

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE MAUÉS, AMAZONAS*

JOÃO VICTOR GÓES BARBOSA¹; DÉRICK ALBERTO ARRUDA¹; ARISTÓTELES DE JESUS TEIXEIRA FILHO¹ E JOÃO CLEBER CAVALCANTE FERREIRA²

**Trabalho retirado do trabalho de conclusão de curso “Avaliação do desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Maués, Amazonas”, Universidade Federal do Amazonas, defendido em 29 de novembro de 2021.*

¹Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia-ICET. Universidade Federal do Amazonas-UFAM. Rua Nossa Senhora do Rosário, 3863 – Bairro Tiradentes, CEP: 69103-128, Itacoatiara, AM, Brasil. joao_victor_goes96@hotmail.com; derick.arruda@hotmail.com; aristoteles@ufam.edu.br

²Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA. Rua André Araújo, 2936 – Bairro Petrópolis, CEP: 69067-375, Manaus, AM, Brasil. joao-cleber09@hotmail.com

1 RESUMO

A estimativa precisa da evapotranspiração de referência (ET_o) é essencial para o cálculo das necessidades de água de uma cultura, bem como para a programação dos eventos de irrigação e para a gestão sustentável de recursos hídricos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi correlacionar os métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise e Camargo com o método de Penman-Monteith, recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) como método padrão para a estimativa da ET_o, para o município de Maués, AM, baseando-se em dados obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), oriundos de uma estação automática, série de dados de 2009 a 2018. Para comparar os métodos de estimativa de ET_o, foram utilizados o erro-padrão de estimativa em relação ao método padrão (EPE), os coeficientes de correlação (r), de determinação (r²) e de desempenho (c) e o índice de concordância (d). Dentre os resultados obtidos, verificou-se que todos os métodos avaliados superestimaram a ET_o em comparação com o método padrão, Penman-Monteith, em todos os meses do ano. O método de Blaney-Criddle foi o que melhor atendeu a estimativa da ET_o para o município de Maués, AM, seguido pelos métodos de Hargreaves, Jensen-Haise e Camargo.

Palavras-chave: irrigação, Camargo-Sentelhas, Penman-Monteith.

BARBOSA, J. V. G.; ARRUDA, D. A.; TEIXEIRA FILHO, A. de J.; FERREIRA, J. C. C.

PERFORMANCE EVALUATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION METHODS FOR THE CITY OF MAUÉS, AMAZONAS

2 ABSTRACT

The accurate estimation of reference evapotranspiration (ET_o) is essential for calculating the water requirements of a crop and for scheduling irrigation events and for a sustainable management of water resources. In this sense, this study aimed to correlate the Blaney-

Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise, and Camargo methods with the Penman-Monteith method, recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) as the standard method for estimating ETo, for the city of Maués, AM, based on data obtained from the National Institute of Meteorology (INMET), from an automatic station, time series from 2009 to 2018. The standard error of estimate in relation to the standard method (EPE), the coefficients of correlation (r), determination (r^2), and performance (c), and the agreement index (d) were used to compare the ETo estimation methods. Among the results obtained, it was found that all methods evaluated overestimated ETo compared to the standard method, Penman-Monteith, in all months of the year. The Blaney-Criddle method was the best at estimating ETo for the city of Maués, AM, followed by the methods of Hargreaves, Jensen-Haise, and Camargo.

Keywords: irrigation, Camargo-Sentelhas, Penman-Monteith.

3 INTRODUÇÃO

Um dos requisitos essenciais para estimar a quantidade de água necessária para a produção agrícola é entender efetivamente as relações entre as condições climáticas e a evapotranspiração (ARAÚJO; COSTA; SANTOS, 2007; CARVALHO *et al.*, 2011)

A evapotranspiração de referência (ETo) é uma das principais variáveis do ciclo hidrológico. A ETo refere-se à transferência de água para a atmosfera, evaporada da superfície do solo e transpiração das plantas (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2017; QUEJ *et al.*, 2019).

Informações quantitativas da ETo são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem (HENRIQUE; DANTAS, 2007).

Na estimativa da necessidade hídrica de uma cultura em cada uma de suas fases de desenvolvimento, o método usualmente utilizado tem como base a estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), que pode ser obtida por meio do valor da ETo corrigida pelo coeficiente da cultura (Kc), coeficiente este que depende da cultura utilizada e de seu estágio de desenvolvimento (CHAGAS *et al.*, 2013).

