

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O SEMIÁRIDO PARAIBANO

Denis Miranda Lopes⁽¹⁾; Daniele Batista Araújo⁽¹⁾; Felipe Marinho Coutinho de Souza⁽¹⁾; Péricles de Farias Borges⁽²⁾

⁽¹⁾ Graduando em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, e-mails: denismirandalopes@gmail.com; danielearaujo12@gmail.com; felipemarinhopbc@gmail.com

⁽²⁾ Professor Doutor, Orientador: pericles@cca.ufpb.br

Resumo: A evapotranspiração de referência é uma ferramenta muito importante na determinação de disponibilidade de recursos hídricos e caracterização climática, sua utilização leva a uma boa gestão dos recursos hídricos e um manejo eficiente. O objetivo desse trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência diária (ET_0) para as cidades do estado da Paraíba onde estão instaladas estações meteorológicas que disponibilizam seus dados no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia INMET através dos métodos empíricos de Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Makkink, Benavides-Lopez, Hamon e Turc, comparando seus valores com os valores obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith. O trabalho foi realizado utilizando dados climáticos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de cinco estações distribuídas em duas cidades para cada mesorregião do estado da Paraíba. Os dados horários meteorológicos utilizados foram: Temperatura instantânea, máxima e mínima ($^{\circ}C$); umidade relativa instantânea, máxima e mínima (%); temperatura do ponto de orvalho instantânea, máxima e mínima ($^{\circ}C$); pressão instantânea, máxima e mínima (hPa); Velocidade do vento (m/s) e radiação global (kJ/m^2). Diante dos resultados, concluiu-se que, apesar de se diferenciar em seus subtipos climáticos, entre as estações analisadas, das mesorregiões, aplicando-se os métodos que demonstraram uma variação em questão da sequência e ordem hierárquica, onde o seu os métodos de Jensen-Haise e de Turc foram os que apresentaram melhores resultados, os quais mostraram-se mais eficientes e recomendáveis para toda a região analisada, podendo se dizer que esses seriam, os melhores métodos para estimar a ET_0 para os municípios do semiárido do Estado da Paraíba, pois foram os que obtiveram os resultados mais parecidos quando comparado com o método de Penman-Monteith.

Palavras chaves: Evapotranspiração, recursos hídricos, temperatura

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência é uma ferramenta muito importante na determinação de disponibilidade de recursos hídricos e caracterização climática, sua utilização leva a uma boa gestão dos recursos hídricos e um manejo eficiente. É

caracterizada como a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera (De Carvalho, 2011).

Devido à dificuldade de medir diretamente a evapotranspiração, muitos métodos foram desenvolvidos utilizando as variáveis climáticas para estimativa da ET_0 . Um desses métodos é o de Penman-Monteith, que é aceito pela FAO como método padrão, devido a utilização de grande número de variáveis climáticas o que atribui uma maior precisão na estimativa diária.

Porém, o fato de ser um método onde se utiliza grande número de variáveis o torna um método pouco viável, pois é necessária a disponibilidade de todos esses dados, sendo mais utilizados em estações experimentais (Fanaya Junior, 2005).

Para facilitar a obtenção da ET_0 são usados como alternativa, métodos empíricos, os quais são baseados em apenas alguns dados climáticos. Esses métodos são mais simples, de fácil aplicação, embora de menor precisão sendo melhor aplicável em determinadas regiões (BACK, 2008).

Em certas regiões da Paraíba, principalmente em áreas secas onde se aproximam da semiaridez a quantificação da evapotranspiração é de grande significância, tendo em vista que se tem grandes déficits hídricos ao longo do ano, que é grande empecilho à produção agrícola sendo um permanente risco (De An Henrique, 2007). O objetivo desse trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência diária (ET_0) para as cidades do estado da Paraíba onde estão instaladas estações meteorológicas que disponibilizam seus dados no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia INMET através dos métodos empíricos de Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Makkink, Benavides-Lopez, Hamon e Turc, comparando seus valores com os valores obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith afim de demonstrar qual método é mais adequado para determinada região e assim realizar uma análise com ênfase na oferta hídrica a partir dos resultados obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando dados climáticos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de cinco estações distribuídas em duas cidades para cada mesorregião do estado da Paraíba, instaladas nas cidades Monteiro e Cabaceiras representando a Borborema e, Patos e São Gonçalo representando o Sertão (Tab.1), no período de quatro anos, compreendido entre janeiro de 2009 e dezembro de 2012. Os dados horários meteorológicos utilizados foram: Temperatura instantânea, máxima e mínima ($^{\circ}C$); umidade relativa instantânea, máxima e mínima (%); temperatura do ponto de orvalho instantânea, máxima e mínima ($^{\circ}C$); pressão instantânea, máxima e mínima (hPa); Velocidade do vento (m/s) e radiação global (kJ/m^2). Com o propósito de tornar os dados meteorológicos utilizados mais homogêneos os dados meteorológicos horários foram

