

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR DIFERENTES MÉTODOS

Pedro Rogerio GIONGO¹, Leandro GIONGO², Geber Barbosa de Albuquerque MOURA³

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo comparativo da aplicação das equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência (ETr) com dados de uma estação meteorológica localizada no município de Santa Rita do Passa Quatro, SP. As estimativas das ETr foram realizadas pelas equações de: Kimberly e Penman 1972, Kimberly e Penman 1996, Penman original, Penman Modificado, Blaney-Criddle, Hargreaves-Samanni, Priestley-Taylor, Makkink e Turc. As evapotranspirações diárias estimadas por esses métodos foram correlacionadas com o método padrão de Penman-Monteith FAO56, por meio de índices estatísticos. Da base de dados da estação, foram utilizados os dados de: velocidade de vento, temperatura do ar mínima, média e máxima, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, temperatura de ponto de orvalho, pressão de saturação de vapor e radiação solar incidente. Para avaliação das equações foram considerados os parâmetros da equação de regressão β_1 , coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança ou desempenho (C), nas escalas de ETr diária, três e cinco dias, para o período estudado. De acordo com os índices de concordância e de desempenho, os melhores métodos pela ordem foram: Penman original, Kimberly e Penman 1972 e Blaney-Criddle.

PALAVRAS-CHAVE: Equações empíricas; demanda hídrica; variáveis climáticas; evapotranspiração de referência.

COMPARATIVE OF ESTIMATION REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION BY DIFFERENT METHODS

ABSTRACT - This work had the objective of a comparative study for application of the empirical equations for estimating reference evapotranspiration (Etr) with data from a meteorological station located in municipality of Santa Rita do Passa Quatro, SP. Estimates of ETr were performed the equations by: Kimberly and Penman 1972 Kimberly Penman and 1996 original Penman, Penman Modified Blaney-Criddle, Hargreaves-Samanni, Priestley-Taylor, Makkink and Turc. The daily evapotranspiration estimated by these methods were correlated with the standard method of Penman-Monteith FAO 56, through statistical indexes. The station data, we used: wind speed, air temperature, minimum, average and maximum, relative humidity, atmospheric pressure, dew point temperature, saturation vapor pressure and radiation sun. To evaluate the parameters were considered of the regression equation β_1 , the coefficient of determination (r^2), correlation coefficient (r), index of agreement (d), the index of confidence or performance (C), the scales ETr daily, three and five days, for the period studied. According to the indices of agreement and performance, the best methods were: original Penman, Penman and Kimberly 1972 and Blaney-Criddle.

¹Professor de Engenharia Agrícola, UEG, Via Protestado Joaquim Bueno, nº. 945 - Perímetro Urbano. Santa Helena de Goiás – GO. CEP 75920-000. E-mail: pedro.giongo@ueg.br (autor correspondente)

²Engenheiro Agrônomo - UNOESC – SC, Linha Esquina Derrubada, Zona rural, CEP 89930000, São José do Cedro – SC. Email: leandro_giongo@hotmail.com

³Professor Adjunto do DEPA-UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE. E-mail: geber@depa.ufrpe.br

KEYWORDS: Empirical equation; water demand; weather variables; reference evapotranspiration.

1. INTRODUÇÃO

A atividade que mais consome água é a agricultura, com previsões futuras de aumentar esse consumo em face da demanda de alimentos e de uma população cada vez mais crescente. No Brasil, a partir da década de 80 ocorreu a maior expansão da Agricultura Irrigada, mais tecnificada, principalmente com adoção de novos métodos ou técnicas de irrigação e, que tem se acentuado ainda mais nestes últimos anos, em virtude dos conflitos por água e expansão agrícola.

Os principais fatores que influenciam na quantidade de água requerida pelas plantas são os fatores climáticos, as características das plantas, as práticas culturais e o tipo de solo, e as principais técnicas de estimativa do requerimento de água pelas plantas são baseadas em dados climáticos (SEDIYAMA, 1996). É importante a obtenção de dados climáticos regionais confiáveis visando às estimativas mais precisas da evapotranspiração e ao melhor aproveitamento das precipitações naturais no dimensionamento de sistemas de irrigação (FERNANDES et al., 2006).

A evapotranspiração potencial é um elemento macrometeorológico, fundamental, como é a precipitação pluvial. Representa a chuva teoricamente necessária para não faltar nem sobrar água no solo. Com o balanço contábil entre esses dois elementos opostos pode-se caracterizar bem o fator umidade do clima e estimar a umidade disponível no solo, por intermédio do balanço hídrico climático. No planejamento

e programação das atividades rurais, uma ferramenta imprescindível é a avaliação do potencial agroclimático das áreas, conforme a necessidade das culturas, (MEDEIROS et al., 2009). Isto reafirma a necessidade de medidas e/ou estimativas confiáveis das variáveis para condução, manejo e sucesso da cultura, onde Moura et al. (2008) também citam a importância de conhecer as necessidades hídricas de uma cultura e poder atendê-las para melhor aproveitar o seu potencial produtivo.

A necessidade de se produzir com qualidade, produtividade e maior quantidade de produtos alimentícios diversificados exigem da comunidade científica os conhecimentos sobre as reais necessidades hídricas das culturas, de determinada região, associados com sistemas ou métodos de irrigação, visando aplicar a quantidade correta e no momento certo que a planta requer, com adoção de manejo da água na propriedade, objetivando primeiramente a diminuição dos impactos ambientais negativo sobre o recurso natural água, no processo de irrigação, proporcionando o uso eficiente da água, com a utilização de métodos ou técnicas mais apropriadas, e com o conhecimento dos estudos das variáveis climáticas que quantificam as necessidades hídricas das culturas (REIS et al., 2007).

