

(X) Graduação () Pós-Graduação
**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO ESTIMADO POR DIFERENTES
MÉTODOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO MATO GROSSO DO
SUL**

João Antonio Lorençone
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS)
joao.lorencone@estudante.ifms.edu.br

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido
Instituto Federal do Sul de Minas (IFSULDEMINAS)
lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br

Pedro Antonio Lorençone
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS)
pedro.lorencone@estudante.ifms.edu

Guilherme Botega Torsoni
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS)
guilherme.torsoni@ifms.edu.br

Rafael Fausto de Lima
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS)
rafael.lima2@estudante.ifms.edu.br

RESUMO

A agricultura é uma atividade que depende principalmente do balanço hídrico climatológico. Para sua estimativa se faz necessário o conhecimento da evapotranspiração de referência (ETP). Diversos são os métodos de estimativa da evapotranspiração, sendo o mais utilizado o de Penman e Monteith (PM), entretanto o mesmo possui uma exigência de muitas variáveis de entrada. Neste contexto, objetivou-se por meio deste trabalho comparar o balanço hídrico climatológico estimado pelo método padrão de PM com os demais modelos de ETP. Foi utilizada séries históricas de dados climáticos como radiação solar global, temperaturas média, máxima e mínima do ar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluvial durante o período de 1983-2018 para Mato Grosso do Sul. A ETP foi estimada por diversos métodos de cálculo de evapotranspiração. Os métodos foram comparados por índices estatísticos que avaliam a acurácia, precisão e tendência. Os valores médios mensais do armazenamento de água no solo (ARM), excedente hídrico (EXC) e déficit hídrico (DEF) pelo método de PM foram 74,18 mm; 38,31 mm e 12,35 mm, respectivamente. O método de Hamon (1961) demonstrou-se a maior semelhança com PM para a estimativa do balanço hídrico no estado do Mato Grosso do Sul.

Palavras-chave: Deficiência hídrica; Excedente hídrico; Armazenamento de água no solo.

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é o setor que impulsiona a economia brasileira, representando 23% do PIB nacional. Em algumas regiões essa participação é ainda maior, como é o caso de Mato Grosso do Sul (FRAINER et al., 2018). O agronegócio sul mato grossense destaca-se em cenário nacional e internacional, devido sua grande diversidade, proporcionando dinamismo para a economia (FAGUNDES et al., 2017). O setor agrícola em 2011 foi responsável por 83% das exportações do estado, gerando um crescimento de 21% do superávit do ano, em relação ao ano anterior (LA CASAS et al, 2016).

A disponibilidade de energia e água determinam o potencial de produtividade agrícola de uma região, portanto, estudos detalhados sobre a influência das condições atmosféricas na produção agrícola, tornam-se importantes ferramentas para exploração adequada de novas áreas no estado com potencial agrícola (DORAN e ZEISS, 2000).

Dentre os métodos que relacionam as condições atmosféricas com a produtividade agrícola, destaca-se a metodologia do balanço hídrico climatológico. O balanço hídrico é a contabilidade da entrada e saída de água no solo em um determinado período (PEREIRA et al., 2007 CECÍLIO et al., 2012). É muito utilizado para gerenciamento de bacias hidrográficas (GUPTA, 2020), bem como para o planejamento agrícola e manejo de irrigação (HOOGEVEEN, 2015; NAGGAR, 2020). Há diversos métodos de estimativa do balanço hídrico, destacando-se o de Thornthwaite e Mather (1955). Esse modelo é muito utilizado por apresentar uma forma simplificada e prática para a obtenção do armazenamento de água no solo (SCHÄFER, 2009), além de ser possível sua realização em planilhas eletrônicas (FERREIRA, 2014).

Contudo, muitas regiões do estado do Mato Grosso do Sul, assim como no Brasil em geral, não dispõem de medidas de todas as variáveis meteorológicas para o cálculo da ETP por Penman-Monteith. Sendo necessário o uso de métodos alternativos para determinação de ETP, que utilizem informações meteorológicas de fácil obtenção (KISI, 2014).

Os métodos de estimativa de evapotranspiração de referência podem ser divididos em 3 grupos, os baseados na temperatura, os métodos baseados em energia e os baseados e transferência de massa (ANDRÉASSIAN; PERIN; MICHEL, 2003). Alguns métodos baseados em energia são Makkink (1957), Turc (1961), Hargreaves e Samani (1985) Priestley e Taylor (1972), os três sendo indicados para regiões úmidas (LU et al, 2005; YODER; ODHIAMBO; WRIGHT, 2005), e com exceção de Priestley e Taylor (1972), também são indicados para ambientes cobertos com pastagens (VALIPOUR, 2012; XU E SINGH, 2017).

Xu et al (2013), compararam os métodos de Turc, Priestley e Taylor e Hargreaves e Samani em relação a um lisímetro, na região do lago Tai, China, demonstrando que o método de Hargreaves e Samani foi o que mais se aproximou do lisímetro.

Zhao et al. (2013) observaram que há necessidade de mais trabalhos sobre como selecionar possíveis equações de estimativa de evapotranspiração potencial para reduzir sua incerteza e complexidade. Enquanto o método Penman-Monteith, com base física, por isso influencia na precisão das simulações do ciclo hidrológico. Lu et al. (2007) testaram os métodos Thornthwaite (1948), Hamon (1960), Hargreaves-Samani (1985), Turc (1961), Makkink (1957), e Priestley-Taylor (1972) no sudeste dos Estados Unidos, por meio de testes estatísticos. Os autores comprovaram uma diferença significativa entre os métodos de evapotranspiração potencial. Dessa forma, surge o questionamento da variabilidade do balanço hídrico estimado utilizando diferentes métodos de ETP.

Neste contexto, objetivou-se por meio deste trabalho comparar o balanço hídrico climatológico estimado pelo método padrão de PM com os demais modelos de ETP.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste estudo utilizou-se uma série histórica de dados de temperatura média, máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluvial (mm), radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m s^{-1}), entre o período de 1983 – 2018. Esses dados são baseados em observações de satélites de grids globais de 1° .