convertidos em dados meteorológicos diários e foram eliminadas aquelas informações discrepantes, incompletas ou inconsistentes.

Tabela 1. Coordenadas geográficas e série histórica registrada das estações estudadas disponibilizado pelo INMET.

Nome da estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Mesoregião
Cabaceiras	-7,4832°	-36,2864°	392	Borborema
Campina Grande	-7,2255°	-35,9048	546	Agreste
Monteiro	-7,8944°	-37,1247	606	Borborema
Patos	-7,0798°	-37,2728°	264	Sertão
São Gonçalo	-6,8357°	-38,3115°	237	Sertão

Para o cálculo da evapotranspiração foi utilizado o software com base na plataforma do Excel, denominado PMday, desenvolvido por R.L Snyder e S. Eching da universidade da Califórnia. No qual foi utilizado os dados meteorológicos e dados sobre as estações meteorológicas como a latitude, longitude altitude. Esse software utiliza o modelo para cálculo de evapotranspiração proposto por Penman-Monteith.

Com os dados tabulados na planilha Excel utilizada, foi calculada os valores de evapotranspiração diária e gerado recursos extras como a geração de gráficos, os quais serão apresentados apenas os mais representativos para cada cidade para não haver uma sobrecarga de gráficos no texto, e tabelas com médias das variantes climáticas como também da evapotranspiração a qual será realizada a análises sobre o balanço hídrico de cada município.

Descrição dos métodos para estimativa da evapotranspiração

Método de Penman-Monteith.

A evapotranspiração de referência diária – ET_0 , foi obtida através do método padrão da FAO – Penman-Monteith (ET_0) que trata de uma cultura hipotética com altura de 12 cm, resistência aerodinâmica da superfície 70 s m^{-1} e albedo de 23%. A equação utilizada na determinação dos valores da evapotranspiração de referência é aquela descrita por Allen et al. (1998), ou seja:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} J_{2m} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_{2m})} \quad (1)$$

Em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência diária (mm);

R_n = saldo de radiação à superfície (MJ m^{-2});

G = fluxo de calor no solo (MJ m^{-2}), considerado nulo para período diário;

T_{med} = temperatura média do ar ($^{\circ}C$);

U_{2m} = velocidade média diária do vento a 2 metros de altura ($m s^{-1}$);

e_a = pressão parcial do vapor d'água (kPa) média diária;

e_s = pressão de saturação do vapor d'água (kPa) média diária;

$(e_s - e_a)$ = déficit de saturação (kPa);

Δ = inclinação da curva de pressão de saturação de vapor d'água ($kPa^{\circ}C^{-1}$);

γ = é o fator psicrométrico ($kPa^{\circ}C^{-1}$);

900 = um fator de conversão;

Método de Jensen-Haise

Em trabalhos realizados nas regiões semiáridas americanas, Jensen-Haise (1963), propuseram a seguinte relação para ET_0 ($mm dia^{-1}$) (PEREIRA et al., 1997)

$$ET_0JH = R_s \cdot (0,025T + 0,078) \quad (2)$$

Em que:

ET_0JH = evapotranspiração de referência ($mm dia^{-1}$);

R_s = radiação solar ao nível do solo ($MJ m^{-2}$) e;

T = temperatura média do período ($^{\circ}C$).