Na literatura encontram-se vários trabalhos realizados com a avaliação e validação de equações empíricas para estimativa de evapotranspiração local como: Silva et al. (2005), Vescove e Turco (2005), Mandelli e Conceição (2005) Conceição

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR¹³ DIFERENTES MÉTODOS

(2002), Conceição (2003), Samani (2000), em que a maioria dos autores destacam a importância da aplicação de determinados métodos com maior eficiência em cada região substituindo aqueles que exigem um maior número de variáveis climáticas.

Mandelli & Conceição (2005) compararam valores estimados com as equações empíricas de Hargreaves-Samani, Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Camargo, Camargo modificado e Radiação, com método Penman-Monteith utilizando o coeficiente de desempenho "C" proposto por Camargo & Sentelhas (1997) e concluíram que, os métodos de estimativa de ETo que empregam a radiação solar incidente apresentaram desempenho superiores aos que utilizam somente valores da temperatura do ar e que dentre os métodos que utilizam somente a temperatura do ar, Hargreaves-Samani foi o que apresentou o melhor desempenho para o município de Bento Gonçalves, RS.

Existem diversos métodos para se estimar a evapotranspiração; entretanto, normalmente esses são utilizados em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidas (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Portanto, é de extrema importância avaliar o grau de exatidão desses métodos antes de utilizá-los para nova condição, (HENRIQUE; DANTAS, 2007).

Allen et al. (1998) citam que em estudos realizados no EUA e Europa, confirma-se a precisão e consistência do método de Penman-Monteith para clima úmido e seco. Ainda, outros autores citam que a Food and Agricultural Organization (FAO) recomenda que os métodos empíricos

de estimativas da ETo, sejam calibrados e validados para outras regiões, sendo a equação de Penman-Monteith a referência padrão para esses ajustes, (SMITH (1991), FARIA et al. (2000), e SCHMIDT et al. (2004)).

O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo comparativo das equações empíricas: Kimberly e Penman 1972 (1972-Kpen), Kimberly e Penman 1996 (1996-Kpen), Penman original (1948-Pen), Penman Modificado (FAO24-Pn), Blaney- Criddle (FAO24-BC), Hargreaves-Samani (1985-Harg), Priestley-Taylor (1972 Prs-Tylr), Makkink (1957-Makk) e Turc (1961-Turc), para estimativa da evapotranspiração de referência em comparação ao método universal padrão Penman-Monteith FAO56 para as condições climáticas do município de Santa Rita do Passa Quatro, Estado de São Paulo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na Figura 1, esta o local que foram obtidos os dados para este estudo, cuja estação meteorológica com coordenadas de 21°38'13,4" S de latitude e 47°47'24,9" W de longitude, onde foram coletados os dados de: velocidade do vento, radiação global incidente, temperatura do ar, pressão atmosférica, precipitação, umidade relativa, pressão de vapor real e pressão de saturação de vapor. Todos os sensores estavam instalados conforme determina o padrão da FAO, onde foram coletados e armazenados em datalogger em intervalos de tempo de 15 minutos. O período de coleta de dados corresponde a 6 de fevereiro de 2005 à 5 de fevereiro de 2006, sendo posteriormente

trabalhado em dados diários, e médias de três e cinco dias.

Antes de se iniciar o processamento das estimativas de ETo, com o propósito de tornar os dados das variáveis agrometeorológicas mais homogêneos, foi feita uma verificação manual e,

posteriormente eliminação daquelas informações consideradas discrepantes, e/ou com erro de gravação no momento da coleta pelo sensor, incompletas e até inconsistentes visando obter agrupamentos de dados mais representativos.

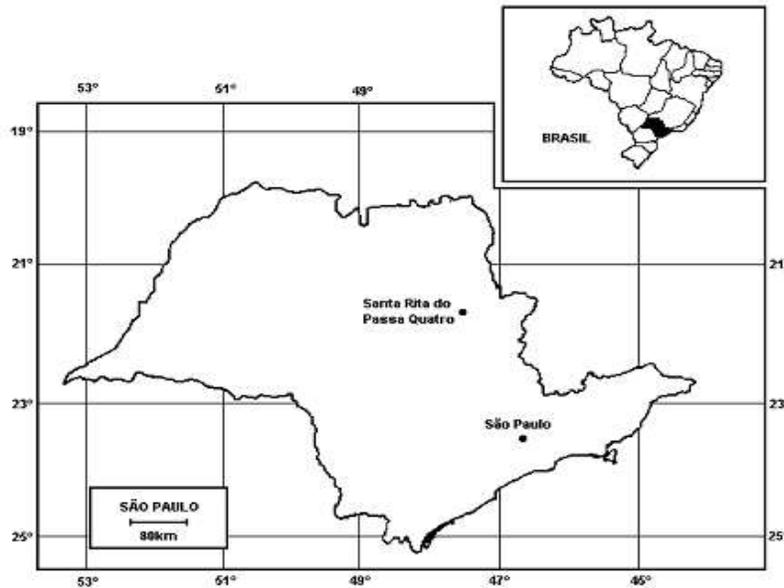


Figura 1. Localização geográfica do município de Santa Rita do Passa Quatro – SP.

Para a realização das estimativas de ETo, foi adotado uma única base de dados em planilhas Excel, e posteriormente processadas com o programa computacional REF-ET (ALLEN, 2001). Que permite fazer a escolhas

dos métodos de estimativa para estimativa da ETo.

Os métodos selecionados estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Relação dos tratamentos escolhidos seguido da descrição dos métodos.

