

UMIDADE RELATIVA DO AR A PARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Juarez Cassiano de Lima Junior¹, Francisco Dirceu Duarte Arraes², Benito Moreira de Azevedo³, Denise Vieira Vasconcelos⁴, Kleber Gomes Macêdo⁵, Willame Cândido de Oliveira⁶

RESUMO

A quantificação da evapotranspiração de referência é de fundamental importância para a agricultura irrigada. Esse fenômeno depende simultaneamente de diversos fatores, entre eles a umidade relativa do ar, dado este, que por muitas vezes não está disponível nas estações meteorológicas. Assim, o objetivo desse estudo foi comparar metodologias para estimativa da umidade relativa do ar para o semiárido brasileiro (baseadas na equação de Tetens). A avaliação revelou que a metodologia que utiliza a temperatura mínima do ar alterada, em substituição a temperatura do ponto de orvalho deve ser utilizada com cautela. Mesmo ocorrendo melhoria nas estimativas da umidade relativa do ar, em alguns locais não foram observados resultados satisfatórios. Quando utilizado temperatura mínima - 1°C, os valores médios do índice de concordância e raiz quadrada do erro médio foram 0,627 e 10%, respectivamente. Quando -2°C, os valores para os mesmos índices foram 0,571 e 12%, respectivamente. Quando a temperatura mínima do ar foi utilizada subtraída de um valor ajustado localmente foram obtidos valores de 0,676 para o índice de concordância e de 8,19% para raiz quadrada do erro médio. Após o ajuste o valor do R², correlacionando umidade relativa estimada e medida, subiu de 0,36 para 0,89.

Palavras-Chave: Déficit de vapor d'água, psicrometria, agrometeorologia.

RELATIVE AIR HUMIDITY BREATHING TEMPERATURE DATA FOR THE BRAZILIAN SEMI-ARID

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola (Programa de pós graduação em engenharia agrícola), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. E-mail: limajr.soil@gmail.com

² Doutor em Ciência (Física do Ambiente Agrícola – ESALQ-USP). Professor do Instituto Federal do Sertão Pernambucano - *campus* Salgueiro, PE. E-mail: dirceuarraes@gmail.com

³ Doutor em Agronomia (ESALQ-USP). Professor Associado da Universidade Federal do Ceará, Brasil. E-mail: benitoazevedo@hotmail.com

⁴ Doutora em Irrigação e Drenagem (UFC). Professora do Instituto Federal do Ceará – *campus* Boa Viagem, CE. E-mail: deniseupv@gmail.com

⁵ Mestre em Engenharia Agrícola (Programa de pós graduação em engenharia agrícola), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. E-mail: kleber117@hotmail.com

⁶ Doutorando em Engenharia (Programa de pós graduação em engenharia agrícola), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. E-mail. willamecandidoo@gmail.com

ABSTRACT

The quantification of reference evapotranspiration is of fundamental importance for irrigated agriculture. This phenomenon depends simultaneously on several factors, including the relative humidity of the air, data this, which is often not available in weather stations. Thus, the objective of this study was to compare methodologies for estimating the relative humidity of the air for the Brazilian semiarid (based on the Tetens equation). The evaluation revealed that the methodology that uses the altered minimum air temperature, instead of the dew point temperature, should be used with caution. Even with improvements in the relative humidity estimates, in some places satisfactory results were not observed. When using a minimum temperature of -1°C , the mean values of the agreement index and square root of the mean error were 0.627 and 10%, respectively. When -2°C , the values for the same indices were 0.571 and 12%, respectively. When the minimum air temperature was used subtracted from a locally adjusted value, values of 0.676 were obtained for the concordance index and 8.19% for the square root of the average error. After adjusting the value of R^2 , correlating estimated and measured relative humidity, it rose from 0.36 to 0.89.

Key words: Water vapor deficit, psychrometry, agrometeorology.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é um elemento intrínseco a hidrologia e ao manejo de irrigação. Devido às mudanças climáticas e a tendência do aumento nas taxas de ET e redução dos recursos hídricos, a quantificação das taxas de ET são fundamentais para o conhecimento da demanda de água pela atmosfera e manejo de recursos hídricos (UPRETI e OJHA, 2017). O entendimento da forma complexa que os elementos atmosféricos se relacionam e influenciam a evapotranspiração de referência (ET_o) é fundamental para agricultura irrigada.

Embora a energia solar seja a principal força para a evaporação da água, o déficit de pressão de vapor de água na atmosfera e o ar circundante se mostra determinante para a remoção de vapor. Regiões irrigadas, principalmente secas e áridas, consomem grandes quantidades de água (ALLEN et al., 1998).

A ausência de dados de Umidade relativa do ar (UR) é uma problemática que requer atenção, pois a UR é um dos dados de entrada da equação Penman Monteith (PM), que é o modelo padrão para estimativa da ET_o (ALLEN et al., 1998). Sobretudo, esse problema pode ser contornado pela utilização da temperatura mínima do ar (T_n) no lugar da temperatura do ponto de orvalho (T_o) para

estimativa da pressão de vapor. Os autores sugerem uma calibração (subtraindo 2°C da T_n). Emeka et al. (2020) estudando a sensibilidade dos parâmetros atmosféricos em regiões semiáridas, observaram que a temperatura do ar e a UR possuíam uma maior importância para a estimativa da ET_o pelo modelo PM.

Para o entendimento da dinâmica entre os elementos meteorológicos, a análise de sensibilidade é uma tarefa essencial (SHARIFI e DIMPASHOH, 2014). Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho quantificar a sensibilidade do elemento UR na ET_o, estimada pelo modelo padrão. Ainda, avaliar o desempenho da estimativa da UR pela recomendação de Allen et al. (1998), bem como propor uma alternativa para aumentar a eficiência dessas estimativas de UR, para o semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado utilizando dados climatológicos de estações pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas entre os paralelos de $-2,68^{\circ}$ até $-17,99^{\circ}$ de latitude e entre os meridianos de $-46,60^{\circ}$ e $-35,27^{\circ}$ de longitude oeste do meridiano de Greenwich, (área de $1.154.510\text{ km}^2$ -13,11% do território).