Equação de Hargreaves-Samani

O método proposto por Hargreaves e Samani (1985) é uma alternativa para situações em que não se têm dados medidos de radiação solar à superfície, umidade relativa do ar e velocidade do vento:

$$ET_0HS = 0,0023R_o(T_{máx} - T_{mín})^{0,5} \cdot (T + 17,8) \quad (3)$$

Em que:

ET_0HS = evapotranspiração de referência ($mm dia^{-1}$);

R_o = radiação solar extraterrestre ou no topo da atmosfera ($MJ m^{-2} dia^{-1}$);

$T_{máx}$ = temperatura máxima diária ($^{\circ}C$) e;

$T_{mín}$ = temperatura mínima diária ($^{\circ}C$).

Equação de Makkink

Makkink (1957) obteve uma correlação entre ET_0 diária ($mm dia^{-1}$) e a radiação solar ao nível da superfície expressa em equivalente de evaporação (R_s , $mm dia^{-1}$) usando dados de evapotranspiração potencial de um gramado em lisímetro de lençol freático constante (PEREIRA et al., 1997):

$$ET_0M = 0,61 \cdot W \cdot R_s - 0,12 \quad (4)$$

Em que:

ET_0M = evapotranspiração de referência ($mm dia^{-1}$);

R_s = radiação solar global (MJ m^{-2}) e;

W = fator de ponderação que depende da temperatura do bulbo molhado (T_u).

Método de Turc

É um método que foi criado a princípio para regiões onde a umidade do ar é maior que 50% onde vai apresentar bons resultados em áreas costeiras e úmidas (FERNANDES, 2010). Esse método necessita das variáveis de temperatura e de radiação e é descrita como:

$$ET_0 = \frac{0,013T_{med}}{T_{med} + 15} (23,9R_G + 50) \quad (5)$$

Em que:

ET_0 = Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

T_{med} = Temperatura Média ($^{\circ}\text{C}$) e;

R_G = Radiação Solar Global (MJ m^{-2}).

Método de Hamon:

Esse método é influenciado pela altitude, pois nele inclui o efeito de insolação que vai ser incorporado durante dia e utiliza dados de temperatura do ar para obter a pressão de vapor de saturação (FERNANDES, 2010)

$$ET_0 = 0,55 \frac{N}{24} \frac{4,95 \exp^{0,062t}}{100} 25,4 \quad (6)$$

Em que

ET_0 = Evapotranspiração de Referência (mm dia^{-1});

N = Foto período (h).

Método de Benavides-Lopez

Criado por Garcia Benavides e Lopez Dias, esse método baseia-se em dados de temperatura média e umidade relativa do ar (JUNIOR, 2012)

$$ET_{0_{BL}} = 1,21 \left(0 \frac{7,45T_{med}}{234,7 + T_{med}} (1 - 0,01UR_{med}) + 0,21T_{med} - 2,30 \right) \quad (7)$$

Em que:

ET_0 = Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1})

T_{med} = Temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$) e;

UR_{med} = Umidade relativa média (%).

Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análise de regressão linear entre os métodos alternativos de Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Makkink Benavides-Lopez, Hamon e

Turc com o método de Penman-Monteith, utilizando as estimativas da evapotranspiração de referência. A partir das análises, determinou-se a relação funcional, $f(x) = a + bx$ (a - coeficiente de linear e, b - coeficiente angular), entre cada um dos métodos alternativo e o método padrão. A significância do coeficiente regressão foi determinado pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Baseado na relação funcional, estimou-se a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith em função do método alternativo.

Para se determinar o método alternativo de maior ajuste ao método padrão utilizou os parâmetros: coeficientes de determinação (R^2); índice de concordância (d) Eq. (8) (WILLMOTT, 1981); Índice de Pearson (ρ) Eq.(9); percentagem do desvio (PD) Eq.(10) e índice de confiabilidade (c) Eq.(11) (Camargo e Sentelhas, 1997).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (8)$$

Em que:

- d = índice de Willmott;
- E_i = valores estimados na observação i;
- O_i = variável observada na observação i e;
- O = média dos valores observados no período;

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

Em que:

- ρ = índice de Pearson;
- x_i = valores observados na observação i;
- \bar{x} = valor médio dos dados observados no período;
- y_i = valores estimados na observação i e;
- \bar{y} = valor médio dos dados estimados no período.

$$PD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{n} + \frac{100}{x}} \quad (10)$$

Em que:

- PD = percentagem de desvio;
- E_i = valores estimados na observação i;
- O_i = variável observada na observação i;
- n = tamanho da amostra e;
- x = valor médio dos dados observados no período;

A confiabilidade das equações foi testada através do índice de confiança “c” proposta por Camargo e Sentelhas (1997) descrito da seguinte forma:

$$c = d \cdot \rho \quad (11)$$

Em que:

c = índice de desempenho;

d = índice de concordância proposto por Willmott;

ρ = índice de Pearson.