A ETo depende de vários fatores relacionados ao solo, à planta e ao clima, constituindo um parâmetro agrometeorológico, que como foi mencionado, é imprescindível na quantificação das necessidades hídricas das culturas e nos estudos sobre o aproveitamento dos recursos hídricos, tornando-se necessária a análise de possíveis métodos que melhor estimem essa variável (FERRAZ, 2008). Esse importante parâmetro pode ser estimado, por exemplo, por meio de modelos matemáticos. Parte dos modelos matemáticos disponíveis são empíricos e não permitem estimativas razoáveis em áreas cujas características são diferentes daquelas para as quais eles foram calibrados (AYOADE, 2013).

Diversos estudos testando a precisão entre os métodos de estimativa da evapotranspiração vêm sendo realizados com a finalidade de apurar os modelos mais precisos para cada localidade (MEDEIROS, 1998; CAPORUSSO; ROLIM, 2015; SANTOS *et al.*, 2017; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2017; SOUZA; SOUSA, 2020), com os resultados desses estudos evidenciando que estas equações podem ser usadas para a estimativa da ETo em condições de limitações de dados, desde que validadas e calibradas, levando-se em consideração as condições edafoclimáticas.

Nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, cujos climas variam de semiárido (Bs) a tropical (As, Aw e Af) segundo a classificação de Köppen, os métodos mais frequentes e com os melhores ajustes têm sido: Blaney-Criddle FAO-24, Radiação Solar FAO-24 e Priestley-Taylor. Os ajustes satisfatórios obtidos pelo método de Blaney-Criddle, devem-se ao fato de que esse modelo foi desenvolvido em clima semiárido no oeste dos Estados Unidos da América, com características microclimáticas próximas ao Nordeste brasileiro (MUNHOZ *et al.*, 2012).

Uma maneira frequentemente utilizada para verificar a eficiência de métodos de estimativa da ETo é por meio da comparação destes com o de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998), parametrizado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO (TURCO; PERECIN; PINTO JÚNIOR, 2008), já que dos diversos métodos existentes, a FAO decidiu utilizá-lo como método padrão para a estimativa da evapotranspiração. A adoção desse método pela FAO tem como justificativa a eficiência dele em resultar a ETo em condições variáveis de umidade atmosférica do ar (CAMARGO; CAMARGO, 2000).

Devido à dificuldade de aquisição de dados necessários para o uso da equação de Penman-Monteith, uma vez que Ayoade (2013) afirma que a maior desvantagem desse método é a exigência de muitos dados que não podem ser prontamente obtidos, particularmente, nos países em desenvolvimento nos trópicos, lança-se a modelos com quantidades menores de variáveis, como é o caso das equações de Blaney-Criddle, Hargreaves e Priestley-Taylor.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dos métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise e Camargo em relação ao método de Penman-Monteith-FAO para a

estimativa da evapotranspiração potencial de referência no município de Maués, AM.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta pesquisa, oriundos de uma estação meteorológica automática com série histórica de 2009 a 2018, foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (COSTA, 2019) para a localidade de Maués, AM (OMM: 81734), latitude 03° 22' 54" Sul e longitude 57° 42' 55" Oeste, a 35 metros de altitude.

De acordo com Köppen e Geiger, a classificação do clima de Maués, AM, é do tipo tropical, Af, com uma pluviosidade significativa ao longo do ano, em torno de 2.100 mm e temperatura média anual de 27,2 °C (CLIMATE-DATA.ORG, 2019).

As variáveis meteorológicas consideradas neste trabalho foram: precipitação pluviométrica; temperaturas do bulbo seco e úmido; temperaturas máxima e mínima do ar; umidade relativa; pressão atmosférica; insolação; e direção e velocidade do vento, necessárias às estimativas da ETo diária pelo método padrão, FAO - 56 Penman-Monteith, e pelos métodos avaliados, Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise e Camargo. Os valores para essas variáveis foram tabulados utilizando-se planilhas do Microsoft Excel.

A estimativa da ETo diária pelo método da FAO-56 (Penman-Monteith) é sintetizada na Equação 1 (ALLEN *et al.*, 1998).

$$E_o = \frac{0,4 \Delta(R - G) + \gamma \left(\frac{9}{T+2} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,3 U_2)} \quad (1)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração potencial de referência (mm d⁻¹); Δ é a declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹); Rn é a radiação líquida total

diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); χ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T é a temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 é a velocidade média do vento medido a 2 metros de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor de água (kPa); e e_a é a pressão parcial do vapor de água (kPa).