UMIDADE RELATIVA DO AR APARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

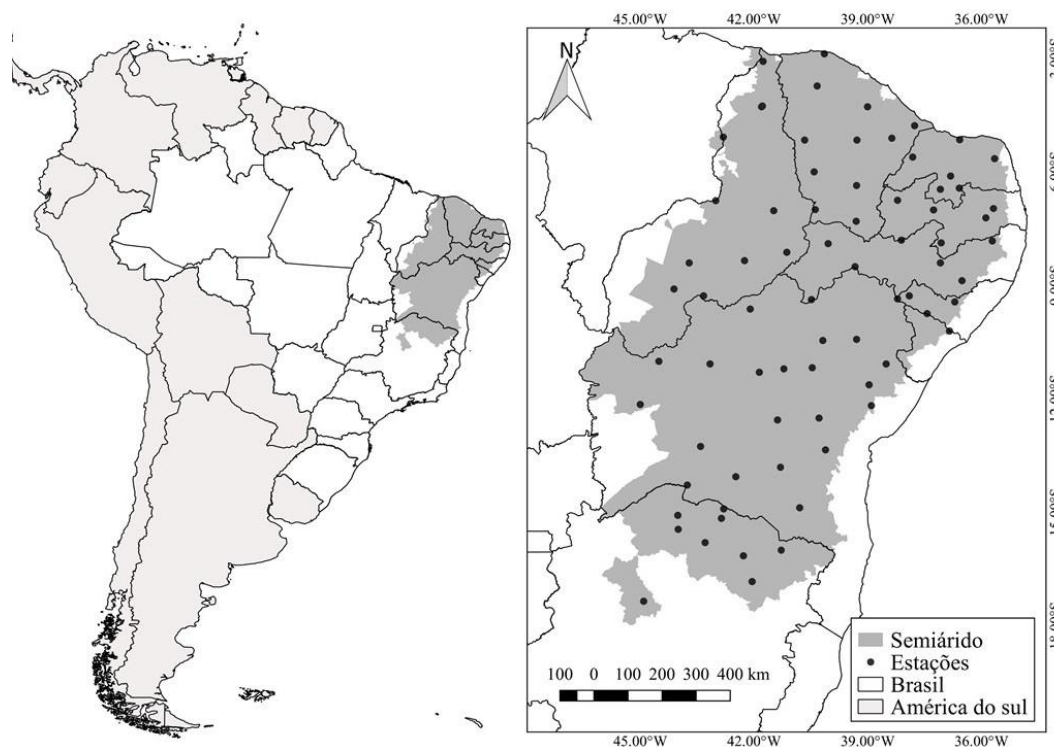


Figura 1. Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo.

Foram utilizados dados em escala mensal de 74 municípios. Os elementos meteorológicos utilizados foram temperatura máxima, média e mínima do ar (T_x , T_m e T_n), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (u) e insolação (n), de uma série histórica que compreende de 1961 até 2014. Para confecção dos mapas apresentados no presente trabalho, foi utilizado o software de geoprocessamento QGIS 2.18 (2016).

Para os cálculos da pressão de vapor do ar, foi utilizada equação de Tetens (1930), amplamente utilizada em agrometeorologia (MURRAY, 1967) e sugerida pelo manual n° 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), para estimativas da pressão de saturação de vapor de água no ar (e_s), (equações 1 e 2), é necessário realizar o cálculo com a temperatura máxima e mínima do ar e obter a média, pois se a temperatura média do ar for utilizada diretamente na equação 2 o valor de e_s é subestimado.

$$e_s = \frac{e^0(T_x) + e^0(T_n)}{2} \quad (1)$$

$$e^0 = 0.6108 \exp \frac{17.27 T}{T + 237.3} \quad (2)$$

Em que: e_s é a pressão de saturação de vapor de água na atmosfera, e^0 é o valor da pressão de vapor de água na atmosfera para cada temperatura do ar (máxima e mínima), T_x é a temperatura máxima do ar, T_n é a temperatura mínima do ar

Quando dados de UR e/ou dados de T_o não estão disponíveis, Allen et al. (1998) sugerem a substituição da temperatura do ponto de orvalho (T_o) pela temperatura mínima do ar (T_n) para obtenção da pressão parcial de vapor (e_a) na equação 3.

$$T_o = T_n - x \quad (3)$$

Em que: T_o é a temperatura do ponto de orvalho estimada, T_n a temperatura mínima do ar e “ x ” é o valor ajustado a ser subtraído.

Para climas semiáridos Paredes et al. (2020); Raziei e Pereira (2013) demonstram que para a obtenção da T_o subtrai-se o valor de 1°C da T_n ($x = 1^\circ\text{C}$). Já Silva et al. (2010), Alencar et al. (2015) e Wang et al. (2011) utilizaram a subtração de 2°C para locais semiáridos no Ceará, Minas Gerais e Malawi, respectivamente. Assim, partindo da relação e_a/e_s obtém-se a UR.

$$UR = \frac{e_a}{e_s} \times 100 \quad (4)$$

Em que: e_s é a pressão de saturação de vapor de água na atmosfera e e_a é a pressão de vapor atual na atmosfera.

Para obtenção de um valor “ótimo” para ser subtraído da T_n do ar na estimativa da e_a , foi realizado um ajuste local, realizado utilizando o Microsoft Excel®, através do suplemento Solver, utilizando mesma metodologia demonstrada por Arraes (2020). Os dados dos meses ímpares foram selecionados para o ajuste e os dos meses pares, para validação da estimativa de UR. O ajuste foi obtido minimizando-se a seguinte função objetivo:

$$\Phi(p) = \sum_{i=1}^n [UR_{0_i}^* - UR_{0_i}(p)]^2 \quad (5)$$

Em que $\Phi(p)$ é a função objetivo a ser minimizada, $UR_{0_i}^*$ são os valores de UR

medidos nas estações convencionais do INMET e UR_{0_i} são os valores de umidade relativa do ar correspondentes, estimados pela equação 3 e p é um vetor com o valor a ser otimizado, valor esse subtraído da T_n . A minimização da função objetiva foi obtida pelo algoritmo de Levenberq-Marquardt, método utilizado em problemas de ajustes não-lineares. Depois do ajuste, foram comparadas três formas de se estimar a UR: i) e_a calculada com 1°C subtraído da temperatura mínima ($T_n - 1$ °C); ii) e_a calculada com 2°C subtraídos da temperatura mínima ($T_n - 2$ °C); iii) e_a estimada com valor ajustado localmente para subtração da T_n ($T_n - x$).

Macêdo et al. (2016), utilizando metodologia de análise proposta por Ward Jr (1963), classificou os dados de UR em cinco grupos (Tabela 1), com dados de 63 estações no semiárido brasileiro, os dados utilizados no presente trabalho também foram organizados tomando como base esse agrupamento.

