

AJUSTE DA EQUAÇÃO DE MAKKINK PARA O MUNICÍPIO DE JUAZEIRO-BAHIA

E. J. P. Santiago¹, G. M. de Oliveira², M. M. V. B. R. Leitão³, R. R. da Silva⁴, I. S. Gonçalves⁵, P. P. Santos Júnior⁶

RESUMO: A estimativa da evapotranspiração de referência por meio de métodos empíricos, que apresente alta correlação com as de método considerado padrão, pode ser boa alternativa para o emprego rotineiro em dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação. Este trabalho teve como objetivo o ajuste da equação de Makkink para o município de Juazeiro-BA. Foram utilizados dados diários de temperatura média do ar; radiação solar ao nível da superfície; declividade da curva de pressão de saturação; constante psicrométrica e evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith. O ajuste foi realizado por meio de regressão linear considerando-se dados de anos ímpares, e para validação dados de anos pares. Obteve-se como coeficientes angular e linear, respectivamente, 0,755 e 0,496; superiores aos da equação padrão de Makkink. Na análise do desempenho comparativo entre a equação de Makkink ajustada em relação ao método padrão de Penman-Monteith, constatou-se uma classificação ótima com valor de 0,88. A utilização da equação de Makkink com adoção de coeficientes ajustados possibilita estimativas precisas de evapotranspiração de referência para as condições climáticas de Juazeiro-BA.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração; radiação solar; manejo da irrigação.

ADJUSTMENT MAKKINK EQUATION FOR JUAZEIRO-BAHIA MUNICIPALITY

ABSTRACT: The estimation of reference evapotranspiration by means of empirical methods, which presents a high correlation with those of a standard method, may be a good alternative

¹ Mestrando, PPGHI, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA. Av. Edgard Chastinet, SN, São Geraldo, 48900-000, Juazeiro, BA. Fone (74) 3611 7248. Email: edgoj@hotmail.com.

² Doutora, Professora Titular, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

³ Doutor, Professor Adjunto, Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental/UNIVASF, Juazeiro-BA.

⁴ Bolsista PIBIC, Graduando Eng. Agrônoma, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

⁵ Bolsista FAPESB, Graduanda Eng. Agrônoma, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

⁶ Mestrando, PPGHI, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

for routine use in irrigation system design and management. This work had the objective of adjusting the Makkink equation for the municipality of Juazeiro-BA. Daily air temperature data were used; Solar radiation at the surface; Slope of the saturation pressure curve; Psychrometric constant and reference evapotranspiration estimated by the Penman-Monteith method. The adjustment was performed using linear regression considering data from odd years, and for validation data from even years. Angular and linear coefficients were obtained, respectively, 0.755 and 0.496; Higher than the standard Makkink equation. In the analysis of the comparative performance between the adjusted Makkink equation in relation to the standard Penman-Monteith method, an optimum score of 0.88 was found. The use of the Makkink equation with the adoption of adjusted coefficients allows precise estimates of reference evapotranspiration for the climatic conditions of Juazeiro-BA.

KEYWORDS: evapotranspiration; solar radiation; Management.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das reais necessidades hídricas dos cultivos torna-se extremamente importante, uma vez que informação dessa natureza é crucial no gerenciamento de água aplicado aos processos produtivos agrícolas (SANTIAGO et al. 2016). Segundo Minuzzi et al. (2014), uma das alternativas para se racionalizar o uso da água em projetos agrícolas, é estimar a evapotranspiração da cultura a partir da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultura. Isso, tendo em vista que medições diretas da evapotranspiração da cultura muitas vezes requerem a utilização de equipamentos sofisticados e caros, o que no geral inviabiliza sua utilização (CAVALCANTE JÚNIOR et al. 2011). Portanto, tem-se recorrido à utilização de equações empíricas, por serem mais práticas e viáveis de serem usadas para fins de manejo da irrigação.