Para a estimativa da ETo pelo método de Blaney e Criddle, descrito em Pereira; Villa Nova; Sedyama (1997), foi considerada a Equação 2.

$$E_o = [(0,457 * T + 8,13) * p] * c \quad (2)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês^{-1}); c é o coeficiente regional de ajuste da equação; T é a temperatura média mensal do ar ($^\circ\text{C}$); e P é a percentagem mensal das horas anuais de luz solar (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Na estimativa da ETo pelo método de Hargreaves e Samani (1985), foi utilizada a Equação 3.

$$E_o = 0,0135 * K * (T_m + 17,8) * R_a * 0,408 * (T_x - T_n)^{1/2} \quad (3)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração potencial de referência (mm d^{-1}); T_m é a temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$); T_x é a temperatura máxima diária ($^\circ\text{C}$); T_n é a temperatura mínima diária ($^\circ\text{C}$); R_a é a radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); e KT é o coeficiente de transmissividade atmosférica global, cujo valor para uma região interiorana é de 0,162; e igual a 0,19 para uma região costeira.

Na estimativa da ETo pelo método de Jensen-Haise, descrito em Pereira; Villa Nova; Sedyama (1997), foi usada a Equação 4.

$$E = R_s(0,0252 * T + 0,078) \quad (4)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês^{-1}); R_s é a radiação solar global (mm d^{-1}); e T é a temperatura média mensal ($^\circ\text{C}$).

A ETo estimada pelo método de Camargo (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997), foi calculada empregando-se a Equação 5.

$$E = R_T * T * k_f * N \quad (5)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); RT é a radiação solar extraterrestre (mm d^{-1} de

evapotranspiração equivalente); ND é o número de dias do período analisado; T é a temperatura do ar média ($^\circ\text{C}$); K_f é o fator de ajuste que varia com a temperatura do ar média anual do local ($k_f = 0,01$ para $T < 23$ $^\circ\text{C}$; $k_f = 0,0105$ para $T = 24$ $^\circ\text{C}$; $k_f = 0,011$ para $T = 25$ $^\circ\text{C}$; $k_f = 0,0115$ para $T = 26$ $^\circ\text{C}$; e $k_f = 0,012$ para $T > 26$ $^\circ\text{C}$).

Os valores estimados de ETo em planilha eletrônica do Excel, foram analisados por regressão linear (Equação 6), tendo como variável dependente (Y), os métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise e Camargo e como variável independente (X), os valores de ETo estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56.

$$Y = \beta + \beta_1 X \quad (6)$$

Em que: Y é o valor estimado para os métodos empíricos; β é o coeficiente angular; β_1 é o coeficiente linear; e X é o valor estimado pelo método padrão Penman-Monteith-FAO 56.

A correlação entre o método de Penman-Monteith-FAO 56 e os métodos empíricos foi realizada com base em indicadores estatísticos a fim de se observar a precisão dada pelo coeficiente de

correlação (r) que está associado ao desvio entre os valores estimados e medidos, indicando o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, utilizando-se no cálculo a Equação 7.

$$r = \sqrt{\frac{[\sum(Y_e - \bar{Y})(Y - \bar{Y})]^2}{\sum(Y_e - \bar{Y})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

Em que: Y_e é o valor da ETo estimado pelo método avaliado; Y é o valor estimado pelo método Penman-Monteith-FAO 56; e \bar{Y} é a média dos valores do método padrão.

A exatidão na estimativa da ETo em relação ao modelo padrão foi obtida por meio do cálculo do índice “ d ” (Equação 8), que varia 0 a 1 (WILLMOTT; CKLESON; DAVIS, 1985).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(Y_e - \bar{Y})^2}{\sum(|Y_e - \bar{Y}| + |Y - \bar{Y}|)} \right] \quad (8)$$

O coeficiente de segurança ou desempenho “ c ” (Tabela 1), foi calculado pelo produto de r e d ($c = r*d$) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

Tabela 1. Valores do coeficiente de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997).