Tabela 1. Classificação realizada através de agrupamento hierárquico de regiões homogêneas a partir de dados de umidade relativa do ar para o semiárido brasileiro, adaptado de Macêdo et al. (2016)

Grupo	Variação da UR%		
1	UR (%)	>	76%
2	76% >	UR (%)	>71%
3	71% >	UR (%)	>67%
4	67% >	UR (%)	>61%
5	61%	>	UR (%)

Para verificar a importância do elemento meteorológico UR nas estimativas da ET_o , foi realizado o cálculo através do modelo padronizado pela FAO (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{C_n}{T_m + 273,16} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (6)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência ($mm \text{ dia}^{-1}$), R_n é a radiação líquida total e G é a densidade de fluxo de calor na superfície do solo (ambos em $MJ \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$), T_m é a temperatura média do ar (°C), u_2 é a velocidade do vento ajustada para 2 m de altura ($m \text{ s}^{-1}$), e_s é a pressão de saturação de vapor do ar, e_a é a pressão de vapor do ar atual, Δ é a declividade da curva de pressão de

vapor e γ é a coeficiente psicométrico, (todos em $kPa \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), C_n e C_d são constantes que variam com o tipo de cultura de referência (resistência da superfície e a rugosidade aerodinâmica da superfície) utilizando os valores de 900 para C_n e 0,34 para C_d .

A sensibilidade da ET_o para UR foi analisada em todas as estações. Para este propósito, a UR foi alterada dentro de uma faixa de -30 a + 30%, em um intervalo de $\pm 5\%$ (doze cenários). Para quantificar o impacto na mudança nos valores do parâmetro de entrada UR na saída do modelo de estimativa de ET_o padrão (PM), os coeficientes de sensibilidade foram calculados de acordo com o procedimento sugerido por McCuen (1974) e utilizado por diversos autores (FAN et al.,

UMIDADE RELATIVA DO AR APARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

2016; BIAZAR et al., 2019; JERSZURKI et al., 2019; GHIAMI-SHOMAMI et al., 2019; EMEKA et al., 2020):

$$Sc = \frac{\Delta ETo}{\Delta UR} \cdot \frac{UR}{ETo} \quad (7)$$

Em que: Sc – coeficiente de sensibilidade do modelo ao parâmetro de entrada; ΔETo – variação na ETo com a mudança na umidade relativa do ar; ΔUR – variação do parâmetro de entrada; UR – Parâmetro de entrada.

A análise dos dados de UR estimadas foi realizada de acordo com os índices estatísticos sugeridos por Legates e McCabe Júnior (1999): Índice de Willmott (Id), coeficiente de Nash-Sutcliffe (E), Raiz quadrada do erro médio (RQEM) e coeficiente de correlação “r”.

$$Id = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_i - X_i| + |X_i - X_i|)^2} \right] \quad (8)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ajuste do valor a ser subtraído da T_n como substituição da To , foi verificado que para se obter estimativas de UR mais próximas do valor medido, a utilização de valores fixos (-1 e -2°C) não se apresentam como a melhor alternativa.

Para o ajuste dos valores utilizados na subtração da T_n no cálculo da e_a (tabela 3), o valor de zero foi obtido para mais da metade das estações (40 locais), sugerindo que para esses, a utilização de T_n se apresenta como melhor opção. Sobretudo, não se pode descartar que ao invés de uma subtração, exista a possibilidade de que a soma de algum fator de correção a T_n seja viável para diminuição dos erros em estimativa de UR.

$$E = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \quad (9)$$

$$RQEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (10)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \times (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (11)$$

Em que: X – Média dos valores estimados pelo modelo padrão; Y_i – valores obtidos pelos modelos propostos; X_i – valores obtidos pelo modelo padrão; n – número de comparações

O desempenho das equações para estimativas de UR foi obtido através do índice C de Camargo e Sentelhas (1997), obtido pelo produto entre “r” e “Id”, sendo classificado como: ótimo (>0,85), muito bom (0,76 a 0,85), bom (0,66 a 0,75), mediano (0,61 a 0,65), sofrível (0,51 a 0,60), mau (0,41 a 0,50) e péssimo ($\leq 0,40$).

De acordo com agrupamento sugerido por Macêdo et al. (2016), com os dados de UR do presente trabalho, temos doze locais no grupo 1 (76-86%); treze no grupo 2 (71-76%); quinze no grupo 3 (67-71%); dezenove no grupo 4 (61-67%) e quinze no grupo 5 (54-61%).

Na Índia, em local com clima subtropical úmido, em estudo para se determinar qual valor mais adequado para ser subtraído da T_n , foi observado variação mensal, com valores variando de -5,94 até 5,69; salientando a possibilidade de uma soma ao valor de T_n para melhoria das estimativas.

Ainda no mesmo trabalho foi observado que quanto menor a UR local, maiores são os erros nas estimativas (UPRETI e OJHA, 2017).

Tabela 3. Agrupamento, fator de correção a ser subtraído da temperatura mínima do ar e coeficiente de sensibilidade da UR na estimativa da evapotranspiração de referência para cidades no semiárido brasileiro