Os dados foram coletados por meio da plataforma *National Aeronautics and Space Administration/Prediction of World Wide Energy Resources* - NASA/POWER (STACKHOUSE et al., 2019), do período de 1990 a 2018 para 22 localidades do Mato Grosso do Sul. Com esses dados foram estimados as evapotranspirações potenciais (ETPs) por 15 métodos em escalas semanais para a avaliação do desempenho desses métodos (Tabela 1).

Tabela 1: Dado geográficos das localidades estudadas

| | NORTE | | |
|----------------------|-------------|-------------|-----|
| Bandeirantes | 19° 55' 04" | 54° 21' 50" | 629 |
| Camapuã | 19° 31' 53" | 54° 02' 38" | 409 |
| Chapadão do Sul | 18° 47' 39" | 52° 37' 22" | 790 |
| Costa Rica | 18° 32' 38" | 53° 07' 45" | 641 |
| Coxim | 18° 30' 24" | 54° 45' 36" | 238 |
| São Gabriel do Oeste | 19° 23' 43" | 54° 33' 59" | 658 |
| Sonora | 17° 34' 37" | 54° 45' 28" | 442 |
| | CENTRO | | |
| Campo Grande | 20° 26' 34" | 54° 38' 47" | 532 |
| Itaporã | 23° 28' 28" | 54° 11' 06" | 340 |

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-----|
| Maracaju | 21° 36' 52" | 55° 10' 06" | 384 |
| Nova Alvorada do Sul | 21° 27' 57" | 54° 23' 02" | 407 |
| Rio Brillhante | 21° 48' 07" | 54° 32' 47" | 312 |
| Sidrolândia | 20° 55' 55" | 54° 57' 41" | 484 |
| SUL | | | |
| Amambai | 23° 06' 15" | 55° 13' 33" | 480 |
| Aral Moreira | 22° 56' 02" | 55° 38' 07" | 609 |
| Caarapó | 22° 38' 03" | 54° 49' 20" | 471 |
| Douradina | 22° 02' 25" | 54° 36' 46" | 553 |
| Dourados | 22° 13' 16" | 54° 48' 20" | 430 |
| Iguatemi | 22° 04' 44" | 54° 47' 22" | 390 |
| Laguna Carapã | 22° 32' 47" | 55° 08' 59" | 509 |
| Naviraí | 23° 03' 54" | 54° 11' 26" | 362 |
| Ponta Porã | 22° 32' 10" | 55° 43' 32" | 655 |

Os métodos testados para estimar a ETP para as localidades de Mato Grosso do Sul foram:

A) Penman e Monteith (Allen *et al.*, 1998) (PM):

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 \times s \times (Rn - G) + \frac{\gamma \times 900 \times U_2 \times (es - ea)}{T + 273}}{s + \gamma \times (1 + 0,34 \times U_2)} \quad (1)$$

$$s = \frac{4098 \times es}{(T + 273)^2} \quad ea = \frac{UR \times es}{100} \quad es = 0,6108 \times e^{\frac{17,27 \times T}{237,3 + T}} \quad (2)$$

B) Benevides e Lopez (1970) (BL):

$$ET_{oBL} = 1,21 \times 10^{\frac{7,5 \times T}{237,5 + T}} \times (1 - 0,01 \times UR) + 0,21 \times T - 2,3 \quad (3)$$

C) Blaney e Criddle (1950) (BC):

$$ET_{oBC} = a + b \times p \times (0,46 \times T + 8,13) \quad (4)$$

$$a = 0,043 \times UR_{min} \times \left(\frac{n}{N}\right) \times 1,41 \quad (5)$$

$$b = a_0 + a_1 \times UR_{min} + a_2 \times \frac{n}{N} + a_3 \times U_2 + a_4 \times UR_{min} \times \frac{n}{N} + a_5 \times UR_{min} \times U_2 \quad (6)$$

em que: n é a insolação (horas), UR_{mín} é a umidade relativa mínima diária (%), a₀=0,81917,

$$a_1 = -4,0922 \times 10^{-3}, \quad a_2 = 1,0705, \quad a_3 = 6,5649 \times 10^{-2}, \quad a_4 = -5,9684 \times 10^{-3}, \\ a_5 = -5,967 \times 10^{-4}$$

D) Camargo (1971) (CAM):

$$EToC = 0,01 \times \frac{Q_0}{2,45} \times T \times ND \quad (7)$$

$$hn = \arcsin(-\tan \phi \times \tan \delta) \quad (8)$$

$$Q_0 = 37,6 \times DR \times \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) \times hn \times \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \times \cos \delta \times \sin hn \right] \quad (9)$$

$$DR = 1 + 0,33 \times \cos \left(360 \times \frac{NDA}{365} \right) \quad \delta = 23,45 \times \sin \left[\left(\frac{360}{365} \right) \times NDA \times 80 \right] \quad (10)$$

em que: Q_0 é a irradiação solar extraterrestre ($MJ \ m^{-2} \ d^{-1}$), ND é o número de dias, hn é a hora que ocorre o nascer do sol, ϕ é a latitude ($^\circ$), δ é a declinação solar ($^\circ$), NDA é o dia Juliano, DR é a distância relativa Terra-Sol.

E) Hamon (1961) (HAM):

$$EToHAM = 0,55 \times \left(\frac{N}{12} \right)^2 \times \left(\frac{4,95 \times e^{0,062 \times T}}{100} \right) \times 25,4 \quad (11)$$

$$N = \frac{2 \times hn}{15}$$

(12)

em que: N é o fotoperíodo (horas).

F) Hargreaves e Samani (1985) (HS):

$$EToHS = 0,0023 \times \frac{Q_0}{2,45} \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (T + 17,8) \quad (13)$$

G) Jobson (Bowie et al., 1985) (JOB):

$$EToJOB = 3,01 + 1,13 \times U_2 \times (es - ea) \quad (14)$$

H) Kharrufa (1985) (KHA):

$$EToKHA = 0,34 \times p \times (T^{1,3}) \quad (15)$$

em que: p é o índice fornecido por Doorenbos e Pruitt (1977).