Tratamentos	Descrição dos tratamentos
FAO56-PM	FAO56 Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998)
1972-KPen	Kimberly e Penman (WRIGHT, 1972)
1996-KPen	Kimberly e Penman (WRIGHT, 1996)
1948-Pen	Original Penman (PENMAN, 1948)
FAO24-Pn	FAO 24 modificado Penman (DOORENBOS e PRUITT, 1977)
FAO24-BC	FAO 24 Blaney-Criddle (DOORENBOS e PRUITT, 1977)
1985-Harg	1985 Hargreaves & Samani (HARGREAVES et al., 1985)

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR¹⁵
DIFERENTES MÉTODOS

1972 Prs-Tylr	Priestley & Taylor (PRIESTLEY e TAYLOR, 1972)
1957-Makk	Makkink (MAKKINK, 1957)
1961-Turc	Turc (TURC, 1961)

Os métodos acima citados foram comparados com o método universal padrão Penman-Monteith (FAO56-PM), em escala diária, média de três e cinco dias.

Após a verificação dos dados, foi realizada uma análise de regressão linear que correlacionou os valores de ETo estimados pelas equações empíricas com o método universal padrão FAO 56 Penman-Monteith (FAO56-PM). Para avaliação do desempenho e discussões foram considerados os parâmetros da equação de regressão β_1 , coeficiente de determinação (r^2) e coeficiente de correlação (r).

A precisão foi calculada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório. Para a exatidão da amostra foi considerado o afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente essa aproximação é dada por um índice designado de concordância, representado pela letra “d” (Willmott et al., 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, à um, para a concordância perfeita. O índice foi calculado pela equação 1, como a seguir.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: P_i é o valor estimado, O_i o valor observado (FAO56-PM) e \bar{O} a média dos valores observados.

Visando padronizar um índice que resume a eficiência dos métodos, foi então utilizado o índice “C”, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), que segundo os autores que criaram o índice, ele propõe reunir informações dos índices de precisão “r” e de exatidão “d”, sendo expresso pela equação 2, melhorando a visualização direta do desempenho dos métodos por um único parâmetro, tornando-o mais pratico e direto.

$$C = r * d \quad \text{Equação 2}$$

Onde: r é obtido do ajuste dos valores na regressão, enquanto que o d é obtido do índice de Willmott, calculado pela equação 1.

A proposta metodológica de Camargo e Sentelhas (1997) do índice “C”, foi utilizada em vários trabalhos na literatura como em: Conceição (2002), Conceição (2003), Faria et al. (2000), Henrique & Dantas (2007), Vescove & Turco (2005), entre outros. Ela procura classificar o método como ótimo, quando reúne alto desempenho de exatidão e precisão; intermediário quando os dois parâmetros estão médios e/ou um alto e outro baixo; e finalmente o método é classificado como ruim, quando os parâmetros obtidos de precisão e exatidão são muito baixos. Os limiares de cada classe podem ser verificados na Tabela 2.

Tabela 2. Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da ETo, pelo índice C, proposto por 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

°C, com mínimas próximo a 5 °C e máximas pouco acima de 30 oC.

Ainda na Figura 2, estão os dados de precipitação acumulada em cada mês, sendo possível verificar uma diminuição da precipitação no período de inverno. A precipitação é muito irregular para o período estudado, e com um total acumulado próximo a 1000 mm, e caracteriza-se por apresentar alguns meses de déficit hídrico. Vale lembrar que o último mês de dados considerado possui precipitação de 4 mm apenas, porém, é o registro de 5 dias considerados, e não o mês todo, ou seja, dos DSA (dia sequencial do ano) 32 a 36 de 2006.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2, a temperatura média do período estudado, evidencia a variação anual, com uma elevação da temperatura no período de verão e primavera e uma acentuada queda no período de inverno, que é bem característico para essa região. A temperatura média para essa região é de 20,5

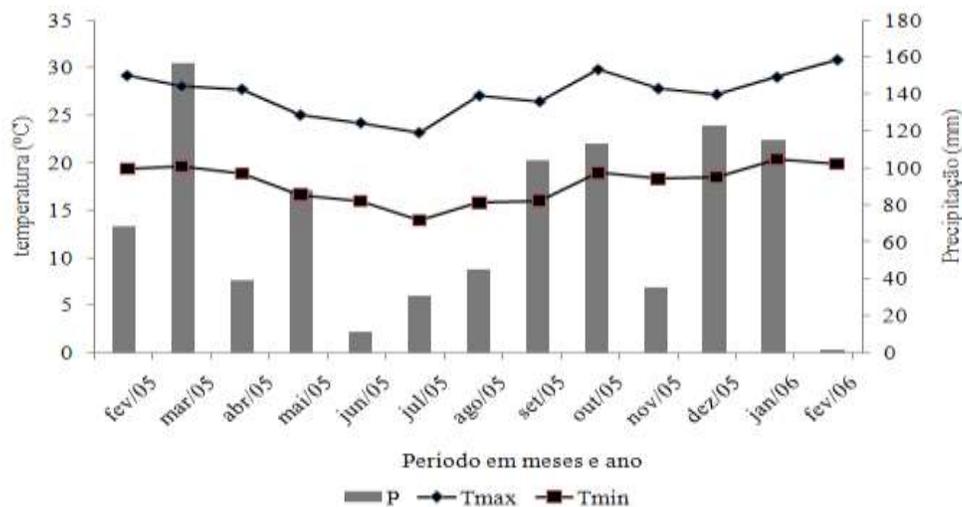


Figura 2: Média mensal de temperatura mínima (Tmin) e máxima (Tmax) do ar e a precipitação mensal (P) para a estação agrometeorológica na área de estudo.