Cidades	Grupo	Fator	Sc	Cidades	Grupo	Fator	Sc
Água branca	1	0	-0,44	Araçuaí	3	0,00	0,06
Feira de Santana	1	0	-1,32	Piripiri	3	0,00	-0,32
Itiruçu	1	0	-0,54	Apodi	3	0,00	-0,21
Areia	1	0	-0,85	Caetité	4	0,47	-0,58
Campina grande	1	0	-0,71	Irecê	4	0,56	-0,41
Garanhuns	1	0	-1,08	Ituaçu	4	0,66	-0,30
Vitoria da Conq,	1	0	-0,49	Paulo Afonso	4	0,64	-0,40
Acaraú	1	0	-0,33	Januária	4	0,00	-0,13
Guaramiranga	1	0	-1,06	São Gonçalo	4	0,61	-0,27
Parnaíba	1	0	-0,70	Ouricuri	4	1,87	-0,52
Ceara mirim	1	0	-1,06	Remanso	4	2,2	-0,39
Própria	1	0	-0,70	Senhor do Bonfim	4	1,39	-0,57
Palm. Dos índios	2	0	-0,63	Sta. Rita de Cássia	4	0,00	-0,19
Lençóis	2	0	-0,40	Barbalha	4	0,38	0,11
Morro do chapéu	2	0	-0,81	Campos Sales	4	0,71	-0,89
Pedra azul	2	0	-0,24	Iguatu	4	1,28	-0,33
Arcoverde	2	0	-0,96	Quixeramobim	4	1,57	-0,78
Surubim	2	0	-1,05	Tauá	4	1,38	0,11
Triunfo	2	0	-1,11	Caracol	4	0,02	-0,15
Serrinha	2	0	-0,35	Floriano	4	0,85	0,00
Jaguaruana	2	0	-0,55	Florania	4	0,89	-0,71
Caldeirão	2	0	0,07	Seridó	4	1,38	0,00
Teresina	2	0	-0,21	Barra	5	1,68	-0,13
Vale do Gurgueia	2	0	-0,08	Bom Jesus da lapa	5	0,76	-0,07
Macau	2	0,78	-0,91	Carinhanha	5	1,26	-0,21
Pão de açúcar	3	0	-0,30	Monte azul	5	2,39	-0,18
Barreiras	3	0	-0,10	Patos	5	2,08	-0,43
Cipó	3	0	-0,46	Cabrobó	5	2,85	-0,68
Itaberaba	3	0	-0,50	Petrolina	5	3,94	-0,48
Jacobina	3	0,78	-0,91	Crateús	5	1,86	-0,36
Monte santo	3	0	-0,36	Espinosa	5	1,51	-0,32
Mocambinho	3	0	0,05	Janaúba	5	0,73	-0,13
Pirapora	3	0	-0,32	Bom Jesus	5	1,09	-0,22
Salinas	3	0	-0,23	Paulistana	5	2,73	-0,60
Monteiro	3	0	-0,50	Picos	5	2,95	-0,14
Morada nova	3	0	-0,44	São João do Piauí	5	2,78	-0,29
Sobral	3	0	-0,18	Cruzeta	5	2,10	-0,73

UR – Umidade relativa do ar; Sc – coeficiente de sensibilidade.

Para o semiárido nordestino a utilização do valor de T_n , diretamente, na equação para estimativa de e_a apresentou potencialidade principalmente para locais com UR mais elevada. Segundo Allen et al. (1998) durante o início da manhã, quando a temperatura

momentânea está próxima de T_n , o ar está potencialmente saturado ($UR \cong 100\%$).

Os maiores valores, do fator a ser subtraído de T_n , foram obtidos para os locais com a UR menor (grupos 4 e 5), com destaque para Petrolina (Pernambuco), apresentando

UMIDADE RELATIVA DO AR APARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

fator de $3,94^\circ$. Razi e Pereira (2013), em clima hiperárido, ajustaram a temperatura subtraindo 4°C da T_n , 2°C para clima árido e 1°C para clima semiárido e subúmido seco. Upreti e Ojha, (2017) utilizando dados diários, afirmam que na Índia, durante o verão, resultados precisos são obtidos quando até 3°C são subtraídos da T_n . No estado de Minas Gerais, Alencar et al. (2015) utilizou $T_n - 1$ para algumas cidades, dentre elas Mocambinho, que no presente trabalho apresentou um melhor resultado com a T_n utilizada diretamente na equação de e_a .

Vários autores utilizaram a temperatura mínima do ar, sem subtração, em substituição a T_o para o cálculo da pressão parcial de vapor: Martinez e Thepadia (2010); Sentelhas

et al. (2010) e por Rocha et al. (2011). A E_{To} foi obtida com sucesso assumindo a mesma abordagem (ALENCAR et al. 2015; CARVALHO et al. 2015 e MAJIDI et al. 2015)

Sobre a sensibilidade, após os incrementos e decrementos ($\pm 30\%$) na UR, para estimativa da E_{To} por PM, demonstrou que essa variável possui elevada variação espacial (Figura 2a), com valores de $-1,32$ para Feira de Santana, no estado da Bahia, até $0,11$ em Barbalha e Tauá, no estado do Ceará. Entretanto no comparativo entre grupos, nota-se que quanto maior a UR local (grupos 1 e 2) os valores de Sc se afastam mais de zero, se mostrando mais sensíveis na estimativa de E_{To} (Figura 2b).

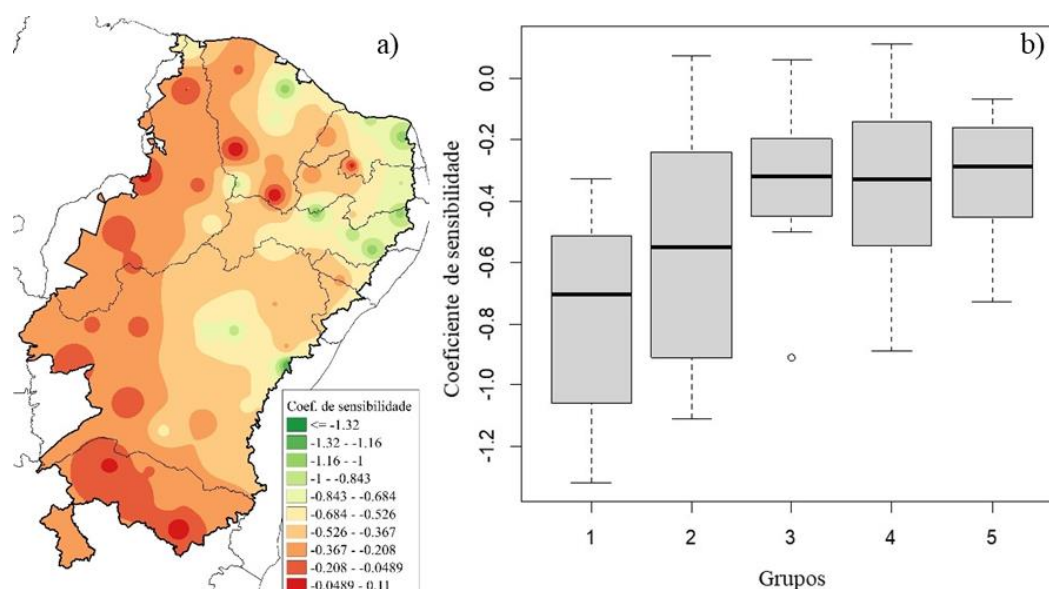


Figura 2. Variação espacial (a) e por agrupamento (b) dos coeficientes de sensibilidade da umidade relativa do ar para estimativa da E_{To} no semiárido brasileiro.