I) Makkink (1957) (MAK)

$$EToMAK = 0,61 \times W \times \left(\frac{Q_g}{2,45} \right) - 0,12 \quad (16)$$

J) Penman (1948) (PEN):

$$ET_{oPEN} = \frac{[W \times Rn + (1-W) \times \lambda Ea]}{2,45} \quad (17)$$

$$\lambda Ea = 6,43 \times (1 + 0,526 \times U_2) \times (es - ea) \quad (18)$$

em que: λEa é a energia de evaporação de ar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

K) Priestley e Taylor (1972) (PT):

$$ET_{oPT} = 1,26 \times W \times \left[\frac{(Rn - G)}{2,45} \right] \quad (19)$$

$$\begin{cases} W = 0,407 + 0,0145 \times Tu, & \text{para } 0^\circ\text{C} < T \leq 16^\circ\text{C} \\ W = 0,483 + 0,01 \times Tu, & \text{para } 16^\circ\text{C} < T \leq 32^\circ\text{C} \end{cases} \quad (20)$$

em que: W é o fator de peso dependente da temperatura e do coeficiente psicrométrico ($^\circ\text{C}$) e Tu é a temperatura do bulbo úmido ($^\circ\text{C}$).

L) Romanenko (1961) (ROM):

$$ET_{oROM} = 0,0018 \times (25 + T)^2 \times (100 - UR) \quad (21)$$

M) Tanner e Pelton (1960) (TP):

$$ET_{oTP} = 1,12 \times \left[\left(\frac{Rn \times 100}{4,18} \right) / 59 \right] - 0,11 \quad (22)$$

N) Thornthwaite (1948) (THO):

$$ET_{oTHO} = ETp \times Cor \quad (23)$$

$$Cor = \left(\frac{ND}{30} \right) \times \left(\frac{N}{12} \right) \quad (24)$$

$$I = (0,2 \times Tn)^{1,514} \quad (25)$$

$$\begin{cases} ETp = -415,85 + 23,24 \times T - 0,43 \times T^2, & \text{para } T \geq 26,5^\circ\text{C} \\ ETp = 16 \times \left(10 \times \frac{T}{I} \right)^a, & \text{para } 0^\circ\text{C} \leq T < 26,5^\circ\text{C} \end{cases} \quad (26)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 \times (-7,71 \times 10^{-5} \times I^2) + 1,7912 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (27)$$

em que: ETp é a evapotranspiração potencial médio padrão (mm mês^{-1}), I é o índice de calor mensal ($^\circ\text{C}$).

O) Turc (1961) (TU):

$$ET_{oTUR} = 0,013 \times \left(\frac{T_{max}}{T_{max} + 15} \right) \times \left(\frac{Qg \times 100}{4,18} + 50 \right) \quad (28)$$

Para comparação dos componentes estimados do balanço hídrico foram utilizados os seguintes índices estatísticos: 1) correlação de Pearson (r); 2) Coeficiente de determinação ajustado (R^2); 3) Concordância de Wilmott (d); 4) Índice de Confiança (C) de Camargo e Sentelhas (1997); 5) Erro aleatório (Ea); 6) Erro sistemático (Es); 7) Erro absoluto máximo (E_{Amax}); 8) erro quadrático médio (MSE); 9) Raiz quadrada do erro-médio ($RMSE$); 10) erro absoluto médio (MAE) e 11) Média Percentual Absoluta do Erro ($MAPE$)(Equações 35 a 45).

1) Correlação de Pearson

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (PM_i - \overline{PM}) \times (METH_i - \overline{METH})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (PM_i - \overline{PM})^2 \times \sum_{i=1}^n (METH_i - \overline{METH})^2}} \quad (35)$$

2) Coeficiente de determinação ajustado

$$R^2_{adj} = \left[1 - \frac{(1-R^2) \times (N-1)}{N-k-1} \right]$$

$$R^2_{adj} = \left[1 - \frac{(1-R^2) \times (N-1)}{N-k-1} \right]$$

(36)

3) Concordância de Wilmott

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (PM_i - METH_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|METH_i - \overline{METH}| + |PM_i|)} \quad (37)$$

4) Índice de Confiança de Camargo e Sentelhas (1997)

$$c = r \cdot d \quad (38)$$

5) Erro aleatório

$$Ea = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (METH_i - \overline{METH})^2}{N}} \quad (39)$$

6) Erro sistemático

$$Es = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (PM_i - \overline{PM})^2}{N}} \quad (40)$$

7) Erro absoluto máximo

$$E = \max(|PM_i - METH_i|)_{i=1}^n \quad (41)$$

8) Erro quadrático médio (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (PM_i - METH_i)^2}{N} \quad (42)$$

9) Raiz quadrada do erro-médio (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{est_i} - y_{obs_i})^2}{N}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{est_i} - y_{obs_i})^2}{N}}$$

(43)

10) Erro absoluto médio

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |PM_i - METH_i|}{N} \quad (44)$$

11) Média Percentual Absoluta do Erro

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{PM_i - METH_i}{PM_i} \right| \times 100 \right)}{N} \quad (45)$$

em que, METH_i: os valores dos componentes do balanço hídrico estimados por diferentes métodos de ETP; PM: o valor dos componentes do balanço hídrico, estimados por meio do método de PM; N: número de dados e k: números de variáveis independentes na regressão.

