa das Mesorregiões do Estado da Paraíba com destaque para os municípios em estudo de 1 a 8

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos municípios de estudo.

Nº	Localidades	Latitude Sul	Longitude Oeste	Altitude (m)
1	João Pessoa	07°05'00''	34°50'00''	040
2	Sapé	07°05'42''	35°13'58''	123
3	Guarabira	06°51'18''	35°29'24''	097
4	Campina Grande	07°13'50''	35°52'52''	551
5	Santa Luzia	06°52'19''	36°55'08''	299
6	Monteiro	07°53'20''	37°07'12''	599
7	Patos	07°01'28''	37°16'48''	242
8	Sousa	06°45'39''	38°13'51''	200

Penman (1963) explica que as limitações dos métodos empíricos são reconhecidas tanto por seus críticos como por seus autores, mas, enquanto prosseguem as buscas por melhores soluções, eles podem fornecer valores de consumo de água para uso em balanço hídrico e, nas melhores condições, valores que são, pelo menos, tão precisos quanto os que podem ser obtidos por medidas diretas no campo e o fazem de modo mais fácil. Adotou-se como padrão, em 1998, a estimativa da evapotranspiração de referência à FAO/56.

Neste estudo os dados da evapotranspiração de referência (ET_0) foram calculados conforme a metodologia proposta por Allen et al. (1998) com base em Penman-Monteith, parametrizado pela FAO. Este método é representado pela expressão:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$
(1)

em que:

 R_n é o saldo de radiação (MJ/m⁻² dia ⁻¹); G é o fluxo de calor no solo (MJ/m⁻² dia ⁻¹); T é a temperatura média diária do ar (°C); u_2 é a velocidade média diária do vento a

2 m de altura (ms⁻¹); e_s é a pressão de saturação do vapor média diária (kPa);

 e_a é a pressão de vapor média diária (kPa);

 Δ é a declividade da curva de pressão de vapor do ponto correspondente a temperatura (kPa $^{\circ}$ C $^{-1}$)

γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

As séries temporais diárias, de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013 (365 dias) para as cinco variáveis escolhidas foram intercorrelacionadas uma a uma e aplicação o teste t de Student em nível de significância estatística de 99% (α =0,01).

As dimensões das cinco grandezas escolhidas para a análise dimensional são as seguintes:

Evapotranspiração de Referencia (ET_o): $ML^{-2}T^{-1}$

Saldo de radiação (Rn): MT⁻³ Temperatura mínima (Tmin): θ Temperatura máxima (Tmáx): θ Umidade relativa do Ar: UR

Portanto, de acordo com o teorema π de Vaschy-Buckingham. Este teorema é fundamental na análise dimensional, pois estabelece que, se em uma equação física envolvendo um número n de variáveis físicas dimensionais, sendo aue estas variáveis são representadas por *r* dimensões físicas fundamentais independentes, tal como:

$$F(ET_0, Rn, Tmin, Tmax, UR) = 0.$$
 (4)

Assim, sendo usados cinco paramentos (m=5) e quatro dimensões (n=4), possibilitando um parâmetro adimensional π (m-n) segundo o teorema π (Victor, 1982), expresso por:

$$\pi \propto (ET_0)^{a1}(Rn)^{a2}(Tmin)^{a3}(Tmax)^{a4}(UR)_{(5)}$$

$$M^0L^0T^0\theta^0 \propto (ML^{-2}T^{-1})^{a_1}(MT^{-3})^{a_2}(\theta)^{a_3}(\theta)^{a_4}$$
(6)

Resolvendo em relação a cada dimensão obtém-se um sistema de equações de quatro equações a quatro incógnitas, cuja solução é a1 = 1; a2 = -1; a3 = 1; a4 = -1. Logo:

$$\pi \propto \frac{ET_0 Tmin UR}{Rn Tmax} \tag{7}$$

$$ET_0 \propto \frac{Cte.R_nTmax}{UR\ Tmin}$$
 (8)

Deste modo, foi analisada as curvas de dispersão de ET_o em função de ($Cte.\ R_n\ Tmax/UR\ Tmin$), cujo melhor ajuste foi o logaritmo.

