

## AVALIAÇÃO E APLICABILIDADE DO COEFICIENTE DO TANQUE CLASSE “A” NO MÉDIO PAJEÚ, PERNAMBUCO<sup>1</sup>

POLIANA DE CALDAS PEREIRA<sup>2\*</sup>, THERES GEORGE FREIRE DA SILVA<sup>3</sup>, SÉRVULO MERCIER SIQUEIRA E SILVA<sup>4</sup>, JOSÉ FRANCISCO DA CRUZ NETO<sup>5</sup>, JOSÉ EDSON FLORENTINO DE MORAIS<sup>6</sup>

**RESUMO** - Objetivou-se propor valores médios mensais do coeficiente do Tanque Classe “A” ( $K_p$ ) para a região do Médio Pajeú, Sertão de Pernambuco, bem como analisar os seus efeitos na estimativa da evapotranspiração de culturas agrícolas (ETc). Foram utilizados valores de evaporação do Tanque Classe “A” e dados meteorológicos diários para o período de 1999 a 2011. A partir dos dados diários dos anos ímpares foram obtidos os valores mensais do  $K_p$  de referência ( $K_{p_{ref}}$ ). Essa mesma série foi utilizada na aplicação de seis métodos de estimativa do  $K_p$ . Os valores encontrados foram submetidos à análise de variância e teste t ( $p > 0,05$ ). O desempenho dos valores de  $K_p$  foi avaliado por meio da estimativa da ETc acumulada de seis culturas agrícolas. Verificou-se que os valores médios do  $K_{p_{ref}}$  proporcionaram os maiores índices estatísticos e menores erros na estimativa da ETc. Os métodos proposto por Pereira et al. e o da FAO caso A, apresentaram os melhores desempenhos dentre os avaliados. Por outro lado, os métodos de Snyder e da FAO caso B foram os piores. O desempenho da estimativa da ETc de culturas agrícolas no Médio Pajeú, utilizando os valores de evaporação do Tanque Classe “A”, fica condicionado pela época do ano e pela cultura a ser explorada.

**Palavras-chave:**  $K_p$ . Índices estatísticos. Irrigação.

## EVALUATION AND APPLICABILITY OF THE CLASS A PAN COEFFICIENT IN THE MIDDLE PAJEU, PERNAMBUCO

**ABSTRACT** - The objective of this study was to propose monthly average values of Class “A” pan ( $K_p$ ) for the Pajeu Middle region, as well as analyze the theirs effects in the estimate of agricultural crop evapotranspiration (ETc). Evaporation values of class "A" pan and daily weather data from a series of 1999 to 2011 were used. From the daily values of odd-numbered years were obtained monthly values of reference  $K_p$  ( $K_{p_{ref}}$ ). That series was used in the implementation of six methods of estimation of the  $K_p$ . The values found have been subjected to an analysis of variance and t-test ( $p > 0.05$ ). The performance of the  $K_p$  values was done by estimation of the accumulated ETc values of the six agricultural crops. It was verified that the  $K_{p_{ref}}$  provided the best statistical indexes and minor errors in the estimate of ETc. The methods of Pereira et al. and the FAO case A should the best estimates among those evaluated. On the other hand, the Snyder and FAO case B methods were those of the worst performances. The performance of the estimation of the ETc in the Middle Pajeu, using the evaporation values of Class "A" pan, is conditioned by the time of year and crop to be explored.

**Keywords:**  $K_p$ . Statistical index. Irrigation.

\*Autor para correspondência.