O balanço hídrico climatológico foi calculado segundo o método de Thornthwaite & Mather (1955) (equações 29-34), utilizando a capacidade água disponível (CAD) igual a 100mm, por ser um valor padrão para fins climáticos e de caracterização da disponibilidade hídrica regional (Brasil, 1981, Duarte e Sentelhas, 2019; Aparecido et al., 2020) . O balanço hídrico foi gerado por meio de planilhas eletrônicas desenvolvidas por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). Os mapas foram gerados utilizando o sistema de informações geográficas (SIG) pelo método de krigagem (KRIGE, 1951) usando modelo esférico com um vizinho e resolução de 1°.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Houve alta variabilidade espacial no armazenamento de água no solo pelos métodos de evapotranspiração potencial estudado (Tabela 2). BL, CAM e HAM foram semelhantes ao método padrão de PM. Já BC, HS, JOB, KHA, MAK, PEN, PT, ROM, TP, THO e TUR apresentaram padrões semelhantes entre si, no entanto, distintos ao método de PM. As regiões sul e norte do estado apresentaram desvios maiores e os erros foram menores na região central (Tabela 2). Os maiores valores de ARM foram no sul do estado em todos os métodos de ETP. Enquanto, na parte central do estado ocorreram os menores valores de ARM na maioria dos métodos de ETP.

Os armazenamentos de água no solo utilizando os métodos de BL, HAM e CAM com o método de PM apresentaram menores desvios (Tabela 2). Contudo, os métodos de HAM e CAM subestimaram e BL superestimou o método padrão de PM. JOB apresentou os maiores desvios de ARM em relação ao método de PM. Fanaya (2012) recomenda a utilização do método de HAM na região para estimativa de ETP, tendo em vista seus ótimos resultados e sua simples entrada de dados.

Na estimativa do ARM os melhores métodos foram HAM, CAM e BL com valores de MAPE de 5,02, 9,44 e 10,54%, e de modo geral foi a variável com os melhores valores de MAPE para todos os métodos, respectivamente (Tabela 2). Vale ressaltar que um MAPE de 15% é considerado baixo, uma vez que diversos autores de crop modelling relatam ser acurado valores nesse nível (MORETO e ROLIM, 2015; BRANDT e BESSLER, 1983; LIAKOS, 2018).

Para o ARM os maiores desvios ocorreram nos métodos de PEN, TP, KHA E JOB com valores médios de -36,53 ($\pm 9,15$) mm, -38,3 ($\pm 8,74$) mm, -42,23 ($\pm 8,28$) mm e -43,15 ($\pm 9,83$) mm, respectivamente. Os menores desvios ocorreram nos métodos de BL, CAM e HAM, com valores médios de -6,51 ($\pm 5,07$) mm, -4,39 ($\pm 5,3$) mm e -0,22 ($\pm 5,07$) mm, respectivamente (Tabela 2). Vale a pena ressaltar que quanto menor os desvios mais acurados é o método de ETP em função de PM.

Tabela 2: Índices estatísticos comparando os valores de armazenamento de água no solo estimados pelos métodos de evapotranspiração de PM - Penman e Monteith e os métodos de BL - Benevides e Lopez, CAM - Camargo, HAM - Hamon, HS - Hargreaves e Samani, JOB - Jobson, KHA - Kharrufa, MAK - Makkink, PEN - Penman, PT - Priestley e Taylor, ROM - Romanenko, TP - Tanner e Pelton, THO - Thornthwaite e TUR - Turc. para estimativa dos componentes de balanço hídrico.

| Armazenamento de água no solo | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | BL | BC | CAM | HAM | HS | JOB | KHA | MÉDIA |
| R | 0,88 | 0,66 | 0,87 | 0,88 | 0,48 | 0,44 | 0,63 | 0,69 |
| R ² | 0,77 | 0,44 | 0,76 | 0,77 | 0,23 | 0,20 | 0,40 | 0,51 |
| d | 0,83 | 0,32 | 0,87 | 0,93 | 0,35 | 0,26 | 0,28 | 0,55 |
| C | 0,73 | 0,21 | 0,75 | 0,82 | 0,17 | 0,12 | 0,18 | 0,43 |
| Ea | 4,40 | 4,29 | 4,10 | 4,20 | 7,26 | 6,34 | 5,86 | 5,21 |
| Es | 6,90 | 34,01 | 5,41 | 2,63 | 30,23 | 43,75 | 42,59 | 23,65 |
| E _{Amax} | 26,35 | 39,42 | 18,15 | 20,51 | 61,65 | 51,64 | 51,14 | 38,41 |
| MSE | 66,95 | 1175,11 | 46,04 | 24,59 | 966,39 | 1954,12 | 1848,62 | 868,83 |
| RMSE | 8,18 | 34,28 | 6,79 | 4,96 | 31,09 | 44,21 | 43,00 | 24,64 |
| MAE | 6,68 | 33,37 | 6,04 | 2,65 | 29,54 | 43,15 | 42,23 | 23,38 |
| MAPE* | 10,54 | 44,80 | 9,44 | 5,02 | 39,48 | 58,45 | 57,57 | 32,19 |
| | MAK | PEN | PT | ROM | TP | THO | TUR | MÉDIA |
| R | 0,82 | 0,53 | -0,06 | 0,76 | 0,60 | 0,84 | 0,70 | 0,60 |
| R ² | 0,68 | 0,28 | 0,00 | 0,57 | 0,35 | 0,71 | 0,50 | 0,44 |
| d | 0,62 | 0,30 | 0,26 | 0,53 | 0,28 | 0,59 | 0,40 | 0,43 |
| C | 0,51 | 0,16 | -0,02 | 0,40 | 0,17 | 0,49 | 0,28 | 0,29 |
| Ea | 3,72 | 6,14 | 6,43 | 6,49 | 3,44 | 5,12 | 4,68 | 5,15 |
| Es | 13,03 | 37,10 | 29,10 | 18,68 | 39,09 | 16,70 | 27,07 | 25,82 |
| E _{Amax} | 16,29 | 46,25 | 35,19 | 26,62 | 44,26 | 22,32 | 36,21 | 32,45 |
| MSE | 183,64 | 1414,30 | 888,27 | 391,03 | 1540,01 | 305,00 | 754,49 | 782,39 |
| RMSE | 13,55 | 37,61 | 29,80 | 19,77 | 39,24 | 17,46 | 27,47 | 26,42 |
| MAE | 13,37 | 36,53 | 29,49 | 18,71 | 38,30 | 16,85 | 26,46 | 25,67 |
| MAPE* | 18,84 | 49,29 | 41,12 | 25,47 | 51,47 | 23,09 | 35,35 | 34,95 |

Fonte: Próprio do autor

O excedente hídrico foi subestimado por todos os métodos de ETP, com exceção de BL (Tabela 3). PEN, BC, JOB e KHA demonstraram os maiores desvios em relação a PM, porém não ultrapassando 30 mm (Tabela 3). Por outro lado, ROM, CAM, HAM e BL obtiverem os valores mais próximos de PM, sendo que BL foi o único método a superestimar o EXC, com uma média de 43,6 mm ($\pm 9,5$). O desvio foi maior na região sul, sendo a região com maior EXC do estado, em torno de 43,3 mm (PM). MOURA et al., (2013) também concluíram que a maioria dos métodos de ETP subestimam o EXC, para o estado de Pernambuco, Brasil.