Segundo Allen et al. (1998), vários são os métodos empíricos criados por vários cientistas e pesquisadores, para determinação da evapotranspiração potencial; que têm como variáveis de entrada, diferentes elementos climáticos; dentre eles, o método de Makkink (MAKKINK, 1957), que leva em consideração dados de radiação solar em combinação com um fator de ponderação dependente da temperatura de bulbo úmido.

De acordo com Araújo (2010), em condições de manejo da irrigação em áreas distantes de estações meteorológicas completas, a utilização de métodos simplificados baseados em dados de radiação solar e da temperatura do ar, justifica-se devido a sua fácil utilização e

interpretação dos resultados. Neste sentido, o método de Makkink aparece como uma boa alternativa. No entanto, tal método empírico assim como os demais, somente estima de forma satisfatória a evapotranspiração nas condições de clima em que foram desenvolvidos, e quando utilizados em condições diferentes podem proporcionar grandes erros e gerar grandes perdas nas produções ou desperdício de recursos hídricos.

Diante do exposto, a proposta deste trabalho foi de ajustar a equação de Makkink para o município de Juazeiro-BA.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Juazeiro (09°24'50" S e 40°30'10" W), localizado no extremo norte do estado da Bahia, na região do Submédio do Vale do São Francisco, que apresenta clima semiárido. Foram utilizados dados diários de temperatura média do ar; radiação solar ao nível da superfície; declividade da curva de pressão de saturação; constante psicrométrica e evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith (Eq. 1), método recomendado pela FAO como referência para validar a calibração de métodos empíricos (ALLEN et al., 1998).

Os dados climáticos, referente ao período de 2007 a 2015, foram obtidos na estação meteorológica automática do DTCS/UNEB, em Juazeiro, Bahia. O ajuste dos coeficientes empíricos da equação de Makkink (Eq. 2) foi realizado por meio de regressão linear simples, considerando dois casos: a presença do intercepto (ETP_{mk-ab}) e sua ausência (ETP_{mk-a}). Para o ajuste considerou-se dados diários referentes aos anos ímpares, e para validar as equações ajustadas foram utilizados dados diários dos anos pares. Para análise comparativa das evapotranspirações potenciais (ETP) estimadas pelas equações ajustadas e pelo método de Penman-Monteith (ET_o), foi utilizado o índice de confiança "c" (Eq. 4) proposto por Camargo & Sentelhas (1997), obtido através do produto do coeficiente de correlação (r) pelo índice de concordância (Eq. 5). Utilizou-se ainda a verificação do erro proporcionado pelas estimativas através do cálculo do erro padrão da estimativa (Eq. 6) (JENSEN et al., 1990). As análises de regressão linear foram realizadas através do software Stata[®]/SE 12.0 e para testar a significância das estimativas dos coeficientes da regressão foi utilizado o teste T a 5% de probabilidade.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} V_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34V_2)} \quad (1)$$

Em que: ET_0 é a evapotranspiração de referência em mm dia^{-1} ; R_n é a radiação líquida total diário em $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; G é a densidade de fluxo de calor no solo em $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; T_{med} é a temperatura média diária do ar em $^{\circ}\text{C}$; V_2 é a velocidade do vento média diária a 2 m de altura em m s^{-1} ; e_s é a pressão de saturação de vapor em kPa; e_a é a pressão parcial de vapor, kPa; Δ é a declividade da curva de pressão de vapor em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; γ é o coeficiente psicrométrico, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

$$ETP = aWRs + b \quad (2)$$

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (3)$$

Em que: ETP é a evapotranspiração potencial em mm d^{-1} ; R_s é a radiação solar ao nível da superfície, expresso em equivalente de evaporação mm d^{-1} ; a é um parâmetro empírico (coeficiente angular), sendo utilizado o seu valor original de 0,61; b é um parâmetro empírico (coeficiente linear), sendo seu valor original de -0,12; W é um fator de ponderação; Δ é declividade da curva de pressão de vapor em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; γ é o coeficiente psicrométrico $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

$$C = rd \quad (4)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (5)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N-1}} \quad (6)$$