$$ET_0 = a \ln \left(\frac{R_n T max}{UR T min} \right) + b \tag{9}$$

Resultados e discussão

As correlações entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e as variáveis meteorológicas utilizadas neste trabalho (umidade relativa (UR), saldo de radiação (Rn), temperaturas máximas

(*Tmáx*) e mínimas (*Tmin*) são apresentadas na Tabela 2. Verifica-se haver correlação positiva e negativa, classificadas como fraca, moderada e forte, conforme (Devore, 2006). É observado, também, correlações fortes tanto positivas quanto negativas que ocorrem entre *ET_o* x *Rn*, *ET_o* x *Tmáx*, *Tmáx* x *Rn*, *ET_o* x *UR*, *UR* x *Rn* e *UR* x *Tmáx* para as localidades de Joao Pessoa, Sapé, Campina Grande, Guarabira, Santa Luzia, Monteiro, Patos e Souza.

Verifica-se, ainda, que as correlações entre a Tmin com ET_o , UR, Rn e $Tm\acute{a}x$ apresentam correlações classificadas como fraca, moderada e forte. Por outro lado, para João Pessoa as correlações entre Tmin x ET_o e Rn (UR) foram moderadas, exceto para $Tm\acute{a}x$ que foi forte, enquanto para Sape correlação entre ET_o e Tmax (UR) é moderada, enquanto que para Rn, obteve-se uma fraca correlação. Para Campina Grande e Guarabira foram obtidas correlações fracas entre Tmin com UR e Rn e moderadas entre Tmin com a ETo e $Tm\acute{a}x$, exceto para Guarabira que apresenta uma correlação forte entre Tmin x $Tm\acute{a}x$.

Nas localidades de Santa Luzia e Monteiro a relação entre a *Tmin* com *ETo*, *UR* e *Rn* exibiram correlações variando entre fraca e moderada para *Tmin* x *Tmáx*; enquanto para Patos as comparações entre Tmin x Tmáx e Tmin x ETo para Sousa mostram correlações moderadas e fortes e para as demais variáveis obtiveram-se correlações fracas ou ausência da correlação. O teste t de Student apresentou correlações estatisticamente significativas para a maioria das variáveis. Em seu estudo Filho et al. (2015) ao abordar a análise trilha que é um método bastante eficaz para a estimar o coeficiente de correlação entre as variáveis meteorológicas e a evapotranspiração, observaram que a radiação solar foi a variável que mais influencia a evapotranspiração, assim como a umidade relativa influência negativamente a ETo.

A Figura 2 apresenta as correlações logarítmicas entre a evapotranspiração de referência (*ETo*) de Penman Monteith e pelo método proposto de análise dimensional das variáveis meteorológicas: *UR*, *Rn*, *Tmáx e Tmin*. É observado que em todas as figuras apresentam correlações positivas com coeficientes de determinação (r²) satisfatórios, entre os dois métodos de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman Monteith e pelo método de análise dimensional calculado por *Rn* x *Tmáx/UR* x *Tmin* para as localidades analisadas no estudo. Essa comparação

resultou nos seguintes resultados de coeficiente de correlação: 0,9492 em João Pessoa (Figura 2a), 0,9594 em Sape (Figura 2b), 0,94 para Campina Grande (Figura 2c), 0,9413 em Guarabira (Figura

2d), 0,8956 para Monteiro (Figura 2e), 0,8748 em Santa Luzia (Figura 2f), 0,8685 em Patos (Figura 2g) e de 0,898 para o município de Sousa (Figura 2h).

Tabela 2. Valores dos coeficientes de correlação (*r*) entre as variáveis meteorológica para as localidades observadas no Estado da Paraíba – PB.