A estimativa do EXC evidenciou os melhores R^2 , do que em relação ao ARM e o DEF. Os melhores modelos de ETP foram HAM, BL e CAM, e demonstraram valores de R^2 de 0,8; 0,8 e 0,79, respectivamente (Tabela 3). Em relação ao DEF, os melhores métodos foram, HAM, BL e CAM com valores de MAPE de 9,0; 24,26 e 27,29% (Tabela 4). Entretanto, todos os métodos apresentaram um R^2 relativamente médio ($R^2 < 0,5$), segundo ALENCAR (2011).

Os maiores desvios para EXC ocorreram nos métodos de PEN, BC, JOB e KHA com valores médios de -27,07 ($\pm 6,16$) mm, -27,29 ($\pm 6,54$) mm, -28,54 ($\pm 6,87$) mm e -30,77 mm ($\pm 6,7$) mm, respectivamente. Os menores desvios ocorreram novamente nos métodos de CAM, BL e HAM, com os valores médios de -8,11 ($\pm 4,4$) mm, 5,33 (4,41) mm e -4,65 mm ($\pm 4,24$) mm, respectivamente. Entre as cidades, métodos PT demonstrou uma maior variação, com um desvio padrão de $\pm 10,1$ mm.

Tabela 3: Índices estatísticos comparando os valores de excedente hídrico estimados pelos métodos de evapotranspiração de PM - Penman e Monteith e os métodos de BL - Benevides e Lopez, CAM - Camargo, HAM - Hamon, HS - Hargreaves e Samani, JOB - Jobson, KHA - Kharrufa, MAK - Makkink, PEN - Penman, PT - Priestley e Taylor, ROM - Romanenko, TP - Tanner e Pelton, THO - Thornthwaite e TUR - Turc. para estimativa dos componentes de balanço hídrico.

| | Excedente Hídrico | | | | | | | MÉDIA |
|----------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | BL | BC | CAM | HAM | HS | JOB | KHA | |
| R | 0,89 | 0,76 | 0,89 | 0,89 | 0,78 | 0,69 | 0,73 | 0,80 |
| R ² | 0,80 | 0,58 | 0,79 | 0,80 | 0,60 | 0,47 | 0,53 | 0,65 |
| d | 0,87 | 0,35 | 0,75 | 0,88 | 0,38 | 0,34 | 0,32 | 0,55 |
| C | 0,78 | 0,27 | 0,66 | 0,78 | 0,29 | 0,23 | 0,23 | 0,46 |
| Ea | 4,22 | 2,99 | 3,43 | 3,74 | 3,43 | 4,21 | 3,37 | 3,63 |
| Es | 5,40 | 27,87 | 8,52 | 4,98 | 25,49 | 29,01 | 31,28 | 18,94 |
| EAmáx | 18,90 | 34,50 | 11,37 | 12,50 | 36,91 | 37,18 | 38,78 | 27,16 |
| MSE | 46,92 | 785,81 | 84,30 | 38,80 | 661,35 | 859,60 | 989,86 | 495,23 |
| RMSE | 6,85 | 28,03 | 9,18 | 6,23 | 25,72 | 29,32 | 31,46 | 19,54 |
| MAE | 5,59 | 27,29 | 9,03 | 5,79 | 25,00 | 28,54 | 30,77 | 18,86 |
| MAPE* | 21,38 | 70,28 | 27,53 | 20,43 | 64,37 | 74,42 | 80,91 | 51,33 |
| | MAK | PEN | PT | ROM | TP | THO | TUR | MÉDIA |
| R | 0,82 | 0,78 | 0,21 | 0,85 | 0,66 | 0,88 | 0,78 | 0,71 |
| R ² | 0,67 | 0,61 | 0,04 | 0,73 | 0,44 | 0,78 | 0,60 | 0,55 |
| d | 0,62 | 0,36 | 0,31 | 0,75 | 0,35 | 0,49 | 0,40 | 0,47 |
| C | 0,51 | 0,28 | 0,06 | 0,64 | 0,23 | 0,43 | 0,31 | 0,35 |
| Ea | 3,75 | 3,40 | 5,85 | 4,96 | 2,86 | 3,12 | 3,56 | 3,93 |
| Es | 11,26 | 27,52 | 24,54 | 8,94 | 26,20 | 18,85 | 23,90 | 20,17 |
| EAmáx | 14,94 | 33,63 | 30,24 | 14,12 | 36,38 | 22,03 | 34,55 | 26,56 |
| MSE | 140,88 | 769,20 | 636,28 | 104,54 | 694,72 | 365,12 | 583,98 | 470,67 |
| RMSE | 11,87 | 27,73 | 25,22 | 10,22 | 26,36 | 19,11 | 24,17 | 20,67 |
| MAE | 11,71 | 27,07 | 25,10 | 9,78 | 25,46 | 18,71 | 23,41 | 20,18 |
| MAPE* | 35,07 | 70,22 | 72,52 | 30,25 | 64,92 | 48,95 | 60,05 | 54,57 |

Fonte: Próprio do autor

O déficit hídrico demonstrou maior discrepância entre os diferentes métodos de ETP. Pelo método de PM observou-se que a média de DEF para o estado foi de 12,35 mm ($\pm 8,7$) com maior intensidade na região norte e central (Tabela 4). O método de JOB apresentou 66,67 mm adicionais, em relação PM, possuindo o maior desvio, seguido por TP, PEN e KHA. Os únicos métodos que subestimaram foram BL e HAM, além de apresentar os menores desvios. A região norte, de maneira geral, demonstrou maior diferença em relação PM (Tabela 4). Aparecido et al (2020) concluíram também que a região sul do estado do MS

possui menores intensidades de DEF.