Eslamian et al. (2011) afirmam que todas as variáveis meteorológicas apresentam sensibilidade, entretanto afirmam que a UR é um dos elementos que mais influenciam a estimativa da E_{To} em locais semiáridos no Irã. Emeka et al. (2020), na Nigéria, observaram que o elemento meteorológico que apresenta maior coeficiente de sensibilidade é a UR. A umidade relativa do ar apresentou-se como elemento variável espacialmente no local de estudo, apesar de ser uma região semiárida, existem locais que apresentam umidade elevada (grupo 1 - 76 a 86%), locais com essas

características, em geral, estão localizados em elevadas altitudes e próximas a grandes corpos de água (MACÊDO et al., 2016). No Irã, Valipour (2014) e Tabari et al. (2013) também observaram valores elevados de UR em regiões semiáridas e em outros climas. Observando a variação anual média da UR no semiárido brasileiro (Figura 3), classificada por grupos, observa-se que para o grupo 1 os valores máximos de UR ocorrem no mês de junho e os menores valores no mês de novembro. Para o grupo 2 os valores máximos ocorrem em maio e os menores em outubro.

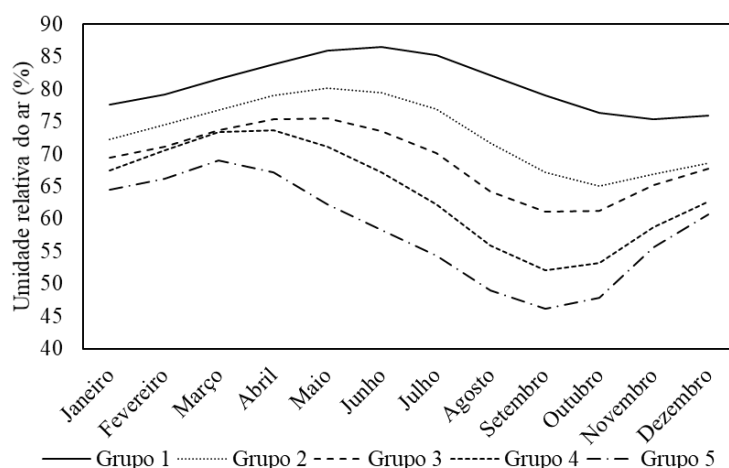


Figura 3. Variação anual da umidade relativa do ar por grupos para o semiárido brasileiro.

Para os restantes dos grupos, os menores valores de UR são observados no mês de setembro, transição inverno-primavera. Os maiores valores são obtidos em maio, abril e março. Nota-se que o pico de valores da UR é observado próximo a períodos relacionados com dois regimes pluviométricos importantes no nordeste brasileiro, Moura et al. (2019) cita cinco, dentre eles: i) as chuvas que ocorrem de março a abril em função do posicionamento da zona de convergência intertropical (ZCIT); e ii) chuvas que ocorrem entre abril e maio,

originadas das ondas leste. Cavalcante et al. (2019) demonstram que cerca de 60% da precipitação pluviométrica anual, no Agreste da Borborema ocorrem entre abril e julho.

Considerando os valores médios de UR de cada local, a partir da regressão linear percebe-se a melhoria, em função da utilização de um valor ajustado e/ou diretamente o valor da T_n , ao invés do valor fixo de -1 e/ou -2°C na equação de e_a (Figura 4). Após o ajuste, o valor de R^2 elevou-se de aproximadamente 0,36 para 0,89.

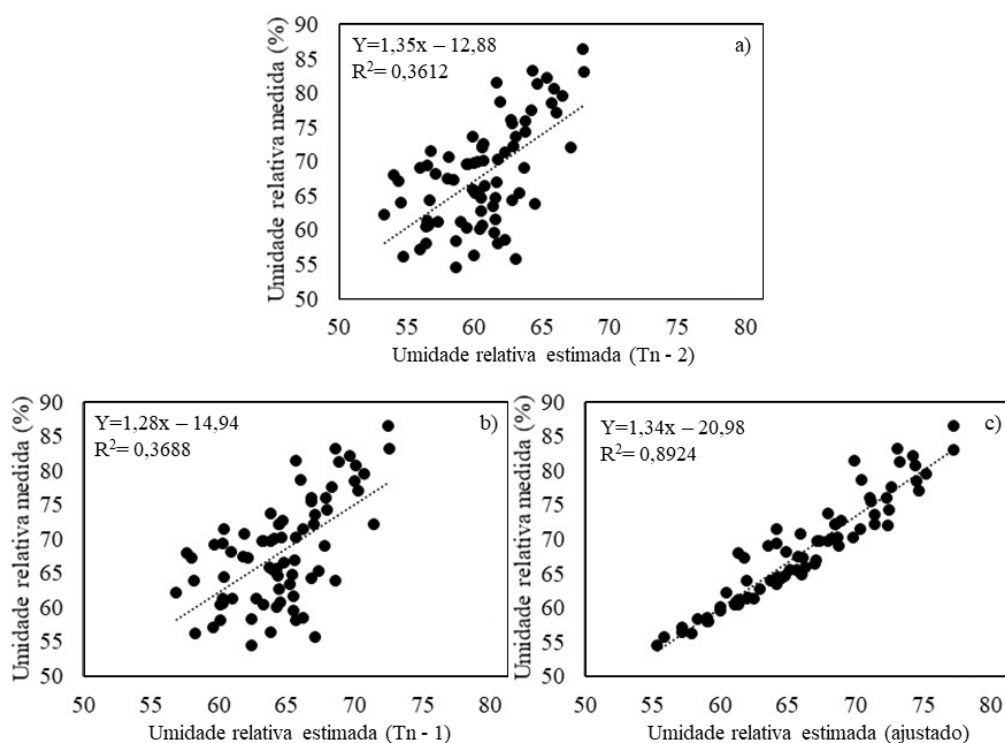


Figura 4. Comparação entre a umidade relativa do ar medida e estimada utilizando a temperatura mínima do ar subtraída de 2°C (a); 1°C (b) e valor ajustado (c), no cálculo da pressão parcial de vapor, para o semiárido brasileiro.

UMIDADE RELATIVA DO AR APARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Upreti e Ojha (2017), em tentativas de estimar a UR na Índia, utilizando dados diários (outubro de 2012 até março de 2016) correlacionaram formas de se obter a pressão de vapor com a evaporação do tanque, obtendo valores de R^2 acima de 0,89 quando utilizaram a T_o , e próximo a 0,76 quando utilizaram a T_n , no cálculo da e_a .

A melhoria nas estimativas após o ajuste, mostradas na comparação das Figuras

4a e 4b para Figura 4c pode ser observada espacialmente com a diminuição das super e subestimativas na UR (Figura 5).

Utilizando o T_n-1 (Figura 5b) foram observadas superestimativas de aproximadamente 4,42% no centro da região semiárida até subestimativas de aproximadamente 9,59% no norte e leste da região, com uma amplitude de aproximadamente de 14%.