A) João	o Pessoa					B) Sapé				
	ЕТо	UR.	Rn	Tmáx	Tmin	ЕТо	UR.	Rn	Tmáx	Tmin
ЕТо	1					1				
UR	-0,94	1				-0,94	1			
Rn	0,96	-0,86	1			0,96	-0,86	1		
Tmáx	0,82	-0,78	0,72	1		0,86	-0,80	0,76	1	
Tmin	0,65	-0,64	0,49	0,76	1	0,59	-0,56	0,27	0,67	1
C) Campina Grande					D) Guarabira					
ЕТо	1					1				
UR	-0,93	1				-0,95	1			
Rn	0,94	-0,83	1			0,95	-0,86	1		
Tmáx	0,88	-0,83	0,76	1		0,86	-0,81	0,76	1	
Tmin	0,45	-0,39	0,27	0,67	1	0,42	-0,35	0,26	0,70	1
E) Santa Luzia				F) Monteiro						
ETo	1					1				
UR	-0,89	1				-0,93	1			
Rn	0,90	-0,80	1			0,92	-0,84	1		
Tmáx	0,88	-0,83	0,83	1		0,87	-0,86	0,81	1	
Tmin	0,32	-0,28	0,19	0,53	1	0,29	-0,31	0,09	0,49	1
G) Pate	os					H) Sous	a			
ETo	1					1				
UR	-0,89	1				-0,89	1			
Rn	0,88	-0,77	1			0,90	-0,75	1		
Tmáx	0,85	-0,81	0,79	1		0,85	-0,77	0,79	1	
Tmin	0,20	-0,17	0,09	0,40	1	0,83	0,09	-0,12	0,12	1

Correlações em preto são significativas a 99% (α =0,01)

Os municípios de Joao Pessoa e Sape (Figuras 2a e 2B) e na região do Agreste onde estão os municípios de Campina Grande e Guarabira

(Figuras 2c e 2d) apresentaram maiores valores de r² e para os outros municípios no interior do estado, como Monteiro, Santa Luzia, Patos e Sousa (Figura

2e, 2f, 2g e 2h), apresentaram os menores valores de r². A razão para isso pode está associada a fatores relacionados ao clima da região. Os resultados obtidos neste estudo foram semelhantes àqueles de Henrique e Dantas (2007) e Mendonça e Dantas (2010) que utilizando outros métodos de comparação de *ETo* para o Município de Campina Grande e Capim-PB, obtiveram bons coeficientes de determinação, para as estações de verão, outono,

inverno e primavera com alta significância estatística e nos resultados obtidos por Silva et al.(2015) que comparando os valores de evapotranspiração da cana-de-açucar pelos métodos do balanço hídrico e Priestley-Taylor apresentaram correlações satisfatórias e significativos a nível de 5% pelo teste t-student.

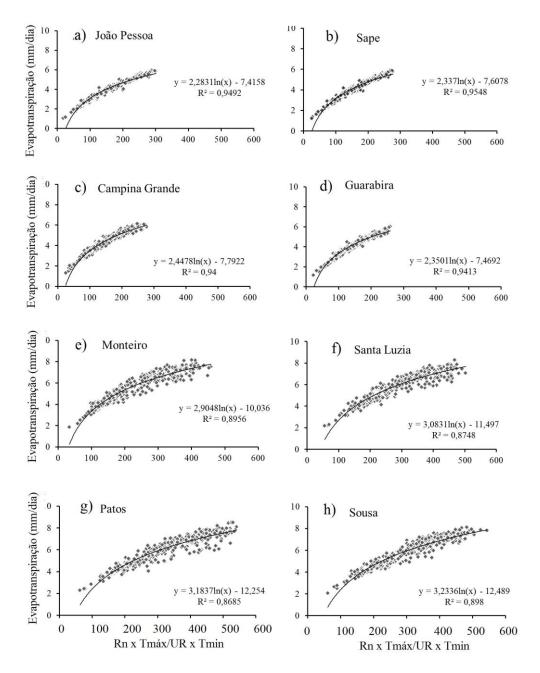


Figura 2. Correlação logarítmicas entre a evapotranspiração de referência pelo método de Penman Monteith e grupo de variáveis (*Rn* x *Tmáx*)/(*UR* x *Tmin*) para as localidades de a) João Pessoa, b) Sapé, c) Campina Grande, d) Guarabira, e) Monteiro, f) Santa Luzia, g) Patos e h) Sousa para o período 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013.