O coeficiente c, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), é interpretado de acordo com os referidos autores pela tabela 2

Tabela 2. Avaliação do desempenho pelo índice “c”, Sentelhas e Camargo (1997).

Valor de c	Desempenho
c > 85	Ótimo
0,76 < c < 0,85	Muito Bom
0,66 < c < 0,75	Bom
0,61 < c < 0,65	Mediano
0,51 < c < 0,60	Sofrível
0,41 < c < 0,50	Mau
c ≤ 0,40	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na mesorregião da Borborema as análises da evapotranspiração de referência foram analisadas nas cidades: Cabaceiras e Monteiro, cidades de clima tropical semiárido. Em análise na cidade de Monteiro, de acordo com a Tabela 4, o método de Jensen-Haise foi o que mostrou melhor desempenho no decorrer dos anos analisados, com desempenho ótimo em todos os anos e com satisfatórios coeficientes estatísticos, mostrando que esse método correlaciona muito bem com o método de Penman Monteith para a cidade de Monteiro.

O outro método que apresentou desempenho satisfatório, e consideráveis coeficientes estatísticos, indicando boa correlação com o método de Penman-Monteith, foram os métodos de Turc, Makkink, Hargreaves na sequência, sendo indicado a utilização desses métodos para estimar a ET_0 . O método de Benavides-Lopez pode ser indicado a sua utilização com certa aferição e ajuste. O método de Hamon não se mostrou tão confiável para estimar o ET_0 para Monteiro nos anos analisados, como os outros métodos, chegando a mostrar no ano de 2010 um desempenho sofrível e baixos coeficientes de determinação, não sendo indicado a utilização, como mostra a Figura 2.

Para Cabaceiras, os resultados obtidos foram semelhantes, sendo o método que apresentou o melhor desempenho foi o de Jensen-Haise, seguido por Turc, Hargreaves, Benavides-Lopez, na sequência. O método de Makkink não foi tão preciso para estimar a ET_0 , quanto foi na cidade de Monteiro, apresentando desempenho Mediano e baixo coeficiente de determinação, $r^2 = 0,57$ não tão satisfatórios no ano de 2010. O método de

Hamon, como é possível analisar na Figura 3, apresentou correlação pouco forte chegando a apresentar desempenho sofrível em 2010.

Para a cidade de Patos (Tabela 6), que também possui clima semiárido, os métodos que apresentaram os mais satisfatórios desempenhos foram Hargreaves com desempenho entre ótimo e bom e mostrando bom coeficiente de determinação confirmando a boa eficiência do método de Hargreaves para regiões de clima seco e também porque é um método simples para estimar a ET_0 . Na sequência, os métodos de Turc e Jensen-Haise sendo os mais indicados para estimar a ET_0 na cidade de Patos. Os métodos de Benavides-Lopez e Hamon apresentaram, mau desempenho no ano de 2010 e 2012 respectivamente apresentando coeficientes de determinação baixos, com fraca correlação.

Em São Gonçalo, distrito do município de Sousa, os métodos que se mostraram com melhores desempenhos (Tabela 7) foram: Turc, Jensen-Haise e Makkink na sequência, apresentando desempenho entre ótimo e muito-bom. Com bons coeficiente de determinação se mostraram precisos, apresentando forte correlação entre esses métodos e o método de Penman-Monteith. Os métodos Benavides-Lopez, Hargreaves e Hamon não se mostraram confiáveis para estimar a ET_0 para região de São Gonçalo, chegando a apresentar, em alguns dos anos analisados, mau, mau e péssimo desempenho não sendo indicado a utilização desses métodos para estimar a ET_0 . Diferente de Patos, o método de Makkink se mostrou mais preciso e confiável para São Gonçalo, assim como Pilau et al. (2012) que encontraram desempenho ótimo para Makkink em Palmeira das Missões.