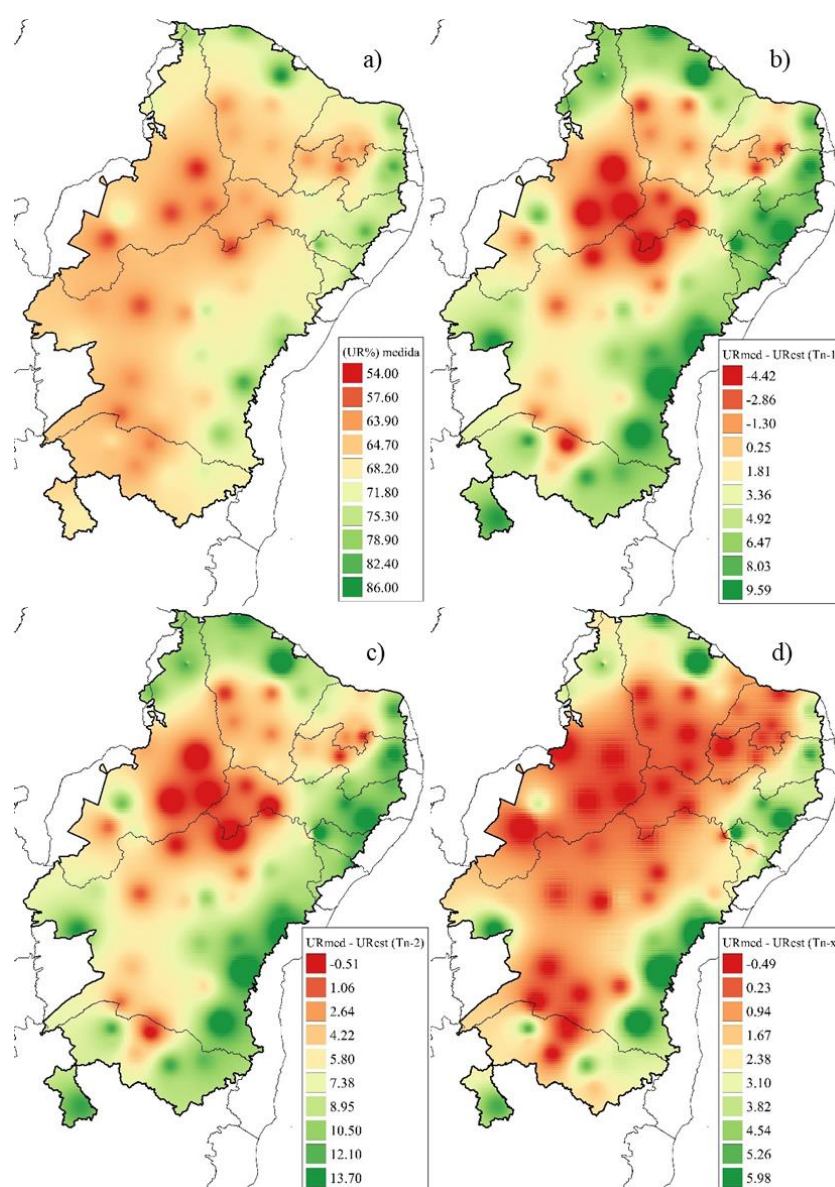


Figura 5. Espacialização da UR no semiárido brasileiro (a); super e subestimativas de UR pelas opções propostas: subtraindo 1°C da T_n (b); subtraindo 2°C da T_n (c) e subtraindo valor ajustado localmente da T_n (d).

Utilizando o T_n-2 (Figura 5c) foram observadas superestimativas de 0,51% aproximadamente, mais uma vez no centro da região semiárida até subestimativas de

aproximadamente 13,70% nos locais com UR medida mais elevada, com uma amplitude de aproximadamente de 14,21%. Observando as estimativas realizadas com os valores

ajustados (Figura 5d) foram verificadas superestimativas de 0,49% até subestimativas de 5,98%, com diminuição na amplitude (6,47%). Nota-se após o ajuste que os valores da diferença UR medida – UR estimada são mais próximos de zero em uma área maior do mapa.

Com relação a concordância e desempenho das estimativas locais, é

importante a análise em escala de tempo mensal.

Observa-se um aumento na mediana do índice de concordância (Id) e coeficiente “c” (Figura 6), visto que valores acima de 0,8 só são observados após o ajuste, sobretudo as três propostas do presente trabalho apresentam valores abaixo de 0,5 para os dois parâmetros estatísticos.

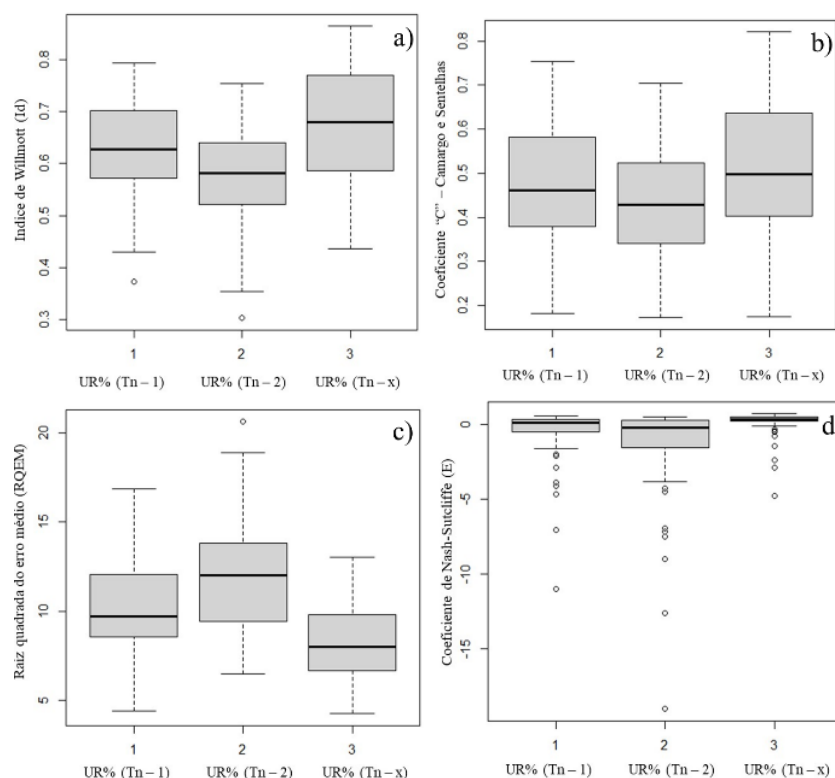


Figura 6. Índice de concordância (a); coeficiente “c” (b); raiz quadrada do erro médio (c) e coeficiente de Nash-Sutcliffe (d) para dados mensais de UR no semiárido brasileiro pelas opções propostas: subtraindo 1°C da Tn (Tn-1); subtraindo 2°C da Tn (Tn-2) e subtraindo valor ajustado localmente da Tn (Tn-x).