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

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

A definição dos métodos mais adequados para a estimativa da ETo, baseou-se nos menores valores do erro padrão de estimativa (EPE) (Equação 9). A quantificação dos erros proporcionados pelas estimativas foi obtida pelo EPE e por meio da relação dos valores médios (Equação 10), expressa em porcentagem (%).

$$E = \sqrt{\frac{\sum(Y_e - \bar{Y})^2}{n}} \quad (9)$$

$$\% = \frac{Y_e \cdot 1}{\bar{Y}} \quad (10)$$

Em que: Y_e é a média do método estimado; Y é a média do método padrão; e n é o número de observações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante um período de 10 anos (2009 a 2018), observa-se que as temperaturas mínima ($T_{mín}$), máxima ($T_{máx}$) e média do ar (T_m) variaram de 22,59 °C a 23,53 °C; 30,13 °C a 34,09 °C e 25,37 °C a 27,44 °C, respectivamente (Tabela 2). Constata-se que a menor amplitude foi observada nas mínimas, com valor de 0,94°C. Segundo Araújo; Conceição; Venancio (2012), essa baixa amplitude das $T_{mín}$ são características de regiões de baixa latitude e altitude, como acontece com Maués, AM. Observa-se também que os dados de umidade relativa média do ar, mantiveram-se sempre acima de 82,52%, mesmo nos meses com menor quantidade de chuva.

Tabela 2. Média mensal de temperatura mínima (Tmín), máxima (Tmáx) e média (Tm), umidade relativa (UR), velocidade do vento (U2), radiação solar global (Qo) e insolação (n) do município de Maués, AM, 2009 – 2018.

Meses	Tmín (°C)	Tmáx (°C)	Tm (°C)	UR (%)	U2 (m/s)	Qo (MJ/M ²)	n (h)
Jan.	23,05	30,36	25,57	89,46	0,40	13,01	4,75
Fev.	23,10	30,13	25,37	90,75	0,37	12,85	4,06
Mar.	23,31	30,24	25,59	90,84	0,36	12,57	3,68
Abr.	23,53	30,68	25,95	90,53	0,37	12,90	4,41
Mai.	23,45	31,21	26,08	89,62	0,36	13,12	5,13
Jun.	22,93	31,95	26,19	87,59	0,35	14,80	6,83
Jul.	22,59	32,25	26,23	85,92	0,36	15,25	7,53
Ago.	22,81	33,68	26,95	83,68	0,38	16,61	8,34
Set.	23,14	34,06	27,38	82,52	0,41	17,36	8,13
Out.	23,24	34,09	27,44	82,62	0,43	16,49	7,18
Nov.	23,22	33,02	26,87	85,05	0,39	15,23	5,98
Dez.	23,08	31,30	26,04	88,66	0,36	12,87	5,03

Com os dados de velocidade de vento (Tabela 2), observou-se que a velocidade não alcançou em nenhum mês $1,0 \text{ m s}^{-1}$, sendo sua velocidade máxima registrada em outubro com $0,43 \text{ m s}^{-1}$ e a mínima em junho com $0,35 \text{ m s}^{-1}$, mantendo-se praticamente constante durante o ano todo.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias da ETo para o município de Maués, AM, obtidas pelos métodos avaliados, nela, observa-se que os mesmos superestimaram a ETo durante todos os meses do ano, com

a diferença entre os valores médios de ETo variando de $0,72 \text{ mm dia}^{-1}$ (ETo estimada pelo método de Blaney-Criddle) a $1,45 \text{ mm dia}^{-1}$ (ETo estimada pelo método de Camargo). Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Back (2008), Ferraz (2008), Souza e Sousa (2020) e Carvalho e Delgado (2016), que encontraram durante todos os meses do ano, tendência de superestimação da evapotranspiração de referência pelos métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves e Jensen-Haise.

Tabela 3. Médias da evapotranspiração de referência (ET_o) estimadas pelos métodos de Blaney-Criddle (ET_oB-C), Camargo (ET_oC), Hargreaves (ET_oH), Jensen-Haise (ET_oJ-H) e Penman-Monteith (ET_oP-M) para Maués, AM.