Foi possível verificar a sensibilidade na estimativa de ETo dos métodos avaliados em escala diária, e a resposta de ETo estimada em função da variação dos dados

meteorológicas coletadas na estação. A maior variação na estimativa de ETo foi entre 0,2 a 9 mm diário, considerando todos os métodos avaliados e o período. Essa

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR¹⁷
DIFERENTES MÉTODOS

amplitude é bem superior da encontrada em Araraquara por Vescove e Turco (2005), que obtiveram amplitude entre 2 e 5 mm.

Tabela 3 estão os parâmetros da equação de regressão (β_1), os coeficientes de regressão (r), coeficiente de Willmott (d), e de Camargo (C) com a classificação de Camargo e Sentelhas (1997), para cada método utilizado para estimativa de ETo na estação de Santa Rita do Passa Quatro - SP. Por meio da Tabela 3, é possível verificar que os métodos de 1948-Pen e 1972-KPen apresentaram o coeficiente de C mais elevado, por serem aqueles que tiveram melhor precisão e exatidão, já o método Prs-Tylr teve uma ótima exatidão, porém os valores não foram tão precisos, diminuindo assim o coeficiente C e, sendo classificado como bom, enquanto que os anteriores foram classificados como ótimo.

Também verifica-se que o método 1957-Makk teve alta precisão e baixa exatidão. Fica claro que uma boa precisão ou uma boa exatidão não são sinônimas de um bom desempenho, e sim que as estimativas devem atender aos dois critérios. Mandelli & Conceição (2005) compararam valores estimados com equações empíricas de Hargreaves-Samani, Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Camargo, Camargo modificado e Radiação, com método Penmam-Monteith utilizando o coeficiente de desempenho "C" proposto por Camargo e Sentelhas (1997) e concluíram que os métodos de estimativa de ETo que empregam a radiação solar incidente apresentaram desempenho superiores aos que utilizaram somente valores da temperatura do ar e que dentre os métodos que utilizam somente a temperatura do ar o de Hargreaves-Samani foi o que apresentou

o melhor desempenho para o município de Bento Gonçalves, RS.

Camargo e Sentelhas (1997) avaliaram o desempenho de vinte métodos de estimativas da ETo, com dados de três localidades de São Paulo, levando em consideração as medições lisimétricas para o período de 1954 à 1960. A avaliação dos dados foi baseada no coeficiente de correlação (r), de concordância (d) de Willmott e de um índice proposto de confiança ou desempenho (C) que é o produto (r.d). Os resultados obtidos demonstraram um desempenho muito bom (0,78 a 0,81) para os métodos de Thornthwaite, e Priestley-Taylor. Superior aos obtidos para o mesmo método de Priestley-Taylor neste trabalho, onde foi classificado como bom no índice C.

Nos valores diários de ETo da Figura 3, verifica que em geral todos os métodos correlacionados com o FAO56-PM tiveram bom desempenho, com exceção do método de 1985-Harg que teve baixa precisão ou seja, baixo valor de r seguido também do método de Prs-Tylr e 1996-Kpen, com valores de r iguais a 0,723, 0,770 e 0,879, respectivamente. Todos os demais obtiveram valores de r superior a 0,9, indicando uma boa precisão entre os métodos avaliados com os valores de FAO56-PM.

Verifica ainda que os métodos de 1985-Harg e 1957-Makk, tiveram leves tendências de sub estimativas de ETo, diferente dos obtidos por Camargo & Sentelhas (1996), Mandelli & Conceição (2005) e Silva et al. (2011), que obtiveram tendências de super estimativas das ETo para estes métodos avaliados, nas regiões do

Estado de São Paulo, Bento Gonçalves, RS,
e Uberlândia, MG, respectivamente.

Tabela 3. Parâmetros da equação de regressão (β_1) coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação(r), índice de concordância (d), e índice de confiança ou desempenho (c) da ETo diárias, média de três e cinco dias, para uma estação em Santa Rita do Passa Quatro - SP.

Método	Diário					classificação
	β_1	R^2	r	d	C	
1996-KPen	0,972	0,772	0,879	0,947	0,832	muito bom
1972-KPen	0,943	0,953	0,976	0,936	0,914	ótimo
1948-Pen	0,911	0,983	0,992	0,959	0,951	ótimo
FAO24-Pn	0,801	0,951	0,975	0,880	0,858	ótimo
FAO24-BC	0,971	0,944	0,971	0,914	0,888	ótimo
1985-Harg	1,087	0,523	0,723	0,890	0,644	mediano
1972-Prs-Tylr	1,061	0,593	0,770	0,956	0,736	bom
1957-Makk	1,329	0,827	0,909	0,786	0,715	bom
1961-Turc	1,120	0,834	0,913	0,926	0,846	muito bom
3 dias						
1996-KPen	0,972	0,753	0,868	0,942	0,817	muito bom
1972-KPen	0,944	0,963	0,981	0,921	0,904	ótimo
1948-Pen	0,910	0,984	0,992	0,952	0,944	ótimo
FAO24-Pn	0,804	0,958	0,979	0,860	0,842	muito bom
FAO24-BC	0,974	0,943	0,971	0,901	0,875	ótimo
1985-Harg	1,086	0,511	0,715	0,898	0,642	mediano
1972-Prs-Tylr	1,062	0,544	0,738	0,956	0,705	bom
1957-Makk	1,336	0,851	0,922	0,756	0,697	bom
1961-Turc	1,125	0,866	0,931	0,916	0,853	ótimo
5 dias						
1996-KPen	0,971	0,740	0,860	0,940	0,809	muito bom
1972-KPen	0,944	0,969	0,984	0,911	0,897	ótimo
1948-Pen	0,909	0,983	0,992	0,948	0,940	ótimo
FAO24-Pn	0,806	0,960	0,980	0,845	0,828	muito bom
FAO24-BC	0,975	0,940	0,970	0,888	0,861	ótimo
1985-Harg	1,084	0,494	0,702	0,903	0,634	mediano
1972-Prs-Tylr	1,062	0,516	0,718	0,955	0,686	bom
1957-Makk	1,338	0,867	0,931	0,740	0,689	bom
1961-Turc	1,125	0,882	0,939	0,910	0,855	ótimo