Medeiros (2008), encontrou resultados diferentes dos analisados neste trabalho, no qual ele observa que o método de Jensen-Haise obteve o pior índice de desempenho entre todos os métodos utilizados, justificando que a equação do mesmo é utilizada para áreas de regiões áridas e semiáridas, onde a necessidade hídrica de uma planta é grande.

Na pesquisa realizada por Bezerra et al. (2014), estimando a ET_0 diária para Mossoró, No Rio Grande do Norte, foram encontrados resultados para o método de Jensen-Haise classificados como muito bom, apresentado os coeficientes de Willmott (d), Pearson (ρ) e Confiabilidade (c) equivalentes a 88, 91 e 80%, respectivamente, indicando que os resultados apresentados neste estudo apresentam uma boa representatividade para este método, assim como os resultados encontrados por Cavalcante Junior et al. (2011) em trabalho realizado na cidade de Mossoró avaliando métodos de estimativa da ET_0 para as condições do semiárido Nordeste, caracterizado como ótimo, de acordo com a classificação proposta por Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 4: Indicadores estatísticos da correlação dos modelos empíricos com o método padrão Penman Monteith para os anos de 2009 a 2012 na cidade de Monteiro, PB.

Método	R ²	D	ρ	C	PD	Desempenho
			2009			

Benavides	0,84	0,9561	0,9192	0,8788	11,62	Ótimo
Hamon	0,68	0,8946	0,8243	0,7375	16,71	Bom
Turc	0,88	0,9657	0,9356	0,9035	10,42	Ótimo
Jensen	0,90	0,9556	0,9483	0,9062	12,06	Ótimo
Hargreaves	0,87	0,9642	0,9331	0,8996	10,62	Ótimo
Makkink	0,83	0,9519	0,9123	0,8584	12,09	Ótimo
2010						
Benavides	0,64	0,8782	0,8015	0,7039	12,38	Bom
Hamon	0,51	0,8046	0,714	0,5732	14,52	Sufrível
Turc	0,85	0,9568	0,9205	0,8808	8,09	Ótimo
Jensen	0,87	0,9651	0,9352	0,9026	7,34	Ótimo
Hargreaves	0,81	0,9444	0,8995	0,8495	9,04	Muito Bom
Makkink	0,78	0,9341	0,8828	0,8246	9,72	Muito Bom
2011						
Benavides	0,66	0,9806	0,8111	0,7954	3,25	Muito Bom
Hamon	0,48	0,9694	0,6933	0,6721	4,00	Bom
Turc	0,79	0,98824	0,8880	0,8777	2,55	Ótimo
Jensen	0,83	0,9909	0,9131	0,9048	2,27	Ótimo
Hargreaves	0,47	0,9687	0,6841	0,6627	4,05	Bom
Makkink	0,74	0,9856	0,8619	0,8495	2,82	Muito Bom
2012						
Benavides	0,65	0,8795	0,8037	0,7069	12,98	Bom
Hamon	0,51	0,8495	0,7659	0,6507	14,03	Mediano
Turc	0,83	0,9232	0,9094	0,8396	11,45	Muito Bom
Jensen	0,86	0,9599	0,9262	0,8891	8,24	Ótimo
Hargreaves	0,73	0,9158	0,8554	0,7833	11,31	Muito Bom
Makkink	0,76	0,9256	0,8704	0,8057	10,75	Muito Bom

Tabela 5: Indicadores estatísticos da correlação dos modelos empíricos com o método padrão Penman Monteith para os anos de 2009 a 2012 na cidade de Cabaceiras, PB.