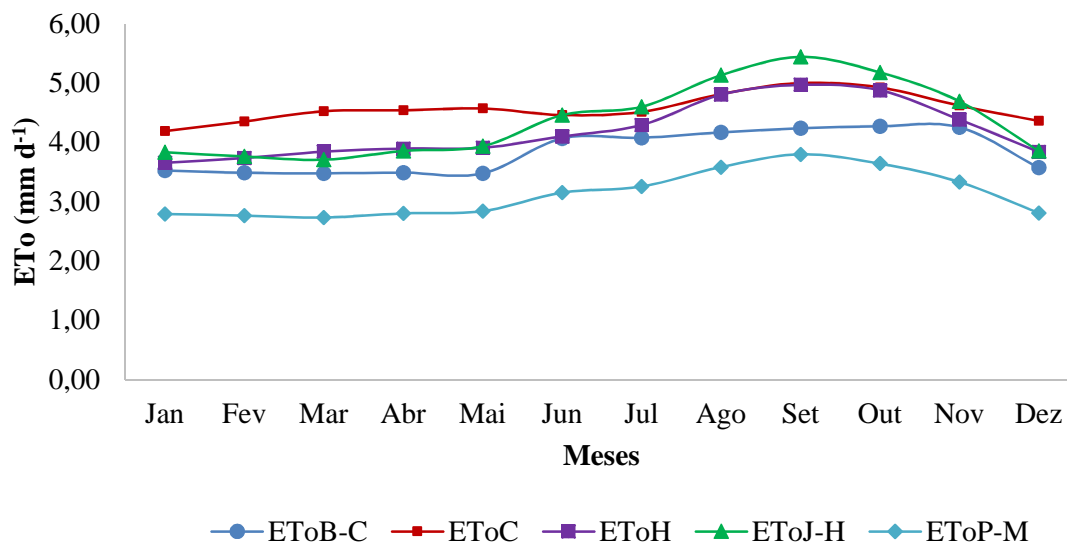
Meses	ET _o B-C	ET _o C	ET _o H	ET _o J-H	ET _o P-M
	mm d ⁻¹				
Jan.	3,52	4,18	3,65	3,83	2,79
Fev.	3,48	4,35	3,73	3,76	2,76
Mar.	3,48	4,52	3,84	3,70	2,73
Abr.	3,49	4,54	3,89	3,85	2,80
Mai.	3,47	4,57	3,91	3,93	2,84
Jun.	4,06	4,46	4,10	4,45	3,15
Jul.	4,07	4,51	4,29	4,60	3,25
Ago.	4,17	4,81	4,80	5,13	3,58
Set.	4,23	5,00	4,97	5,44	3,79
Out.	4,27	4,92	4,87	5,18	3,64
Nov.	4,25	4,62	4,38	4,69	3,33
Dez.	3,57	4,36	3,84	3,85	2,81
Média	3,84	4,57	4,19	4,37	3,12
ME-PM*	0,72	1,45	1,07	1,25	—

*ME-PM – Diferença entre as médias da evapotranspiração de referência dos métodos empíricos com a média do método padrão da FAO-56.

Entre os métodos avaliados, o método de Blaney-Criddle (ET_oB-C) (Figura 1) foi o que menos superestimou a ET_o durante todos os meses do ano. O método de Camargo (ET_oC) foi o que mais superestimou a ET_o durante os meses de dezembro a junho, enquanto nos meses de julho a novembro, foi o método de Jensen-Haise (ET_oJ-H). Segundo Pereira; Villa Nova; Sedyama (1997), os métodos de Blaney-Criddle e Jensen-Haise e foram desenvolvidos em regiões semiáridas americanas, o que justifica esses modelos apresentarem uma maior elevação da ET_o

durante os meses com menor precipitação pluviométrica em comparação aos meses com maior precipitação pluviométrica na região de Maués, AM. O método de Camargo é baseado nos resultados da equação de Thornthwaite, que segundo Pereira; Villa Nova; Sedyama (1997), não é adequada para regiões de oásis, resultando em subestimação, o que pressupõe que para regiões com clima quente e úmido como o município de Maués, AM, ocorreria uma superestimação, conforme observado nos resultados.

Figura 1. Valores médios da evapotranspiração de referência-ETo (mm d^{-1}) estimados pelos métodos: Blaney-Criddle (EToB-C), Camargo (EToC), Hargreaves (EToH), Jensen-Haise (EToJ-H) e Penman-Monteith (EToP-M) para o município de Maués, AM.



Em relação ao resultado obtido pelo método de Hargreaves (EToH), que superestimou a ETo (Tabela 3 e Figura 1), Oliveira (2016) afirma que apesar da facilidade de uso, esse método tende a superestimar o valor de ETo em climas úmidos, sendo necessária uma calibração regional para o ajuste de sua precisão.