Os métodos de KHA, PEN, TP e JOB apresentaram os maiores desvios para o DEF, com médias de 37,52 ($\pm 9,18$) mm, 39,2 ($\pm 9,0$) mm, 44,37 ($\pm 6,87$) mm e 64,88 ($\pm 17,57$) mm, respectivamente. Os métodos com menores valores de desvio foram BL, CAM e HAM, com valores de -2,83 (6,28) mm, 1,76 (5,83) mm e -0,71 (5,78) mm, respectivamente (Figura 11.C). Os métodos de BL, CAM e HAM, demonstraram os menores valores de desvio para as 3 variáveis analisadas, sendo que o último obteve sempre o menor desvio em relação demais (Tabela 4).

Tabela 4: Índices estatísticos comparando os valores de déficit hídrico estimados pelos métodos de evapotranspiração de PM - Penman e Monteith e os métodos de BL - Benevides e Lopez, CAM - Camargo, HAM - Hamon, HS - Hargreaves e Samani, JOB - Jobson, KHA - Kharrufa, MAK - Makkink, PEN - Penman, PT - Priestley e Taylor, ROM - Romanenko, TP - Tanner e Pelton, THO - Thornthwaite e TUR - Turc. para estimativa dos componentes de balanço hídrico.

| Déficit Hídrico | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | BL | BC | CAM | HAM | HS | JOB | KHA | MÉDIA |
| R | 0,70 | 0,74 | 0,75 | 0,76 | 0,40 | 0,69 | 0,72 | 0,68 |
| R ² | 0,49 | 0,55 | 0,56 | 0,58 | 0,16 | 0,48 | 0,51 | 0,48 |
| d | 0,72 | 0,36 | 0,81 | 0,81 | 0,32 | 0,18 | 0,28 | 0,50 |
| C | 0,51 | 0,27 | 0,60 | 0,61 | 0,13 | 0,13 | 0,20 | 0,35 |
| Ea | 3,57 | 5,67 | 3,83 | 3,42 | 10,64 | 15,78 | 8,94 | 7,41 |
| Es | 5,73 | 26,22 | 4,57 | 4,55 | 25,92 | 65,23 | 37,53 | 24,25 |
| EAm _{ax} | 29,75 | 34,93 | 23,19 | 25,91 | 70,44 | 93,13 | 57,59 | 47,85 |
| MSE | 45,61 | 719,56 | 35,51 | 32,42 | 785,05 | 4503,42 | 1488,26 | 1087,12 |
| RMSE | 6,75 | 26,82 | 5,96 | 5,69 | 28,02 | 67,11 | 38,58 | 25,56 |
| MAE | 3,44 | 26,12 | 3,87 | 1,97 | 25,62 | 64,88 | 37,52 | 23,35 |
| MAPE* | 24,26 | 259,05 | 27,29 | 9,00 | 262,23 | 609,40 | 360,20 | 221,63 |
| | MAK | PEN | PT | ROM | TP | THO | TUR | MÉDIA |
| R | 0,72 | 0,70 | -0,09 | 0,75 | 0,66 | 0,76 | 0,73 | 0,60 |
| R ² | 0,52 | 0,49 | 0,01 | 0,57 | 0,44 | 0,57 | 0,53 | 0,45 |
| d | 0,62 | 0,27 | 0,20 | 0,38 | 0,22 | 0,63 | 0,41 | 0,39 |
| C | 0,45 | 0,19 | -0,02 | 0,29 | 0,14 | 0,48 | 0,30 | 0,26 |
| Ea | 4,35 | 8,79 | 7,34 | 11,75 | 5,78 | 6,27 | 5,51 | 7,12 |
| Es | 10,07 | 39,21 | 23,54 | 29,06 | 44,50 | 11,36 | 21,99 | 25,67 |
| EAm _{ax} | 15,38 | 53,35 | 30,16 | 65,73 | 50,76 | 28,11 | 33,94 | 39,63 |
| MSE | 120,35 | 1614,25 | 608,26 | 982,51 | 2013,53 | 168,42 | 513,72 | 860,15 |
| RMSE | 10,97 | 40,18 | 24,66 | 31,34 | 44,87 | 12,98 | 22,67 | 26,81 |
| MAE | 10,67 | 39,20 | 24,43 | 28,64 | 44,37 | 11,79 | 21,82 | 25,85 |
| MAPE* | 99,16 | 380,54 | 236,62 | 254,98 | 446,87 | 107,25 | 220,80 | 249,46 |

Fonte: Próprio do autor

CONCLUSÕES

Há diversos métodos de estimativas de ETP (BL; BC; CAM; HAM; HS; JOB; KHA; MAK; PEN; PT; ROM; THO e TUR) bem mais simples que tem grande semelhança com os valores estimados por PM. Os métodos alternativos com maior acurácia, grande precisão e baixa tendência são Benevides e Lopez (1970), Camargo (1971) e Hamon (1961).

O método de Hamon (1961) demonstrou menor diferença em relação à PM, para os componentes do balanço hídrico: ARM, DEF, EXC. O MAPE, R2, ES médio para Hamon (1961) foi de 11,48; 0,72 e 4,05, respectivamente.