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR¹⁹
DIFERENTES MÉTODOS

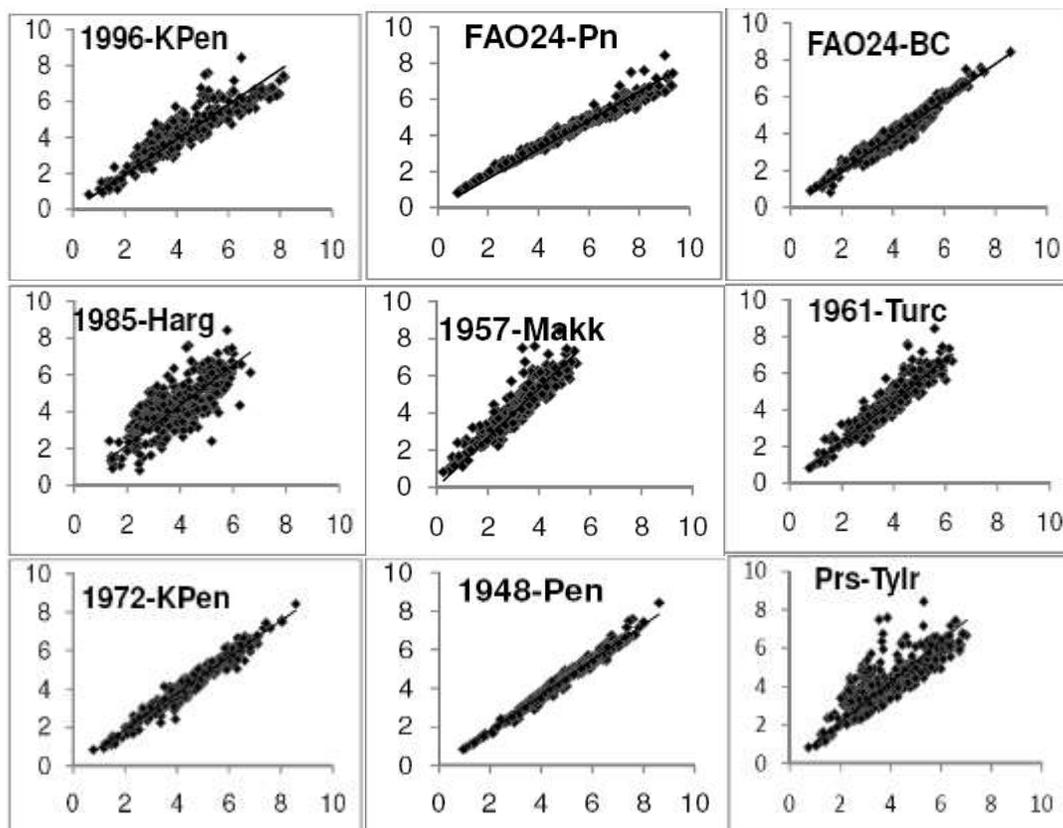


Figura 3. Regressão entre os métodos de estimativa de ETo (na horizontal) com o método da FAO56-PM (na vertical), para os dados em mm diários.

Para o índice de concordância “d”, observou que para os valores diários, os métodos com menor ajuste ou menor exatidão dos valores estimados com os valores de FAO56-PM, foram pela ordem o 1957-Makk, FAO24-Pn e 1985-Harg, com valores iguais a 0,786, 0,880 e 0,890 respectivamente. Para todos os demais os

valores de “d” foi superior a 0,90, indicando uma ótima concordância.

No cenário de avaliações diárias os métodos que tiveram o pior ranking pelo índice C em ordem crescente foram: 1985-Harg, 1957-Makk, Prs-Tylr, 1996-Kpen e 1961-Turc com desempenho igual a 0,644, 0,715, 0,736, 0,832, e 0,846, respectivamente, estes resultados são bem

inferiores aos obtidos por Camargo & Sentelhas (1996). Vescove & Turco (2005) também citaram que o método de 1957-Makk, tem maiores sub estimativa (menor ajuste) no período de inverno, para regiões de clima temperado. Todos os demais métodos obtiveram desempenho classificado como ótimo, ou seja, valores acima de 0,850, indicando que os métodos reúnem informações de precisão e exatidão

satisfatório, para serem recomendados com maior segurança na estimativa da ETo, para a região de Santa Rita do Passa Quatro – SP, reforçando que todo método de estimativa de ETo deve ser calibrado e confirmado bom ajuste de estimativas a outras fontes, antes de ser aplicado (CARVALHO et al. 2008).

Na figura 4, estão as correlações dos valores médios de três dias de ETo em mm com os valores estimados da FAO56-PM.