Na Tabela 4, apresentam-se os valores médios diários da ETo estimados

por cada método, as percentagens de variação da ETo em relação ao método padrão (%), o erro-padrão de estimativa (EPE), o coeficiente de correlação (r), o coeficiente de determinação (r^2), o índice de concordância (d), o coeficiente de desempenho (c) e a classificação baseada no coeficiente de desempenho.

Tabela 4. Percentagem em relação ao método-padrão (%); erro-padrão de estimativa (EPE), mm d^{-1} ; coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r^2), índice de concordância (d), coeficiente de desempenho (c) e classificação baseada no coeficiente de desempenho para a cidade de Maués, AM.

Método	%	EPE (mm d^{-1})	r	r^2	d	c	Classificação de Desempenho
Blaney-Criddle	22,94	0,22	0,94	0,88	0,99	0,92	Ótimo
Camargo	46,35	0,44	0,86	0,74	0,96	0,83	Muito Bom
Hargreaves	34,15	0,32	0,98	0,97	0,98	0,96	Ótimo
Jensen-Haise	39,89	0,38	1,00	1,00	0,97	0,97	Ótimo

Baseando-se no erro-padrão de estimativa (EPE), constata-se que o método de Blaney-Criddle estima melhor a ETo do que os demais. Verifica-se que os valores de EPE apresentaram uma variação de 0,22

mm d^{-1} a 0,44 mm d^{-1} , com o menor valor sendo obtido pelo método de Blaney-Criddle e o maior valor pelo método de Camargo. Nota-se que o método de Camargo apresentou dados mais dispersos

(r^2), enquanto o método de Jensen-Haise apresentou dados menos dispersos. Araújo; Conceição; Venancio (2012) também observaram valores inferiores de r^2 para as condições de Rio Branco, AC, para o método de Camargo.

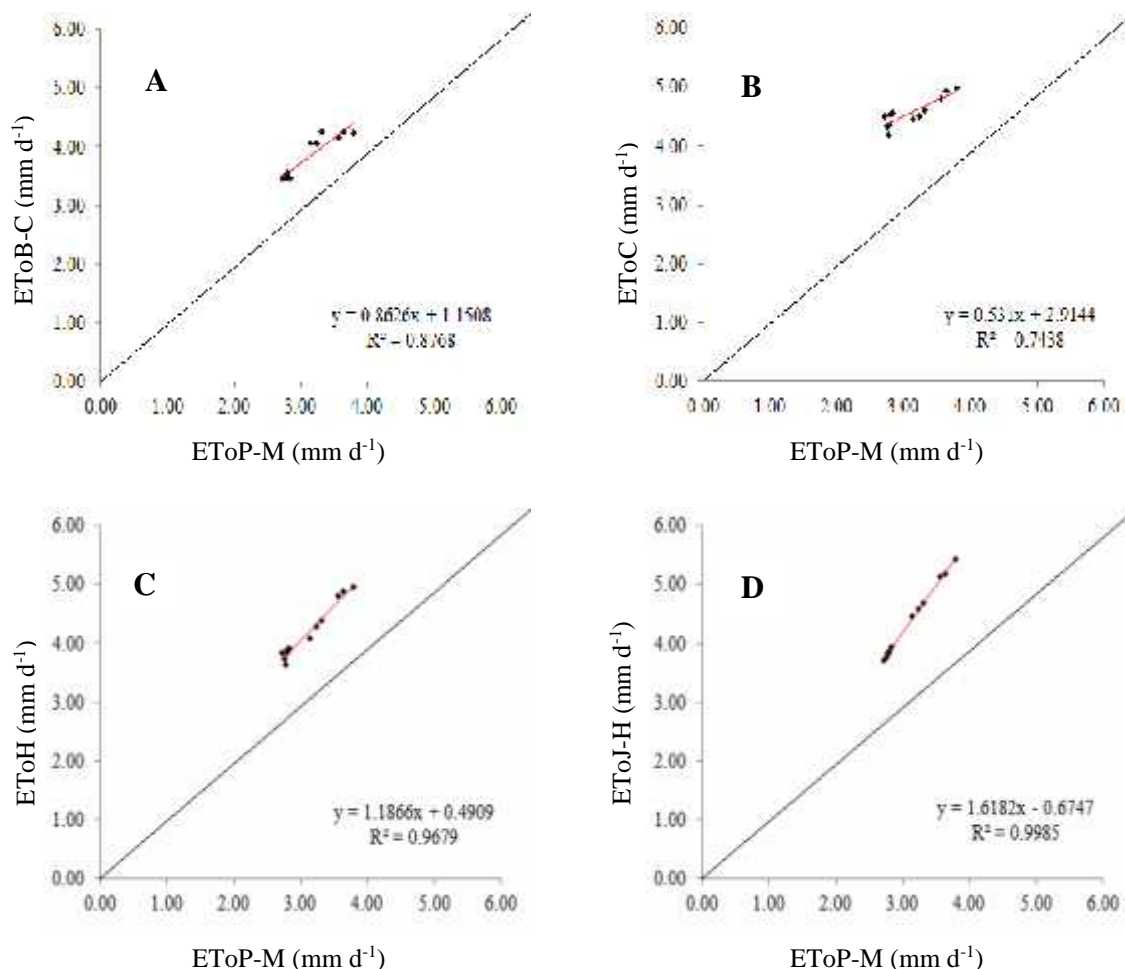
Na classificação de desempenho, nota-se que o método de Camargo apresenta classificação “Muito Bom” e coeficiente de desempenho (c) de 0,83. Contrariamente, Araújo; Conceição; Venancio (2012) classificaram a ETo estimada pelo método de Camargo como “ruim” para Rio Branco, AC, ressaltando, contudo, que é possível um melhor desempenho desse método em condições de maior nebulosidade.