Os valores médios de Id foram de 0,571 com Tn-2; 0,627 com Tn-1 e 0,676 com Tn-x. Após o ajuste o valor máximo de 0,865 foi obtido para Piripiri, no estado do Piauí, valores acima de 0,8 de Id foram obtidos apenas para mais dez locais (Palmeira dos índios, Pão de açúcar, Cipó, Morro do Chapéu, Sta. Rita de Cássia, Jaguaruana, Morada Nova, Sobral, Januária e Triunfo).

Os resultados obtidos com o fator ajustado localmente foram superiores ao observados por Medeiros Jr e Müller. (2018), os autores utilizando dados de 16 cidades litorâneas brasileiras obtiveram valor médio de Id = 0,62, apresentando valor inferior ao

médio obtido no presente trabalho. Ainda, os autores obtiveram variação máxima de 9,30%, também superior ao do presente estudo, com maior valor obtido para a cidade de Vitoria – Espírito Santo.

Para a UR estimada utilizando Tn-1 o valor mais alto de Id foi de 0,794 também para Piripiri no estado do Piauí e para Tn-2, Senhor do Bonfim no estado da Bahia. A opção Tn-1 obteve valores maiores que 0,750 para 8 cidades, com Tn-2 valores acima de 0,750 somente para 2 cidades. Nenhum local apresentou classificação “ótima”. Os melhores valores de “c” foram obtidos com a UR obtida com Tn-x. Palmeira dos índios, Jaguaruana,

UMIDADE RELATIVA DO AR APARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Triunfo e Piripiri apresentaram estimativas de UR classificadas como “muito bom”.

Delgado et al. (2009), com dados de 22 estações do estado de Minas Gerais, considerando a T_o o próprio valor da T_n , e realizando os cálculos de UR partindo da e_s calculada com i) temperatura média do ar, ii) temperatura do ar ponderada pelo déficit de pressão de vapor e iii) com uma relação da média das duas metodologias anteriores (i e ii); obtiveram valores de I_d variando de 0,82 até 0,92; 0,68 até 0,95 e 0,78 até 0,96, respectivamente.

Os RQEM médios diminuíram de T_n-2 (12,00%) > T_n-1 (10,12%) > T_n-x (8,19%). Apesar dos menores valores (Figura 6c), mesmo com os ajustes, os erros ainda podem ser considerados elevados, com RQEM máximo de 13%, para Feira de Santana, no estado da Bahia.

Com o ajuste 58 locais apresentaram RQEM menor que 10%, com T_n-1 são observados 38 locais; e com T_n-2 a quantidade cai para 24 locais. Quatro locais apresentaram erros menores de que 5% para UR estimada (T_n-x): Morro do chapéu, Jaguaruana, Surubim e Macau.

No estado de Minas Gerais, considerando a T_o o próprio valor da T_n , e realizando os cálculos de UR partindo da e_s calculada com três metodologias diferentes, obtiveram valores variando aproximadamente de 6,63 até 12,0%, calculando a e_s com a i) temperatura média do ar e ii) temperatura ponderada pelo déficit de pressão de vapor, respectivamente (DELGADO et al., 2009).

Utilizando uma relação da e_s calculada com as duas temperaturas, os autores citados anteriormente obtiveram os valores de RQEM variaram de 6,01 até 17,95%. Dependendo da amplitude térmica do local, erros de até 0,1°C podem resultar em erros de cálculo da umidade relativa do ar em até 1% (SILVA et al., 2007).

Assim, o autor afirma que erros de medição de temperatura do ar aumentam o valor de RQEM, e não podem ser atribuídos exclusivamente aos modelos que estimam a UR.

Com o ajuste, houve melhoria nos valores médios de eficiência, variando de -1,419 (T_n-2) > -0,527 (T_n-1) > 0,137 (T_n-x). Com T_n-2 o maior valor “E” foi de 0,523 e com T_n-1 foi de 0,545, ambos resultados para Senhor do Bonfim. Após o ajuste, o valor máximo de “E” foi obtido para Piripiri (0,698).

O coeficiente de eficiência varia de menos infinito até um, apresentando valores negativos com a T_n-x para onze locais, e ainda com valores menores que 0,5 para quarenta e quatro locais. Um valor médio de UR medida apresenta resultado mais confiável do que uma estimativa utilizando a metodologia proposta pelo presente trabalho para esses locais.

Salienta-se que dezenove locais apresentaram valor de “E” maior do que 0,5 (Palmeira do Índios, Pão de Açúcar, Bom Jesus da Lapa, Carinhanha, Cipó, Jacobina, Morro do Chapéu, Paulo Afonso, Senhor do Bonfim, Sta. Rita de Cassia, Jaguaruana, Morada Nova, Sobral, Januária, Triunfo, Caracol, Piripiri, Teresina e Vale do Gurgueia.

CONCLUSÕES

A UR possui sensibilidade variável, com coeficiente de sensibilidade acima de 1,0; em que seus valores mais elevados são observados em locais ao leste da região semiárida, estações com UR elevada, mais próximas do litoral.

O valor de T_o pode ser considerado igual a T_n em 40 locais, principalmente quando a UR obtida é acima de 67%. Mesmo ocorrendo melhoria nas estimativas da umidade relativa do ar, não são observados resultados satisfatórios para todos os locais.