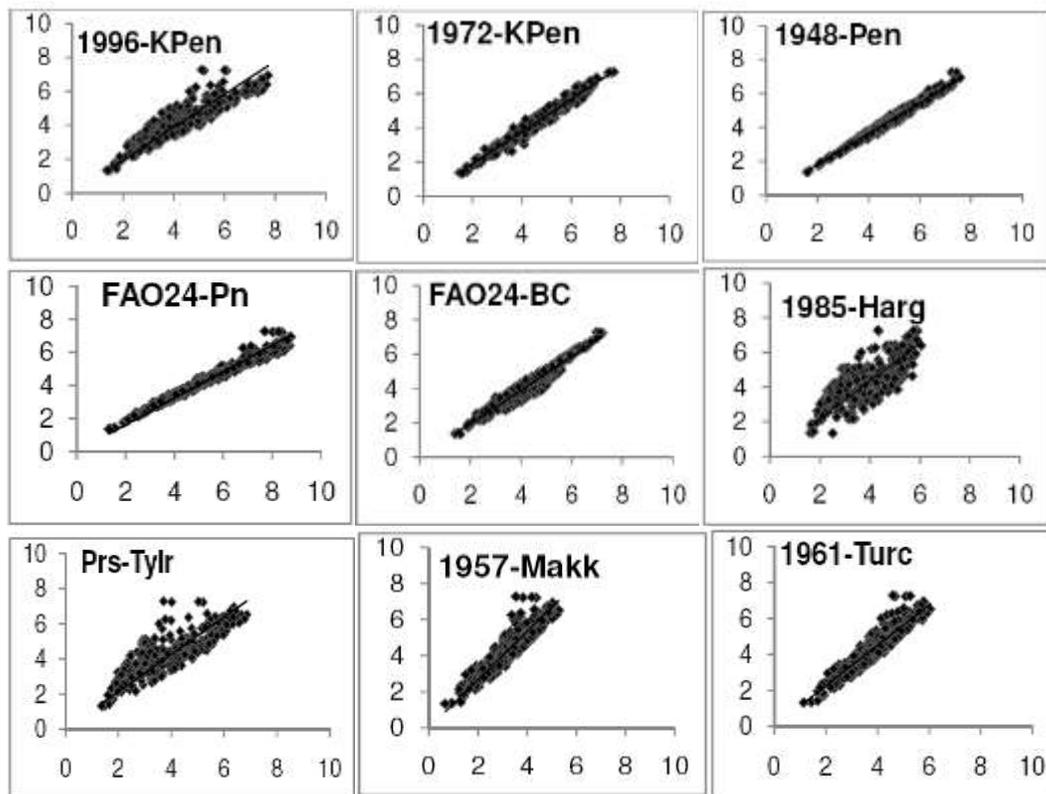


Figura 4. Regressão entre os métodos de estimativa de ETo (na horizontal) com o método da FAO56-PM (na vertical), para a média em mm de três dias.

Observando a Figura 4 e a Tabela 2, verifica-se que os valores estimados pelos métodos quando submetidos à média de três dias, diminuíram os valores de exatidão, e

aumentaram a precisão, indicando que houve uma menor dispersão dos valores em relação à média, esse comportamento não melhorou o desempenho dos métodos em

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR²¹
DIFERENTES MÉTODOS

relação ao índice C, ou aos valores médios observados pelo método padrão, tal comportamento também foi observado por Reis et al. (2007).

O efeito de aumento de precisão e diminuição da exatidão, também foi observado aos dados quando submetidos à média de 5 dias, melhor visualizado na Figura 5. Ainda em relação a esse

procedimento, ele visa ajustar os dados e diminui a sensibilidade do método, mas que não tende a modificar muito o desempenho geral do método aqui medido pelo índice C, também citado por Carvalho et al. (2008), estes autores ainda citam que deve-se tomar cuidado em realizar médias de períodos, pois podem ocorrer erros sistemáticos de maior ordem.