Na estimativa do ARM, todos os métodos superestimam, com exceção de BL, da mesma forma ocorre com a variável EXC.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Naviraí (IFMS-NV), pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABTEW, W; OBEYSEKERA, J. Lysimeter Study of Evapotranspiration of Cattails and Comparison of Three Estimation Methods. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. Florida, 1995. p. 121-129.
- ALENCAR, L. P; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C. Avaliação De Métodos De Estimativa Da Evapotranspiração De Referência Para Três Localidades No Norte De Minas Gerais. **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, v.19 n.5, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA; L. S.; RAES, D.; SMITH, M. "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements." FAO, Rome, 1998
- ANDRÉASSIAN, V.; PERRIN, C.; MICHEL, C.. Impact of imperfect potential evapotranspiration knowledge on the efficiency and parameters of watershed models. **Journal of Hydrology**, v.286(1-4), p.19–35, 2004
- APARECIDO, L. E. de O; TORSONI, G. B.; MESQUITA, D. Z.; MENESES, K. C. de; MORAES, J. R. da S. C. Modelagem da produtividade do milho safrinha em função das condições climáticas do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 26, 2020.
- BENEVIDES, J. G.; LOPEZ, D. Formula para el caculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N-15° S). **Agronomia Tropical, Maracay**, v. 20, n. 5, p. 335-345, 1970.
- BLANEY, H. F; CRIDDLE, W. D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. **U.S. Soil Conservation Service**, Washington, D.C, 1950.

BRANDT, J. A., & BESSLER, D. A. Price forecasting and evaluation: An application in agriculture. **Journal of Forecasting**, v.2(3), p.237–248, 1983

BRASIL (1981) Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: Levantamento de Recursos Naturais, 25, 29, 31.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 24p. Boletim, n.116, 1971.

DJAMAN, K.; IRMAK, S.; KABENGE, I.; FUTAKUCHI, K. Evaluation of FAO-56 Penman-Monteith Model with Limited Data and the Valiantzas Models for Estimating Grass-Reference Evapotranspiration in Sahelian Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.142(11), 2016.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: **FAO**, 1977

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15(1), p.3–11, 2000

DUARTE, Y.C.N.; SENTELHAS, P. NASA/POWER and Daily- Gridded weather datasets-how good they are for estimating maize yields in Brazil? **International Journal of Biometeorology**. 2019

EL-NAGGAR, A.G.A. G.; HEDLEY, C.B; HORNE, D; ROUDIER, P; CLOTHIER, B.E. Soil Sensing Technology Improves Application of Irrigation Water. **Agricultural Water Management**, vol. 228. Feb 2020.

FAGUNDES, M. B. B; GIANETTI, G, W; OLIVEIRA, D. V; DIAS, D. T; SILVA, L. C. Desenvolvimento Econômico do Estado de Mato Grosso do Sul Uma Análise da Composição da Balança Comercial. **Editora Unijuí** n. 39. Campo Grande, 2017 p. 112.

FANAYA, E. D.; JÚNIOR, A. da S. L. ; OLIVEIRA G. Q. de; JUNG, L. H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana, MS. **Irriga**, Botucatu, v.17, p 418 – 434, 2012

FARIAS, V. D. S; COSTA, D. L. P.; PINTO, J. V. N.; SOUZA, P. J. de O. P. de; SOUZA, E. B. de; FARIAS, S. O. Calibration of Reference Evapotranspiration Models in Pará. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 42, 2020.

FRAINER, D. M; CELSO CORREIA DE SOUZA, C. C. S; NETO, J. F. R; ROSA, R. A. C. C. A mensuração do Produto Interno Bruto do agronegócio de Mato Grosso do Sul. **Revista de Ciências Agrárias**, vol.41 no.4 Lisboa dez. 2018.

GAMAGE, D. N. V; BISWAS, A; STRACHANA, I. B. Scale and Location Dependent Time Stability of Soil Water Storage in a Maize Cropped Field. **Catena**, Vol. 185, May 2020.

GAO, L; SHAO, M. Temporal Stability of Soil Water Storage in Diverse Soil Layers. **Catena**, Vol. 95. Aug 2012. p.24-32.

GARCIA, M. Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.125(1-2), p.67–82, 2004.

GONZÁLEZ-OROZCO, C. E., PORCEL, M., VELÁSQUEZ, D. F. A., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2020). Extreme climate variability weakens a major tropical agricultural hub. **Ecological Indicators**, 111, 106015.

GUPTA, A; HIMANSHU, S. K; GUPTA, S. Evaluation of the SWAT Model for Analysing the Water Balance Components for the Upper Sabarmati Basin. *In: Al Khaddar, R. Advances in Water Resources Engineering and Management*. vol. 39. Springer, Cingapura, 2019.

HAMON, W. R. Estimating Potential Evapotranspiration. **Massachusetts Institute of Technology**. January, 1960. p. 33-75.

HARGREAVES, G. H; A. SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. 1985. p.96-99.

HERNANDEZ-ESPINOZA, L. H., & BARRIOS-MASIAS, F. H. Physiological and anatomical changes in tomato roots in response to low water stress. **Scientia Horticulturae**, 265, 109208, 2020..

HOOGEVEEN, J; FAURÈS, J.M; PEISER, L.;BURKE, J; VAN DE GIESEN, N. GlobWat – A Global Water Balance Model to Assess Water Use in Irrigated Agriculture. **Hydrology and Earth System Sciences.**, vol.12, 2015. p.801–838.

KHARRUFA, N. S. Simplified equation for evapotranspiration in arid regions. **Beitrage zur Hydrologie Sonderheft**, v. 5, n. 1, p. 39-47, 1985.

KISI, O. Comparison of Different Empirical Methods for Estimating Daily Reference Evapotranspiration in Mediterranean Climate. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.140(1), 2014.

KRIGE D. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of Chemical, Metal and Mining Society of South Africa**. 52:119–139. 1951

KRIGE, D. G. A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand: By DG Krige. 1951. Tese de Doutorado. University of the Witwatersrand.

LAS CASAS, A.L; BACHA, R. A. F; CARVALHO, C. M. E. O Agronegócio e o Marketing Rural no Estado de Mato Grosso do Sul. **História e Perspectivas**, Uberlândia, 2016. p.271-289.