Método	R²	D	ρ	C	PD	Desempenho
2009						
Jensen	0,88	0,9660	0,9361	0,9042	9,7276	Ótimo
Hargreaves	0,84	0,9472	0,9168	0,8784	11,5289	Ótimo
Makkink	0,80	0,9409	0,8943	0,8414	12,3755	Muito Bom
Benavides	0,79	0,9379	0,8891	0,8339	12,6504	Muito Bom
Hamon	0,66	0,8860	0,8127	0,7200	16,1087	Bom
Turc	0,85	0,9569	0,9203	0,8806	10,8126	Ótimo
2010						
Jensen	0,91	0,9769	0,9558	0,9337	7,3563	Ótimo
Hargreaves	0,79	0,9373	0,8882	0,8325	11,4904	Muito Bom
Makkink	0,57	0,8404	0,7544	0,6340	16,4171	Mediano
Benavides	0,69	0,9013	0,8336	0,7513	13,8194	Bom
Hamon	0,54	0,8251	0,7357	0,6071	16,9381	Sufrível
Turc	0,90	0,9716	0,9461	0,9192	8,0973	Ótimo
2011						
Jensen	0,91	0,9763	0,9540	0,9314	8,5724	Ótimo
Hargreaves	0,84	0,9547	0,9151	0,9736	11,5271	Ótimo
Makkink	0,83	0,9518	0,9100	0,9661	11,8441	Ótimo
Benavides	0,83	0,9524	0,9109	0,8675	11,7855	Ótimo
Hamon	0,69	0,9032	0,8330	0,7524	15,8070	Bom
Turc	0,88	0,9684	0,9392	0,9095	9,8063	Ótimo
2012						

Jensen	0,91	0,9751	0,9526	0,9289	6,6854	Ótimo
Hargreaves	0,78	0,9357	0,8856	0,8286	10,2029	Muito Bom
Makkink	0,80	0,9414	0,8955	0,8430	9,7898	Muito Bom
Benavides	0,74	0,9205	0,8625	0,7939	11,1258	Muito Bom
Hamon	0,62	0,8689	0,7905	0,6869	13,4673	Bom
Turc	0,87	0,9636	0,9321	0,8982	7,9688	Ótimo

Tabela 6: Indicadores estatísticos da correlação dos modelos empíricos com o método padrão Penman Monteith para os anos de 2009 a 2012 na cidade de Patos, PB.

Método	R ²	D	ρ	C	PD	Desempenho
2009						
Benavides	0,85	0,9570	0,9208	0,8811	10,85	Ótimo
Hamon	0,67	0,8899	0,8179	0,7278	16,00	Bom
Turc	0,72	0,9131	0,8513	0,7773	14,59	Muito Bom
Jensen	0,73	0,9155	0,8552	0,7829	14,42	Muito Bom
Hargreaves	0,84	0,9541	0,9157	0,8736	11,18	Ótimo
Makkink	0,61	0,8634	0,7826	0,6757	17,31	Bom
2010						
Benavides	0,42	0,7449	0,6504	0,4845	17,11	Mau
Hamon	0,19	0,4851	0,4365	0,2118	20,26	Péssimo
Turc	0,75	0,9222	0,8645	0,7972	11,32	Muito Bom
Jensen	0,69	0,8994	0,8313	0,7478	12,52	Bom
Hargreaves	0,62	0,8659	0,7862	0,6808	13,92	Bom
Makkink	0,66	0,8860	0,8124	0,7198	13,14	Bom
2011						
Benavides	0,81	0,9442	0,8989	0,8487	12,27	Muito Bom
Hamon	0,59	0,8528	0,7684	0,6553	17,91	Mediano
Turc	0,72	0,9126	0,8502	0,7759	14,74	Muito Bom
Jensen	0,70	0,9040	0,8373	0,7569	15,30	Bom
Hargreaves	0,80	0,9427	0,8968	0,8454	12,39	Muito Bom
Makkink	0,59	0,8528	0,7677	0,6547	17,94	Mediano
2012						
Benavides	0,60	0,8564	0,7734	0,6623	11,68	Muito Bom
Hamon	0,43	0,7471	0,6524	0,4875	13,95	Mau
Turc	0,79	0,9387	0,8907	0,8361	8,37	Muito Bom
Jensen	0,73	0,9166	0,8561	0,7848	9,52	Muito Bom
Hargreaves	0,66	0,8847	0,8108	0,7173	10,78	Bom
Makkink	0,69	0,8975	0,8282	0,7434	10,32	Bom

Tabela 7: Indicadores estatísticos da correlação dos modelos empíricos com o método padrão Penman Monteith para os anos de 2009 a 2012 na cidade de São Gonçalo, PB.