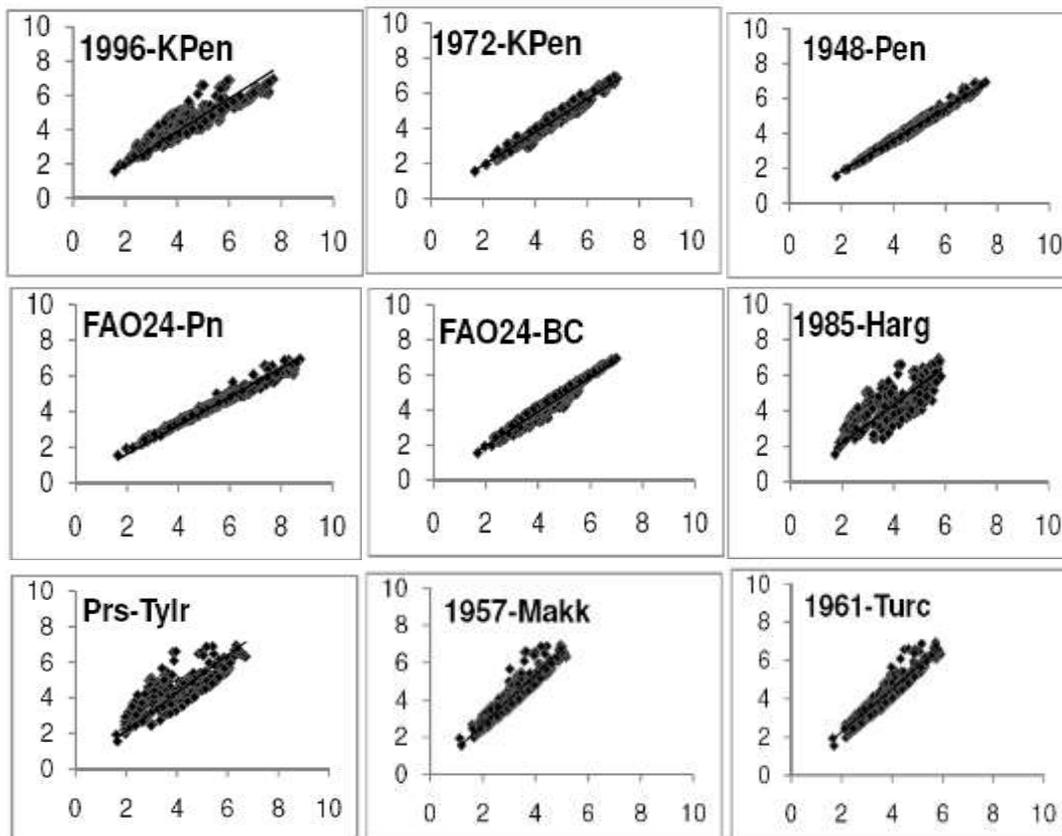


Figura 5. Regressão entre os métodos de estimativa de ETo (na horizontal) com o método da FAO56-PM (na vertical), para a média em mm de cinco dias.

Na análise dos resultados obtidos na escala de cinco dias (Tabela 2) todas as equações estudadas e comparadas com o padrão FAO56-PM, apresentaram altos

índices de precisão “r” com exceção dos métodos 1985-Harg e Prs-Tylr, que apresentaram valores de 0,702 e 0,718, respectivamente. Os demais métodos

tiveram valor de r superior a 0,850, indicando alta precisão. Estes resultados corroboram com os obtidos por Silva et al. (2011) que também avaliaram 4 métodos de estimativa de ETo, e obtiveram valores de r entre 0,76 e 0,94.

Quanto aos índices de concordância “d” em período de 5 dias, os métodos 1957-Makk, FAO24Pn e FAO24-BC apresentaram valores de 0,740, 0,845 e 0,888, respectivamente. Os demais métodos tiveram desempenho “d” superior a 0,90, indicando altos índices de exatidão entre os valores de cada método ao método padrão FAO56-PM, estes dados diferem dos obtidos por Silva et al. (2011) que obtiveram valores de “d” entre 0,82 e 0,92, avaliando 4 métodos de estimativa de ETo, e que foram classificados entre mediano à ótimo, segundo a classificação desempenho.

A ordem de menor desempenho do índice de desempenho “C” dos métodos em período de 5 dias, foi de: 1985-Harg, Prs-Tylr e 1957-Makk, com valores iguais a 0,634, 0,686 e 0,689, respectivamente. Os demais métodos apresentaram valores do índice de C acima de 0,80, e foram classificados como muito bom e ótimo. Podendo assim ser recomendadas a ser utilizadas na estimativa da ETo ajustadas ao método padrão FAO56-PM para as condições climáticas da localidade do estudo.

Os valores de β_1 na Tabela 2, indicam os métodos que apresentam super ou sub estimativas ao método padrão. Analisando os valores de β_1 na Tabela 2, é possível verificar a relação dos valores obtidos em relação ao método padrão, ou seja, quando o valor de β_1 é exatamente igual a 1, existe um ajuste dos valores pelo método estimado e o método padrão.

Quando o valor de β_1 é menor que 1, os valores estimados possuem uma super estimativa ao método padrão, ainda se, β_1 for maior que 1, o método estimado sub estimou os valores em relação ao método padrão.

Pelo valor de β_1 , os métodos que apresentaram maiores super estimativa foram: FAO24-Pn e 1948-Pen. Os métodos com maior sub estimativas pelo valor de β_1 foram: 1957-Makk e 1961-Turc. Estes valores corroboram com os obtidos por Vescove & Turc (2005) que obtiveram sub estimativas para três métodos avaliados na região de Araraquara SP. Esses métodos com sub ou super estimativa, também pode ser observado pelo valor de ETo acumulado, na Figura 6.

Ainda na Figura 6 é possível observar que os métodos 1996-KPen, 1972-KPen, 1948-Pen, FAO24-Pn e FAO24-BC, apresentaram super estimativa nos valores acumulados da ETo, enquanto que os métodos 1985-Harg, Prs-Tylr, 1957-Makk e 1961-Turc apresentaram respostas de sub estimativa na ETo, comparados ao valor padrão acumulado do método FAO56-PM que foi de 1581 mm, no mesmo período. Em dados médios mensais de ETo de Turco (2002) concordam com os obtidos neste trabalho de que o método de Makkink subestima a ETo em relação ao método padrão da FAO 56.

Verificou que os valores tiveram grande variação no período, com diferença de aproximadamente 700 mm, entre os métodos 1957-Makk e o método FAO24-Pn. Essa grande variação se dá à sensibilidade de estimativas e as variáveis consideradas na entrada de dados para a estimativa de ETo, e ainda pode verificar que o método FAO24-Pn estimou os valores de ETo com uma

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR²³ DIFERENTES MÉTODOS

super estimativa e o método 1957-Makk obteve desempenho de sub estimativa.

De forma geral, a maioria dos métodos teve bom desempenho, entre as estimativas diárias, três e cinco dias e no valor acumulado.

A utilização de uma ou outra equação de estimativa, depende da facilidade de aplicação em função das variáveis de entrada para estimar a ETo, ou até mesmo da disponibilidade dos dados no local.