LIAKOS, K.; BUSATO, P., MOSHOU, D.; PEARSON, S.; BOCHTIS, D. (2018). Machine Learning in Agriculture: **A Review**. **Sensors**, v.18(8), 2018

LIU, X.; XU, C.; ZHONG, X.; LI, Y.; YUAN, X.; CAO, J.. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. **Agricultural Water Management**, v.184, p.145–155, 2017

LU J., SUN G., MCNULTY S. G.; AMATYA, D. M. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern US. **JAWRA**, v 41, p 621–633, 2005

LU, J., SUN, G., MCNULTY, S. G., & AMATYA, D. M. A Comparison Of Six Potential Evapotranspiration Methods For Regional Use In The Southeastern United States. **Journal of the American Water Resources Association**, Jun 2005.

MAKKINK, G.F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. **J. Inst. Water Eng.**, vol. 11. 1957. p.277–288.

MEIRELES, E. J. L; CAMARGO, M. B. P; PEZZOPANE, J. R. M; THOMAZIELLO, R. A; FAHL, J. I; BARDIN, L; SANTOS, J. C. F JAPIASSÚ, L. B; GARCIA, A. W. R; MIGUEL, A. E; FERREIRA, R.A. Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004-2005. Brasília: **Embrapa Café**; MAPA, 2009. 130 p. (Documento, 5).

MONTENEGRO, S. G. L; ANTONINO, A. C. D; AZEVEDO, J. R. G; SILVA, B. B; OLIVEIRA, L. M. Evapotranspiração De Referência Baseada Em Métodos Empíricos Em Bacia Experimental No Estado De Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Recife – PE, v.28, n.2, p.181 - 191, 2013

PAREDES, P.; FONTES, J. C.; AZEVEDO, E. B.; PEREIRA, L. S. Daily reference crop evapotranspiration in the humid environments of Azores islands using reduced data sets: accuracy of FAO-PM temperature and Hargreaves-Samani methods. **Theoretical and Applied Climatology**, v134, p595-611, 2018.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences**, v. 193, n. 1032, p. 120-145, 1948.

PIEDRA-BONILLA, E. B., DA CUNHA, D. A., & BRAGA, M. J. (2020). Climate variability and crop diversification in Brazil: An ordered probit analysis. **Journal of Cleaner Production**, 256, 120252.

PIEDRA-BONILLA, E. B., DA CUNHA, D. A., & BRAGA, M. J. (2020). Climate variability and crop diversification in Brazil: An ordered probit analysis. **Journal of Cleaner Production**, 256, 120252.

PINKE, Z., DECSI, B., KOZMA, Z., VÁRI, Á., & LÖVEI, G. L. (2020). A spatially explicit analysis of wheat and maize yield sensitivity to changing groundwater levels in Hungary, 1961–2010. **Science of the Total Environment**, 715, 136555.

PRIESTLEY, C.H.B; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. **Mon. Weather Rev.**, vol. 100. 1972. p.81–92.

QUEJ, V. H.; ALMOROX, J.; ARNALDO, J. A.; MORATIEL, R. Evaluation of Temperature-Based Methods for the Estimation of Reference Evapotranspiration in the Yucatán Peninsula, Mexico. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.24(2), 2019.

- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Jaboticabal, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.
- ROLIM, G. S; SENTELHAS, P. C e BARBIERI, V. Planilhas No Ambiente Excel™ para os Cálculos De Balanços Hídricos: Normal, Sequencial, de Cultura e de Produtividade Real e Potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.
- ROMANENKO, V. A. Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. **Proc. of Ukrainian Hydrometeorological Research Institute**, v. 3, p. 12-25, 1961.
- SIDDIG, K., STEPANYAN, D., WIEBELT, M., GRETHE, H., & ZHU, T. (2020). Climate change and agriculture in the Sudan: Impact pathways beyond changes in mean rainfall and temperature. **Ecological Economics**, 169, 106566.
- TABARI, H.; GRISMER, M.E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrig Sci**, p.31, p.107–117, 2013.
- TANNER, C. O.; PELTON, W. L. Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. **Journal of geophysical research**, v. 65, n. 10, p. 3391-3413, 1960.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- TURC, L. Calcul Du Bilan de l'eau: Evaluation en Fonction Des Precipitations et Des Temperatures. **Int. Assoc. Sci. Hydrol**, vol. 38. 1954. p.188–202.
- TURC, L. Estimation Des Besoins en Eau D'irrigation, Evapotranspiration Potentielle, Formule Climatique Simplifíee et Mise a Jour. **Ann. Agron**. vol. 12.1961. p.13–49. ‘
- UMAR, D. A. ; RAMLI, M. F.; ARIS, A. Z.; SULAIMAN, W. N. A.; ZAUDI, M. A.; TUKUR, A. I. An overview of climate change and variability impact studies in Nigeria. **Arabian Journal of Geosciences**, v.12: 610, 2019
- VALIPOUR, M.. Evaluation of radiation methods to study potential evapotranspiration of 31 provinces. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.127(3), p.289–303, 2014)
- XU J.; PENG S., DING J.; WEI Q.; YU Y. Evaluation and calibration of simple methods for daily reference evapotranspiration estimation in humid East China. **Arch Agron Soil Sci**, v. 59, p. 845–858, 2013
- XU, C.-Y.; SINGH, V. P. Cross Comparison of Empirical Equations for Calculating Potential Evapotranspiration with Data from Switzerland. **Water Resources Management**, v.16(3), p.197–219, 2002.
- XU, C.-Y.; SINGH, V. P. Evaluation and generalization of temperature-based methods for

calculating evaporation. **Hydrological Processes**, v.15(2), p.305–319, 2001.

YODER R. E.; ODHIAMBO LO, WRIGHT WC. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. **Appl Eng Agr.** v. 21, p. 197–202, 2005.

ZHAI L.; FENG Q.; LI Q.; XU C. Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu Province, Northwest China. **Irrig Drain**, v. 59, p.477–490, 2010

ZHAO X.; LI Y., LIU J.M.. Application of stochastic model to simulation of reference crop evapotranspiration in grassland of arid region. **J Hydraul Eng.**, v. 39(11), p. 1267–1272, 2008.

ZHAO, L *et al.* Evapotranspiration Estimation Methods in Hydrological Models. **Journal of Geographical Sciences**. China, 2013. p.359-369.