Os métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves e Jensen-Haise apresentaram classificação “Ótimo” e coeficiente de desempenho (c) de 0,92, 0,96 e 0,97, respectivamente, corroborando com o resultado obtido por Araújo; Costa; Santos

(2007) com o método de Blaney-Criddle em Boa Vista, RR. Em contrapartida, Ferraz (2008) classificou como “Sofrível” e “Péssimo” os métodos de Hargreaves e Jensen-Haise, respectivamente, na estimativa da ETo para a cidade de Rio Branco, AC, divergindo dos resultados obtidos neste trabalho (Tabela 4).

Na Figura 2, são apresentados os resultados da correlação entre os métodos de estimativa da ETo em relação ao método padrão, Penman-Monteith. O método de Blaney-Criddle obteve o coeficiente linear de 0,8626, sendo o mais próximo de 1, seguido pelos métodos de Camargo (0,531), Hargreaves (1,1866) e Jensen-Haise (1,6182). O método de Hargreaves alcançou um coeficiente angular de 0,4909, sendo o mais próximo de 0, seguido pelos métodos de Jensen-Haise (0,6747), Blaney-Criddle (1,1508) e Camargo (2,9144).

Figura 2. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelos métodos de Blaney-Criddle-ET_oB-C (A), Camargo-ET_oC (B), Hargreaves-ET_oH (C) e Jensen-Haise-ET_oJ-H (D), com o método padrão, Penman-Monteith-ET_oP-M, Maués, AM.



6 CONCLUSÕES

Os métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves e Jensen-Haise atenderam satisfatoriamente a estimativa da ET_o para Maués, AM, ambos com desempenho “ótimo”.

O método de Camargo também atendeu satisfatoriamente a estimativa da ET_o para o município de Maués, AM, com : guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 301 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em:

desempenho “muito bom” apesar de seus resultados estarem aquém em relação aos outros métodos avaliados.

7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**

https://www.researchgate.net/publication/235704197_Crop_evapotranspirationGuidelines_for_computing_crop_water_requirements-

FAO_Irrigation_and_drainage_paper_56.
Acesso em: 04 jun. 2020.

ARAÚJO, W. F.; CONCEIÇÃO, M. A. F.;
VENANCIO, J. B. Evapotranspiração de
referência diária em Boa Vista (RR) com
base na temperatura do ar. **Irriga**, Botucatu,
v. 17, edição especial, p. 155-169, 2012.
Disponível em:
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/926821>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.;
SANTOS, A. E. Comparação entre métodos
de estimativa da evapotranspiração de
referência (ET_o) para Boa Vista, RR.
Revista Caatinga, Mossoró, v. 20, n. 4, p.
84-88, 2007.

AYOADE, J. O. **Introdução à
climatologia para trópicos**. 17. ed. Rio de
Janeiro: Bertrand Brasil. 2013. 350 p.