Na Tabela 3 encontram-se a correlação de Pearson (r) entre os valore da evapotranspiração de referencia pelo métodos de Penman-Monteith e a analise dimensional para os municípios agrupados dentro das mesorregiões do estado da Paraíba. Verificam-se correlações satisfatórias, com forte grau de correlação (Devore, 2006), similares com o estudo de Souza et al. (2011) que ao comparar os métodos de Penman-Monteith (FAO 56), Radiação – FAO 24, Blaney-Criddle - FAO 24, Turc, Makkink, Priestley-Taylor e Hargreaves-Samanni,

para o município de Petrolina-PE, observaram que os métodos da Radiação – FAO 24 e o de Blaney-Criddle atendem satisfatoriamente à estimativa da ETo em Petrolina, PE, sendo uma boa alternativa para o manejo de irrigação da região e nas Morais et al. (2015) que observaram em seus resultados que métodos alternativos de Hargreaves e Samani Jensen e Haise e Makkink não se mostraram satisfatórios na ETo para o Vale do Submédio São Francisco.

Tabela 3. Mesorregiões e municípios do estado da Paraíba e valores da correlação de Pearson Logarítmica (*r*).

Mesorregião	Municípios	(r)	
Mata Paraibana	João Pessoa	0,97	
Mata Faraibana	Sapé	0,98	
Agreste Paraibano	Guarabira	0,97	
Agresic Faraiballo	Campina Grande	0,97	
Borborema	Santa Luzia	0,93	
Dorootenia	Monteiro	0,95	
Sertão Paraibano	Patos	0,93	
Seriao i araiballo	Sousa	0,95	

Conclusões

Os resultados deste trabalho permitem correlações entre que as evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith e pelo método de análise dimensional (Rn x Tmáx/ Tmin x UR) foram bem estatisticamente significativas, por meio do test t de student, exceto para a Tmin em alguns casos. A evapotranspiração de referência pelo método de Penman Monteith comparada com o método de analise dimensional se aiustaram bem, com coeficiente de determinação r² acima de 0,87 e excelentes correlações de Pearson, com r variando entre 0,93 e 0,98. A análise dimensional se apresenta como bom método para estimar a evapotranspiração de referência utilizando o grupo de variáveis meteorológicas (UR., Rn, Tmáx e Tmin).

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) –

Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e à CAPES, pela bolsa de Mestrado do primeiro autor.

Referências

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. *Crop* evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56, Rome: FAO, 300f.

Azevedo, J. 2011. Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia – SCIENTEC. Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba – PAE-PB, 144p.

Barros, A. H. C.; Araújo Filho, J. C. de; Silva, A. B.; Santiago. G. A. C. F. 2012. Climatologia do Estado de Alagoas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 211. Recife: Embrapa Solos, 32.

Carvalho, L.G.; Rios, G.F.A.; Miranda, W.L.; Castro Neto, P. 2011. Evapotranspiração de

- referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia 41, 456-465.
- Çengel, Y.A.; Cimbala, J.M. 2007. Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações. Tradução 1ª ed., São Paulo: McGraw-Hill.
- Castro, P. T.; Reichardt, K. 1980. Estimativa da Evapotranspiração Real e Potencial de uma Cultura de Milho (ZEA MAYS, L.). Ciência Agronômica 11, 109-113.
- Camargo, A. P. 1999. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 28p. (Boletim Técnico, 116).
- Costa, M. N. M.; Medeiros, R. M.; SOUSA, F. A. S.; Gomes Filho, M. F. 2015. Evaporação mensal e anual pelo Método de Thornthwaite para Matinhas Paraíba, Brasil. II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro. Campina Grande-PB.
- Devore, J. L.2006. Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências. São Paulo, SP: Thomson Pioneira, p. 706.
- Digman, S. L. 2002. Physical Hydrology. Long Grove: Waveland Press 22.ed, p.646.
- Espinoza, E. S. 1996. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos, INPE.
- Filho, A. I.; Borges, P. F.; Araújo, L. S.; Pereira, A.
 R.; Lima, E. M. de; Silva, L. S.; Santos Junior,
 C. V. S. 2015. Influência das Variáveis
 Climáticas sobre a Evapotranspiração. Gaia
 Scientia 9, 62-66.
- Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M.de; Matos, R.
 M. de; Santos, D. S.; Saboya, L. M. F. 2017.
 Evapotranspiração de Referência mensal e anual pelo método de Thornthwaite para o Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Climatologia 20, 135-147.
- Francisco, P. R. M.; Santos, D. 2017. Climatologia do Estado da Paraíba. EDUFCG, Ed. 1°, 78.
- Henrique, F. A. N.; Dantas, R. T. 2007. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 11, 594-599.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br. Acesso em: 26 Agosto de 2016.
- Kousky, V. E. 1979. Frontal influences on northeast Brazil. Monthly Weather Review 107, 1140-1153.