Em que: O_i é o valor estimado pelo modelo padrão; P_i é o valor estimado pelos modelos propostos; O é o valor da média obtido pelo modelo padrão; r é o coeficiente de correlação; d é o índice de concordância; c é o índice de confiança; N é o número de observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ajustes dos coeficientes empíricos da equação de Makkink obtidos na calibração da mesma para o município de Juazeiro-BA, bem como a avaliação do desempenho dos métodos ajustados são apresentados na Tabela 1. Verifica-se que quando o ajuste considerou ambos os coeficientes, o angular (a) oscilou de 0,55 em setembro a 0,87 em fevereiro e o linear (b), de -0,59 em fevereiro a 2,24 em setembro. Nota-se, de modo geral, comportamento inverso dos coeficientes para o período, ou seja, à medida que o angular diminui de fevereiro a setembro o linear tende a aumentar. Resultado semelhante foi encontrado por Back (2007), ao ajustar o método de Makkink para estimativa da evapotranspiração de referência em intervalos diários, na região de Urussanga-SC. Observa-se na Tabela 1 que, o ajuste considerando apenas o coeficiente angular, a amplitude deste foi menor, variando de 0,76 em março a 0,88 em setembro. A menor amplitude do coeficiente angular também foi verificada por Back (2007). Na Tabela 1 verifica-se também que, para o período anual, os coeficientes angulares ajustados (0,76 e 0,83) e linear (0,50) diferem dos coeficientes originais da equação de Makkink. Segundo Pereira et al., (1997), os valores de $a = 0,61$ e $b = -0,12 \text{ mm d}^{-1}$ foram obtidos por Makkink para as condições climáticas de Wageningen, Holanda, e podem variar de local para local e nas diferentes escalas de tempo de medida.

Verificam-se ainda na Tabela 1, baixos coeficientes de determinação (R^2) quando se considera o intercepto, e altos valores ao negligenciá-lo, indicando a baixa relevância do mesmo para o modelo preditivo. Essa verificação é interessante uma vez que em calibração de modelos, deve-se optar sempre por equações ajustadas de utilização simples.

Em termos do erro padrão da estimativa (EPE), verifica-se nenhuma ou muito pouca diferença entre os modelos ajustado em cada mês e entre os meses do ano. Os maiores erros são verificados para o período anual, $0,82 \text{ mm d}^{-1}$ e $0,83 \text{ mm d}^{-1}$ nos modelos ajustados com e sem o intercepto, respectivamente. Esses valores foram inferiores aos encontrados por Almeida et al. (2010), $0,93 \text{ mm d}^{-1}$, ao compararem métodos de estimativa da evapotranspiração de referência mensal com o método de Penman-Montheith, para as condições climáticas de Fortaleza-CE.

Quanto ao desempenho dos métodos ajustados, constatou-se na maioria dos meses, um “ótimo” desempenho, seguido por desempenho “muito bom” e “bom” (Tabela 1). Resultado semelhante foi encontrado por Fernandes et al. (2010), ao correlacionar 21 modelos de estimativa da ET_o com o método padrão Penman-Montheith FAO-56, para a cidade de Guaramiranga -CE. Para o município de Juazeiro, Bahia, Bispo et al. (2010), utilizando a

equação original de Makkink, verificaram que o desempenho do método foi classificado apenas como bom, comparando-o com valores diários estimados pelo método de Penman-Monteith.