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.
DOI:
<https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n4p449-466>. Disponível em:
<https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3383>. Acesso em: 17 mar. 2020.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.;
MANTOVANI, E. C. **Manual de
irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa:
UFV, 2006. 625 p.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C.
Avaliação do desempenho de diferentes
métodos de estimativa da evapotranspiração
potencial no Estado de São Paulo, Brasil.
Revista Brasileira de Agrometeorologia,
Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P.
Uma revisão analítica da evapotranspiração

potencial. **Revista Bragantia**, Campinas, v.
59, n. 2, p. 125-137, 2000. DOI:
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200002>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/brag/a/94MFPNhYKGKRds4cMKFBBt/?lang=pt>. Acesso em:
15 mar. 2020.

CARVALHO, R. L. S.; DELGADO, A. R.
S. Estimativas da evapotranspiração de
referência do município de Ariquemes (RO)
utilizando os métodos Penman-Monteith-
FAO e Hargreaves-Samani. **Revista
Brasileira de Agricultura Irrigada**,
Fortaleza, v. 10, n. 6, p. 1038-1048, 2016.
DOI: 10.7127/rbai.v10n600497. Disponível
em:
<http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/497>. Acesso em: 10 jun.
2021.

CARVALHO, L. G. D.; RIOS, G. F. A.;
MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P.
Evapotranspiração de referência: uma
abordagem atual de diferentes métodos de
estimativa. **Pesquisa Agropecuária
Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465,
2011. Disponível em:
<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/12760>. Acesso em: 11 jun. 2021.

CAPORUSSO, N. B.; ROLIM, G. D. S.
Reference evapotranspiration models using
different time scales in the Jaboticabal
region of São Paulo, Brazil. **Acta
Scientiarum Agronomy**, São Paulo, v. 37,
n. 1, p 1-9, 2015. DOI:
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i1.18277>. Disponível em:
<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/18277>. Acesso em:
10 jun. 2021.

CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.;
AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, F.;
VASCO, A. N.; SILVA, M. G.
Comparação entre métodos de estimativa da
evapotranspiração de referência (eto) no

- município de rio Real-Ba. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n2p351>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/558>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Maués** (Brasil). Oedheim: AM Online Projects, 2019. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/amazonas/maues-879673/>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- COSTA, C. [**Dados do monitoramento da estação automática de Maués/AM**]. Destinatário: João Victor Góes Barbosa. Maués, 13 ago. 2019. 1 mensagem eletrônica.
- FERRAZ, P. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para região do Rio Branco – Acre**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2008.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.
- HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 594-599, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000600007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PvzTqvdc64VWFjkMh3bCYhN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- MEDEIROS, S. L. P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.
- MUNHOZ, J. S. B.; OLIVEIRA S. F.; MARIN, F.; BATTISTI, R. Estimativa da evapotranspiração de referência no Brasil: uma análise crítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., Gramado, 2012. **Anais [...]**. Gramado: UFRGS, 2012. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, A. L. M. **Calibração da equação de Hargreaves-Samani e de um novo método para estimativa da evapotranspiração de referência na região mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de São João Del Rei, Sete Lagoas, 2016.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- 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**, Reston, v. 24, n. 2, 05018029, 2019.
- SANTOS, R. D. S.; SOUZA, M. H. C.; BISPO, R. C.; VENTURA, K. M.; BASSOI, L. H. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Petrolina, PE. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 31-39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p31-39>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/h>

andle/doc/1078375. Acesso em: 12 jan. 2020.

SILVA JÚNIOR, R. O.; SOUZA, E. B.; TAVARES, A. L.; MOTA, J. A.; FERREIRA, D.; SOUZA-FILHO, P. W.; ROCHA, E. J. D. Three decades of reference evapotranspiration estimates for a tropical watershed in the eastern Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 89 n. 3, p. 1985-2002, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170147>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/cpJbFTqQ3RSRDGc9XCC3hkr/?lang=en>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SOUZA, M. L. A.; SOUSA, J. W. Avaliação do desempenho de métodos empíricos para a estimativa da evapotranspiração de referência em Rio Branco, Acre. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 2, n. 1, p. 254-267, 2020. Disponível em: <http://revistas.ufac.br/revista/index.php/SciNat>. Acesso em: 12 jun. 2021.

TURCO, J. E. P.; PERECIN, D.; PINTO JÚNIOR, D. L. Influência da acurácia de instrumentos de medida na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 63-80, 2008. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n1p63-80>. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/70232>. Acesso em: 12 abr. 2020.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/213397828.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.