Método	R ²	D	ρ	C	PD	Desempenho
2009						
Benavides	0,63	0,8706	0,7917	0,6893	7,44	Bom
Hamon	0,45	0,7657	0,6708	0,5136	9,03	Sofrível
Turc	0,90	0,9718	0,9466	0,9199	3,92	Ótimo
Jensen	0,91	0,9764	0,9549	0,9324	3,62	Ótimo
Hargreaves	0,76	0,9283	0,8740	0,8113	5,91	Muito Bom
Makkink	0,87	0,9643	0,9332	0,8999	4,38	Ótimo
2010						

Benavides	0,65	0,8820	0,8070	0,7118	12,08	Bom
Hamon	0,23	0,5514	0,4844	0,2671	17,90	Péssimo
Turc	0,83	0,9502	0,9094	0,8641	8,51	Ótimo
Jensen	0,80	0,9397	0,8918	0,8380	9,28	Muito Bom
Hargreaves	0,58	0,8452	0,7594	0,6419	13,31	Mediano
Makkink	0,79	0,9365	0,8869	0,8306	9,45	Muito Bom
2011						
Benavides	0,28	0,8327	0,5275	0,4393	17,09	Mau
Hamon	0,37	0,8599	0,6067	0,5217	15,99	Sofrível
Turc	0,74	0,9544	0,8644	0,8212	10,25	Muito Bom
Jensen	0,73	0,9534	0,8572	0,8172	10,37	Muito Bom
Hargreaves	0,59	0,6468	0,7670	0,4961	52,88	Mau
Makkink	0,69	0,9433	0,8300	0,7830	11,22	Muito Bom
2012						
Benavides	0,49	0,7964	0,7048	0,5613	12,28	Sofrível
Hamon	0,28	0,6077	0,5311	0,3228	14,66	Péssimo
Turc	0,80	0,9399	0,8925	0,8389	7,81	Muito Bom
Jensen	0,77	0,9311	0,8783	0,8187	8,27	Muito Bom
Hargreaves	0,54	0,8239	0,7341	0,6048	11,75	Sofrível
Makkink	0,73	0,9138	0,8582	0,7793	9,04	Muito Bom

CONCLUSÃO

Diante dos resultados, concluiu-se que, apesar de se diferenciar em seus subtipos climáticos, entre as estações analisadas, das mesorregiões, aplicando-se os métodos que demonstraram uma variação em questão da sequência e ordem hierárquica, onde o seu os métodos de Jensen-Haise e de Turc foram os que apresentaram melhores resultados, os quais mostraram-se mais eficientes e recomendáveis para toda a região analisada, podendo se dizer que esses seriam, os melhores métodos para estimar a ET_0 para os municípios do semiárido do Estado da Paraíba, pois foram os que obtiveram os resultados mais parecidos quando comparado com o método de Penman-Monteith.

Referências

- PEREIRA, D.R.; YANAGI, S.N.M.; MELLO; C.R.; SILVA, A.M.; SILVA, L.A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.9, p. 2488-2493, 2009.
- BORGES, AC DE; MENDIONDO, EDUARDO M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.
- DE AN HENRIQUE, F. D., RENILSON T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, v. 11, n. 6, 2007.
- MEDEIROS A.T. Estimativa da evapotranspiração de referencia a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em

Piraipaba, CE. 2002.103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, SP.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; DIAS, G.P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, FERNANDO FAGNER; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul, MS. Engenharia na agricultura, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013.

DE CARVALHO, LUIZ GONSAGA et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 41, n. 3, p. DOI: 10.5216/pat.v41i3.12760, 2011.

VESCOVE, HUMBERTO V.; TURCO, JOSÉ EP. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves com calibração regional e local.

ROSEMBERG, N. J.; BLADE, B. L.; VERMA, S. B. Microclimate: the biological environment. 2nd ed. New York: J. Wiley, 1983. 495 p.

PILAU, FELIPE GUSTAVO et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. Ciência Rural, v. 42, n. 2, p. 283-290, 2012.

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.

CAVALCANTE JR., E.G.; OLIVEIRA, A.D.; ALMEIDA, B.M.; Espínola Sobrinho, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. Semina, Londrina, v.32, n. suplemento, p.1699-1708, 2011.

HALLAL, M. CURI. et al. Estimativa Da Evapotranspiração De Referência E Sua Relação Com A Precipitação Ocorrida Na Região De Pelotas-Rs1. **Irriga**, V. 18, N. 1, P. 85, 2013.

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.