A metodologia proposta pelo presente trabalho é sugerida como opção viável para substituição da UR mensal para as cidades de: Palmeira do Índios, Pão de Açúcar, Bom Jesus da Lapa, Carinhanha, Cipó, Jacobina, Morro do Chapéu, Paulo Afonso, Senhor do Bonfim, Sta. Rita de Cassia, Jaguaruana, Morada Nova, Sobral, Januária, Triunfo, Caracol, Piripiri, Teresina e Vale do Gurgueia.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.39-50, 2015.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, 1998, p. 300.
- ARRAES, F. D. D. Calibração dos parâmetros da equação de Hargreaves e Samani (1985): uma abordagem metodológica. In: FEITOSA, A. K. et al (org). **AGRICULTURA IRRIGADA: convivência e sustentabilidade no semiárido brasileiro**. 1. ed. Iguatu – CE: IFCE 2020. P. 49-54.
- BIAZAR, Seyed Mostafa; DINPASHOH, Yagob; SINGH, Vijay P. Sensitivity analysis of the reference crop evapotranspiration in a humid region. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 31, p. 32517-32544, 2019.
- CAMARGO, AP de; SENTELHAS, Paulo C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, D. F. D., ROCHA, H. S. D., BONOMO, R., & SOUZA, A. P. D. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.50, p.1-11, 2015.
- CAVALCANTE, Gabriel Paiva; LUCENA, Daisy Beserra; MOURA, Marcelo Oliveira. As chuvas na região agreste do nordeste brasileiro: variabilidade interanual. **Revista Equador**, v. 8, n. 2, p. 290-308, 2019.
- DELGADO, R. C. SEDIYAMA, G. C. ZOLNIER, S. COSTA, M. H. Modelos físico-matemáticos para estimativa da umidade relativa do ar a partir de dados de temperatura. **Revista Ceres**, v. 56, n 3, p 256-265, 2009
- EMEKA, N., IKENNA, O., MICHAEL, O., CHINENYE, A., & EMMANUEL, E. Sensitivity of FAO Penman–Monteith reference evapotranspiration (ET_o) to climatic variables under diferente climate types in Nigeria. **Journal of Water and Climate Change**, 2020.
- ESLAMIAN, S. KHORDADI, M. J. ABEDI-KOUPAI, J. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. **Global Planet Change** 78:188–194, 2011.
- FAN, J., WU, L., ZHANG, F., XIANG, Y., & ZHENG, J. Climate change effects on reference crop evapotranspiration across different climatic zones of China during 1956–2015. **Journal of Hydrology**, 542, 923-937, 2016.
- GHIAMI-SHOMAMI, F.; KAWASAKI, K.; LEONARDO.; SHINODA, S.; FAN, Y. Sensitivity of potential evapotranspiration to climate factors in forested mountainous watersheds. **Hydrological Research Letters**, 13 (3), 41–48 (2019).
- JERSZURKI, Daniela; DE SOUZA, Jorge Luiz Moretti; SILVA, Lucas de Carvalho Ramos. Sensitivity of ASCE-Penman–Monteith reference evapotranspiration under different climate types in Brazil. **Climate dynamics**, v. 53, n. 1-2, p. 943-956, 2019.
- LEGATES, D.R.; McCABE, G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydro climatic model validation. **Water Resources Research**. v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.
- MACÊDO, K, G. **Desempenho de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para o semiárido brasileiro**.

UMIDADE RELATIVA DO AR APARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

2016. 58 f. Monografia (Graduação em tecnologia de irrigação e drenagem) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Iguatu.

MAJIDI, M.; ALIZADEH, A.; VAZIFEDOUST, M.; FARID, A.; AHMADI, T. Analysis of the effect of missing weather data on estimating daily reference evapotranspiration under diferente climatic conditions. **Water Resources Management**, Amsterdam, v.29, p.2107-2124, 2015.

MARTINEZ, C.J.; THEPADIA, M. Estimating reference evapotranspiration with minimum data in Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.136, p.494-501, 2010.

McCUEN, R. H. A sensitivity and error analysis CF procedures used for estimating evaporation 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 10, n. 3, p. 486–497, 1974.

MEDEIROS JUNIOR, R. A.; MÜLLER, R. O. ESTIMATIVA DA UMIDADE RELATIVA ATRAVÉS DE MODELO–ESTUDO DE CASO DO LITORAL BRASILEIRO. **Revista Técnico-Científica**, v. 1, n. 12, 2018.

MOURA, Magna Soelma Beserra; SOBRINHO, José Espínola; DA SILVA, Thieres George Freire. Aspectos metereológico do semiárido brasileiro. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2019.

MURRAY, F.W. On the computation of saturation vapour pressure. **Journal of Applied Meteorology**, v.6, n.1, 203-4, 1967.

PAREDES, P., PEREIRA, L. S., ALMOROX, J., & DAROUICH, H. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local

climatic variables. **Agricultural Water Management**, v. 240, p. 106210, 2020.

RAZIEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimation of ETo with Hargreaves– Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.121, n.6, p.1-18, 2013.

ROCHA, É. da J.T.; EVANGELISTA, S.R.M.; FUCK JÚNIOR, S.C. de F.; GONDIM, R.S. Estimativa da ET pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.75-83, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000100010.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; SANTOS, E.A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v.97, p.635-644, 2010. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.12.001.

SHARIFI, A.; DINPASHOH, Y. Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith reference Crop Evapotranspiration to Climatic Variables in Iran. **Water Resources Management**, v. 28, n. 15, p. 5465–5476, 2014.

SILVA, M. G. da; OLIVEIRA, J. B. de; LÊDO, E. R. F.; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO, E. M. Estimativa da ETo pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani a partir de dados de Tx e Tn para Sobral e Tauá no Ceará. **Acta Tecnológica**, v.5, n.2, p.52-68, 2010.

SILVA, T. D., ZONIER, S., MOURA, M. D., SEDIYAMA, G. C., & SOUZA, L. D. (2007). **Umidade relativa do ar: estimativa e especialização para o Estado de Pernambuco**. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. Efeito das mudanças climáticas na agricultura: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 1 CD-ROM.
- TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, v. 31, n. 2, p. 107–117, 2013.
- TEAM, QGIS Delopment et al. QGIS geographic information system. **Open Source Geospatial Foundation Project**, 2016.
- TETENS, O. Uber einige meteorologische Begriffe. z. **Geophys.** 6:297-309, 1930.
- UPRETI, Hitesh; OJHA, C. S. P. Estimation of relative humidity and dew point temperature using limited meteorological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 143, n. 9, p. 05017005, 2017.
- VALIPOUR, M. Use of average data of 181 synoptic stations for estimation of reference crop evapotranspiration by temperature-based methods. **Water Resour Manage**, v. 28, n. 12, p. 4237–4255, 2014.
- WANG, Y. M.; NAMAONA, W.; GLADDEN, L. A.; TRAORE, S.; DENG, L. T. Comparative study on estimating reference evapotranspiration under limited climate data condition in Malawi. **International Journal of the Physical Sciences**, v.6, n.9, p.2239-2248, 2011.
- WARD JR, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236–244, 1963.
- WRAITH, JON M.; OR, D. Nonlinear parameter estimation using spreadsheet software. **Journal Natural Resources and Life Science Education**. v. 27, p. 13-19, 1998.