Na Figura 1 observa-se o comportamento da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith (ET_o -PM) e estimativas da evapotranspiração potencial (ETP) pelos modelos ajustados. Verifica-se na figura, para todos os meses do ano, a aproximação entre os valores de ET_o e ETP. Este resultado se opõe ao encontrado por Silva et al. (2010), nas condições climáticas de Crateús – CE, ao correlacionar 21 equações utilizadas para estimar a evapotranspiração de referência, em comparação com o método padrão FAO Penman-Monteith, verificaram que o método de Makkink subestimou o método padrão. Cavalcante Júnior et al. (2011), ao avaliarem métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em condições de baixa e elevada umidade relativa, usando o método de Penman-Monteith-FAO 56 como referência, constataram que o método de Makkink subestimou a evapotranspiração nos dois períodos analisados, sendo a subestimativa mais acentuada no período seco. Segundo os autores, esse comportamento, provavelmente, deve-se ao fato dos coeficientes utilizados ter sido da equação original de Makkink. Tais implicações reforçam a importância de utilização de coeficientes ajustados localmente.

Na Figura 2 observa-se a elevada correlação entre os métodos de Penman-Monteith e Makkink ajustado, indicando boa precisão do modelo calibrado. Tal precisão dos modelos ajustados é refletida pela obtenção de altos valores de coeficientes de correlação ($r = 0,99$) para o período anual (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo et al. (2010), ao compararem o desempenho do método de Makkink em relação ao método padrão proposto pela FAO, Penman-Monteith, nas condições climáticas do Município de Alegre-ES.

CONCLUSÃO

A utilização da equação de Makkink com adoção de coeficientes ajustados possibilita estimativas precisas de evapotranspiração de referência para as condições climáticas de Juazeiro, BA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 310 p. Irrigation and Drainage Paper, 56.

ALMEIDA, B. M.; ARAÚJO, E. M.; JÚNIOR, E. G. C.; OLIVEIRA, J. B.; ARAÚJO, E. M.; NOGUEIRA, B. R. C. Comparação de métodos de estimativa da ETO na escala mensal em Fortaleza-CE. III Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e II Conferência sobre Recursos Hídricos do Semiárido. Anais... 8 a 11 de junho de 2010. Fortaleza – CE, Brasil.

ARAÚJO, G. L.; LACERDA, L. C.; MARTINS, C. A. S.; RODRIGUES, R. R.; NAZÁRIO, A. A.; SANTOS, V.; REIS, E. F. Método de Makking: estimativa da ETO e comparação com o método de Penman-Monteith FAO 56. XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Anais... 21 e 22 de outubro de 2010. Universidade do Vale da Paraíba – São José dos Campos – SP, Brasil.

BACK, A. J. Ajuste do método da radiação para estimativa da evapotranspiração de referência na região de Urussanga, SC. Tecnologia e Ambiente, v.13, 2007.

BACK, A. J. Coeficiente da equação de Makking para estimativa da evapotranspiração de referência na região de Urussanga, SC. Tecnologia e Ambiente, v.13, p.1-7, 2007.

BISPO, R. C.; OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. III Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e II Conferência sobre Recursos Hídricos do Semiárido. Anais... 8 a 11 de junho de 2010. Fortaleza – CE, Brasil.

FERNANDES, J. L.; OLIVEIRA, J. B.; SILVA, I. N.; JUNIOR, E. G. C.; SILVA, M. G. Comparação entre métodos de estimativa da ETO mensal para cidade de Guaramiranga – CE. III Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e II Conferência sobre Recursos Hídricos do Semiárido. Anais... 8 a 11 de junho de 2010. Fortaleza – CE, Brasil.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and water irrigation requirements. New York: Committee on Irrigation Water Requirements, Irrigation and Drainage Division of ASCE, Manual nº70, ASCE, 332p., 1990.

JUNIOR, E. G. C.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. Semina: Ciências Agrárias, v.32, supl.1, p.1699-1708, 2011.