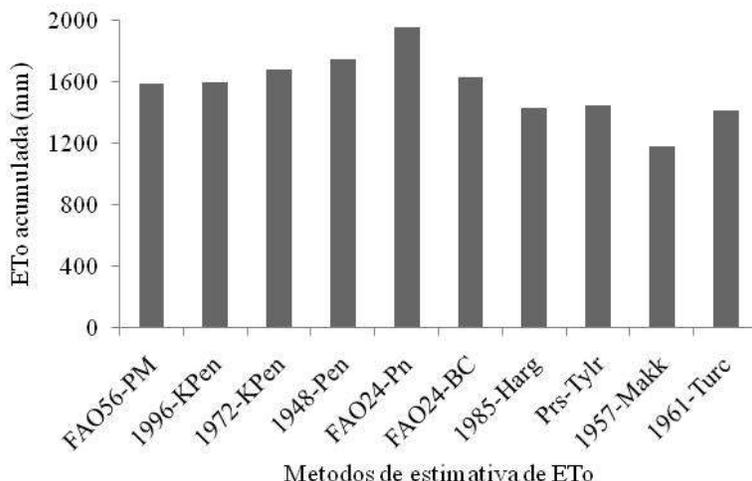


Figura 6. ETo acumulada (no período de DSA 37 de 2005 a 36 de 2006) para os diferentes métodos de estimativa de ETo (Santa Rita do Passa Quatro, SP).

Os resultados encontrados apresentaram altos níveis de correlação para os métodos FAO24-BC, 1972-KPen e 1948-Pen, indicando a possibilidade de se utilizar esses métodos que exigem poucas variáveis climatológicas na estimativa da ETo, ajustados com o método da FAO56-PM e, podem ser utilizadas para estimativa na estação de Santa Rita do Passa Quatro – SP, e regiões circunvizinhas com relações e dependências das variáveis meteorológicas semelhantes aquelas encontradas em Santa Rita, esta recomendação de uso em região circunvizinha também foi citada por Henrique e Dantas (2007).

4. CONCLUSÕES

Os melhores métodos pelo ranking foram: 1948-Pen, 1972-Kpen e FAO24-BC segundo o índice de confiança ou "C", podendo ser recomendados para ser utilizados na estimativa de ETo para Santa Rita do Passa Quatro - SP.

Os métodos 1985-Harg, 1957-Makk e Prs-Tylr, apresentaram baixo desempenho, não sendo confiável a utilização dos dados gerados por estes métodos em Santa Rita do Passa Quatro - SP.

Os ajustes de médias diárias para três e cinco dias, aumentaram a correlação ou precisão "r", mas diminuíram o índice de concordância ou exatidão "d".

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. REF-ET: **Reference Evapotranspiration Calculation Software for FAO and ASCE Standardized Equations**. Version 2.0 for Windows. Manual. University of Idaho, USA, 2001. 76 p.
- ALLEN, R.G. et al. Evapotranspiração de colheitas – Diretrizes para computar necessidades de água de colheitas. Irrigação e drenagem – **Boletim FAO 56** - Roma. 1998.
- 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**. v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, L. G. de et al. Clima. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: UFLA, 2008. p. 89-102.
- CONCEIÇÃO, M.A.F. Reference evapotranspiration based on Class A pan evaporation. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.
- CONCEIÇÃO, M.A.F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: **FAO, 1977**. 144p. (FAO Irrigation and drainage paper, 24).
- FARIA, R. A. et al. Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (*Zea mays* L.), na bacia do rio verde grande (MG). **Ciência agrotécnica**. v. 24 p. 187-196, 2000.
- FERNANDES, A. L., et al. Avaliação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo (*chrysanthemum* spp.) cultivado em estufa plástica. **Irriga**. v. 11, n. 2, p. 139-149. 2006.
- HENRIQUE, F. de A. N., DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n. 6, p. 594-599, 2007.
- MAKKINK, G.F. Ekzamenno de la formulo de Penman. **Neth. Journal Agricola Science**. v. 5, p. 290-305, 1957.
- MANDELLI, F.; CONCEIÇÃO, M.A.F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 303-307. 2005.
- MEDEIROS, S. R. R. et al. Potencial agroclimático para a *Alpinia purpurata*, no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 165-169, 2009.
- MOURA, G. B. A.; et al. Relação entre condições hídricas e o crescimento vegetal da cana-de-açúcar no município Itambé, Pernambuco. **Caatinga**, v. 21, p. 171-177, 2008.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 193, p. 120-145, 1948
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assesment of surface heat flux on evaporation using large scale parameters. **Monthly Weather Review**. v. 100, p. 81-92, 1972.
- REIS, E. F., et al. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do espírito santo no período seco. **Idesia**. v. 25, n. 3, p. 75-84. 2007.
- SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 126, n. 4, p. 265-267, 2000.
- SCHMIDT W. et al. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I - região sudeste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 8, n. 2-3, p. 330-333. 2004.
- SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração: necessidade de água para os cultivos**. ABEAS, (ABEAS. Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 2). 1996. 167p.
- SILVA, V. P. R.; et al. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 14, 2005, **Anais...** Campinas: CD Rom. SBA, 2005.
- SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome. **FAO**, 1991.45 p.
- TURC, L. Estimation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise. **Journal Annual Agronomic**. v. 12, n. 1, p.13-49. 1961.
- TURCO, J.E.P. **Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**. 2002. 85 f. Livre-Docência (Eletrificação Rural) - Faculdade de Ciências

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR²⁵
DIFERENTES MÉTODOS

Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

VESCOVE, H.V.; TURCO, J. E. P. 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.

WILLMOTT, C.J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

WRIGHT, J.L. Derivation of Alfalfa and Grass Reference Evapotranspiration. ASAE Proc. International Conference, **Irrigation Association and International Committee on Irrigation Drainage**, 1996.

WRIGHT, J.L. Peak water requirements of crops in Southern Idaho. **Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the ASCE**, v. 98, p. 193-201. 1972.