- Kousky, V. E.; Gan, M. A. 1981. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical South Atlantic. Tellus 33, 538-551.
- Köppen, W.; Geiger, R. 1928. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes.
- Mendonça, E. A.; Dantas, R. I. 2010. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14, 196-202.
- Morais, J. E. F.; Silva, T. G. F.; Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Diniz, W. J. S.; Souza, C. A. A. 2015. Avaliação do método de Penman Monteith FAO 56 com dados faltosos e de métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no Submédio Vale do São Francisco. Revista Brasileira de Geografia Física 8, 1644-1660.
- Moura, A. R.C; Montenegro, S. M. G. L; Antônino,
 A. C. D; Azevedo, J. R. G; Silva, B. B;
 Oliveira, M. L. M. 2013. Evapotranspiração de
 Referência Baseada em Métodos Empíricos em
 Bacia Experimental no Estado de Pernambuco
 Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia
 28, 181-191.
- Munson, B.R.; Young, D.F.; Okiishi, T.H. 2004. Fundamentos da mecânica dos fluidos. Tradução da 4ª ed., São Paulo: Edgard Blücher.
- Oliveira, R. C. S.; Medeiros, R. M. DE; Costa Neto. F. de A.; Gomes Filho, M. F. 2014. Estudo das oscilações da temperatura máxima do ar e precipitação em Lagoa Seca-PB visando mudanças climáticas. In: VI Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco Ш Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade, Recife-PE.
- Oliveira, P. T.; Silva, C. M. S.; Lima, K. C. 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. Atmospheric Science Letters 135, 598-617.
- Ortolani, A. A.; Camargo, M. B. P. 1987. Influência dos fatores climáticos na produção. Ecofisiologia da Produção Agrícola. 249 p.
- Penman, H. L. 1963. Evaporation, transpiration and evapotranspiration. In: Vegetation and hydrology. Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, 30-50.
- Pereira, A. R.; Villa Nova, N. A.; Sediyama, G. C. 1997. Estimativa de evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 41-99.
- Silva, V. P. R.; Garcêz, S. L. A.; Silva, B. B. da; Albuquerque, M. F. de; Almeida. R. S. R.

- 2015. Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-deaçúcar em condições de sequeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental 19, 411–417.
- Souza, E. B.; Alves, J. M. B.; Nobre, P. 1998. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. Revista Brasileira de Meteorologia 13, 45-55.
- Souza, J. L. M.; Jerszurki, D.; Schafer, R. Gurski, B.C. Schafer, H. 2017. Balanço Hídrico Climatológico: Precipitação e Evapotranspiração de referência estimadas com metodologia alternativa. Revista Brasileira de Climatologia 20, 284-298.
- Souza, L. S. B. de; Moura, M. S. B. de; Silva, T. G. F. da, Sediyama, G. C. 2011. Comparação de Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência em Petrolina-PE. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (CBAGRO), Guarapari-ES.
- Souza, W. G.; Ribeiro, A.; Amorim, R. C. F.;
 Souza, M. J. H.; Ribeiro, C. A. A. S.; Facco, A.
 G. 2004. Geoespacialização da evapotranspiração potencial e real para a bacia

- do rio Doce Minas Gerais. In: Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza.
- Singh, V. P.; Xu, C.-Y. 1997. Evaluation and Generalization of 13 Equations for Determining Free Water Evaporation, Hydrol. Processes 11, 311–323.
- Shuttleworth, W. J. 1993. Evaporation. IN MAIDMENT, D. R. (Ed.) Handbook of Hydrology. New York, McGraw-Hill.
- Uvo, C. R. B. 1989. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos, INPE, São Paulo.
- Xavier, A.C.; King, C.W.; Scanlon, B.R. 2016. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). International Journal of Climatology 36, 2644–2659.
- Xu, C.Y.; Singh, V. P. 2000. Evaluation and Generalization of Radiation-based Methods for Calculating Evaporation, Hydrolog. Processes 14, 339–349.
- Xu, C.Y.; Singh, V. P. 2001. Evaluation and Generalization of Radiation-based Methods for Calculating Evaporation, Hydrological Processes 15, 305–319.