MAKKINK, G. F. Ekzamento de la formulo de Penman. Netherlands Journal of Agricultural Science. Wageningen, v.5, p.290-305, 1957.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J.; SILVA, D. O.; KUNESKI, A. C. Estimativa da evapotranspiração de referência diária por Penman-Monteith FAO com dados de temperatura do ar para Santa Catarina. Irriga, v.19, n.3, p.548-558, 2014.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYIAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

SANTIAGO, E.J.P; OLIVEIRA, V.E.A; DA SILVA, R.R; GONÇALVES, I.S.; OLIVEIRA, G.M. Ajuste da equação de Hargreaves e Samani a partir de dados lisimétricos para o município de Juazeiro-BA. IRRIGA & INOVAGRI, edição especial, p. 108-114, 2016.

SILVA, I. N., ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO, E. M.; OLIVEIRA, J. B. O.; ARRAES, F. D. D. Comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração quinzenal na região de Crateús-CE. III Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e II Conferência sobre Recursos Hídricos do Semiárido. Anais... 8 a 11 de junho de 2010. Fortaleza – CE, Brasil.

Tabela 1. Coeficientes ajustados da equação de Makkink em escala mensal e anual, com e sem o intercepto e avaliação do desempenho dos métodos calibrados para o município de Juazeiro-BA.

	ETP = aWRs + b								ETP = aWRs							
	a	b	R ²	d	r	c	Desempenho	EPE	a	R ²	D	r	c	Desempenho	EPE	
Jan	0,79	0,00	0,67	0,82	0,98	0,81	muito bom	0,41	0,79	0,98	0,82	0,98	0,81	muito bom	0,41	
Fev	0,87	-0,59	0,71	0,95	0,99	0,95	Ótimo	0,17	0,79	0,98	0,95	0,99	0,94	ótimo	0,16	
Mar	0,73	0,18	0,48	0,91	0,99	0,90	Ótimo	0,22	0,76	0,97	0,91	0,99	0,91	ótimo	0,22	
Abr	0,77	-0,03	0,66	0,93	0,99	0,93	Ótimo	0,19	0,77	0,98	0,93	0,99	0,93	ótimo	0,19	
Mai	0,74	0,44	0,59	0,88	0,99	0,88	ótimo	0,18	0,83	0,98	0,88	0,99	0,87	ótimo	0,19	
Jun	0,66	0,98	0,58	0,72	0,98	0,70	bom	0,28	0,85	0,98	0,74	0,98	0,73	bom	0,29	
Jul	0,70	0,88	0,60	0,78	0,98	0,77	muito bom	0,24	0,86	0,98	0,8	0,98	0,79	muito bom	0,25	
Ago	0,64	1,44	0,58	0,76	0,99	0,76	muito bom	0,22	0,87	0,99	0,79	0,99	0,79	muito bom	0,23	
Set	0,55	2,24	0,54	0,73	0,99	0,73	bom	0,21	0,88	0,99	0,79	0,99	0,79	muito bom	0,23	
Out	0,78	0,56	0,60	0,82	0,99	0,81	muito bom	0,24	0,86	0,98	0,83	0,99	0,82	muito bom	0,24	
Nov	0,76	0,73	0,68	0,88	0,99	0,87	ótimo	0,18	0,86	0,99	0,87	0,99	0,87	ótimo	0,20	
Dez	0,85	-0,06	0,73	0,88	0,99	0,87	ótimo	0,25	0,84	0,98	0,88	0,99	0,87	ótimo	0,25	
Anual	0,76	0,50	0,69	0,89	0,99	0,88	ótimo	0,82	0,83	0,98	0,89	0,99	0,88	ótimo	0,83	

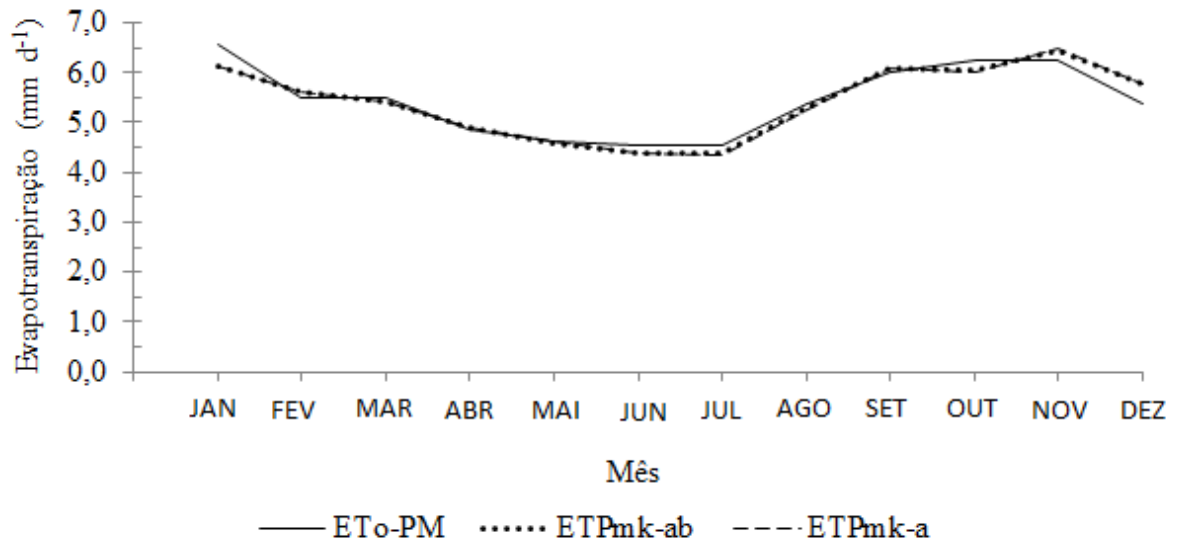


Figura 1. Comparação entre a evapotranspiração de referência (ET_0) obtida pelo método de Penman-Monteith e a evapotranspiração potencial (ETP) obtida pelos modelos ajustados.

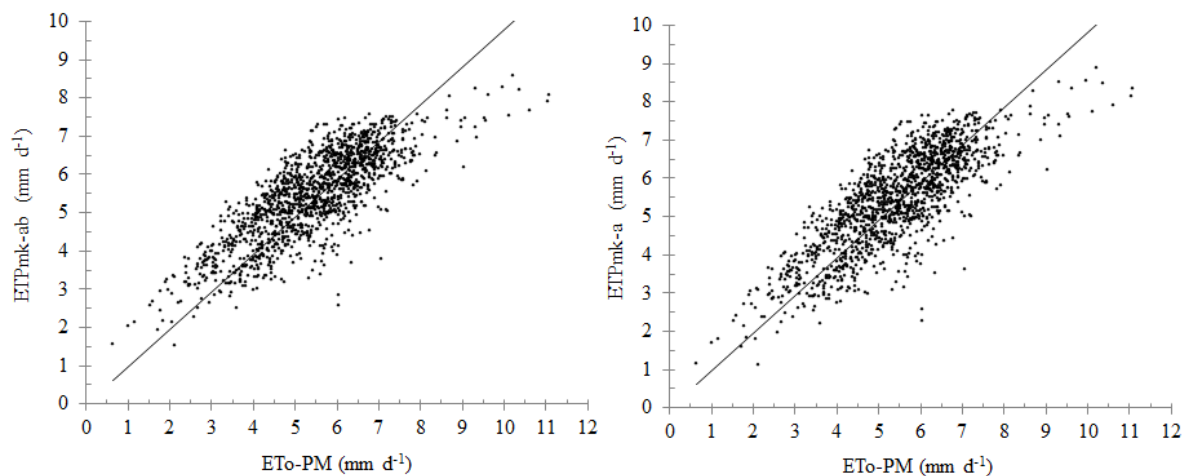


Figura 2. Correlação entre a evapotranspiração potencial (ETP) determinado pela equação de Makkink, com coeficientes ajustados para o município de Juazeiro-BA e a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith (ET_0 -PM).