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 24/01/2013; aceito em 06/03/2014

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, CEP: 36570-000, Viçosa-MG, Brasil; po.caldas@hotmail.com

<sup>3</sup>Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UAST/UFRPE, Caixa Postal: 069, CEP: 56900-000, Serra Talhada-PE, Brasil; thieres@uast.ufrpe.br

<sup>4</sup>Instituto Agrônômico de Pernambuco, Caixa Postal: 063, CEP: 56900-000, Serra Talhada-PE, Brasil; servulo.siqueira@ipa.br

<sup>5</sup>Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UAST/UFRPE, Caixa Postal: 069, CEP: 56900-000, Serra Talhada-PE, Brasil; zenetto.agronomia@gmail.com

<sup>6</sup>Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UAST/UFRPE, Caixa Postal: 069, CEP: 56900-000, Serra Talhada-PE, Brasil; joseedson50@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

Para um manejo adequado da irrigação, a adoção de critérios para determinar a necessidade hídrica das culturas é de extrema importância. Para isso, pode-se quantificar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (ESTEVEZ et al., 2009; SOUSA et al., 2010), que em conjunto com o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), possibilita obter a evapotranspiração das culturas (ET<sub>c</sub>) (ALLEN et al., 1998; LEAL; SEDIYAMA, 2004; BORGES; MEDIONDO, 2007).

Na literatura são citados vários métodos de estimativa da ET<sub>o</sub>, que dependem de uma ou mais variáveis meteorológicas. O método de Penman Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura) é um dos métodos que necessita de muitas variáveis de entrada (radiação solar global, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica), as quais em várias situações, não estão disponíveis em condições reais de manejo das culturas (SOUSA et al., 2010). Todavia, a ET<sub>o</sub> também pode ser estimada através do Tanque Classe “A”, que é bastante aplicado devido ao seu fácil uso e baixo custo de implantação (BRAGA et al., 2008). Entretanto, para estimar a ET<sub>o</sub> por esse método, utiliza-se um coeficiente empírico de proporcionalidade denominado K<sub>p</sub>, que relaciona a ET<sub>o</sub> com a evaporação do Tanque Classe “A” (ETCA) (ALLEN et al., 1998).

Comumente, o valor de K<sub>p</sub> é determinado com base em métodos que consideram os valores médios diários de umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (u), tamanho da bordadura (B) e o tipo de superfície em que o tanque está instalado (grama ou solo nu). Porém, outros métodos assumem as resistências da superfície e aerodinâmica (ALLEN et al., 1998; CUENCA, 1989; PEREIRA et al., 1995; SNYDER, 1992). Há a possibilidade de se adotar um único valor de K<sub>p</sub> para todo o período do ano, como uma opção simples e prática para estimar ET<sub>o</sub> a partir da ETCA (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Mas, este valor necessita ser calibrado em diferentes condições climáticas.

O método de Doorenbos e Pruitt (1977) assume valores tabelados de K<sub>p</sub>, enquanto que o de Snyder (1992) propõe uma regressão linear múltipla dependente da UR, u e B. As mesmas variáveis são utilizadas no método de Cuenca (1989), porém a equação é mais complexa. Pereira et al. (1995) apresentam um modelo baseado na relação entre a ET<sub>o</sub> e a ETCA, limitando os valores de K<sub>p</sub> a 0,85. No boletim 56 da FAO, os métodos A e B, aplicados para superfícies com solo coberto com vegetação e solo nu, respectivamente, são equações complexas resultantes dos dados tabelados de Doorenbos e Pruitt (1977).

Os valores estimados de K<sub>p</sub> não são habitualmente avaliados utilizando dados independentes daqueles usados na sua determinação. Além disso, nas

avaliações, não se considera a ET<sub>c</sub> como uma maneira de analisar o efeito dos valores de K<sub>p</sub> sobre a lâmina líquida a ser repostada para as plantas. Frequentemente, compara-se os valores de ET<sub>o</sub> obtidos pelo produto entre a ETCA e o K<sub>p</sub> com aqueles determinados pelo método de Penman Monteith (ET<sub>oPM</sub>) ou por medições lisimétricas (BRAGA et al., 2008; ESTEVES et al., 2009; GUNDEKAR et al., 2008; SENTELHAS; FOLEGATTI, 2003).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é propor valores médios mensais do coeficiente do Tanque Classe “A” (K<sub>p</sub>), através da análise dos seus efeitos sobre a evapotranspiração da cultura em espécies de importância socioeconômica da região do Médio Pajeú, Pernambuco.

## MATERIAL E MÉTODOS

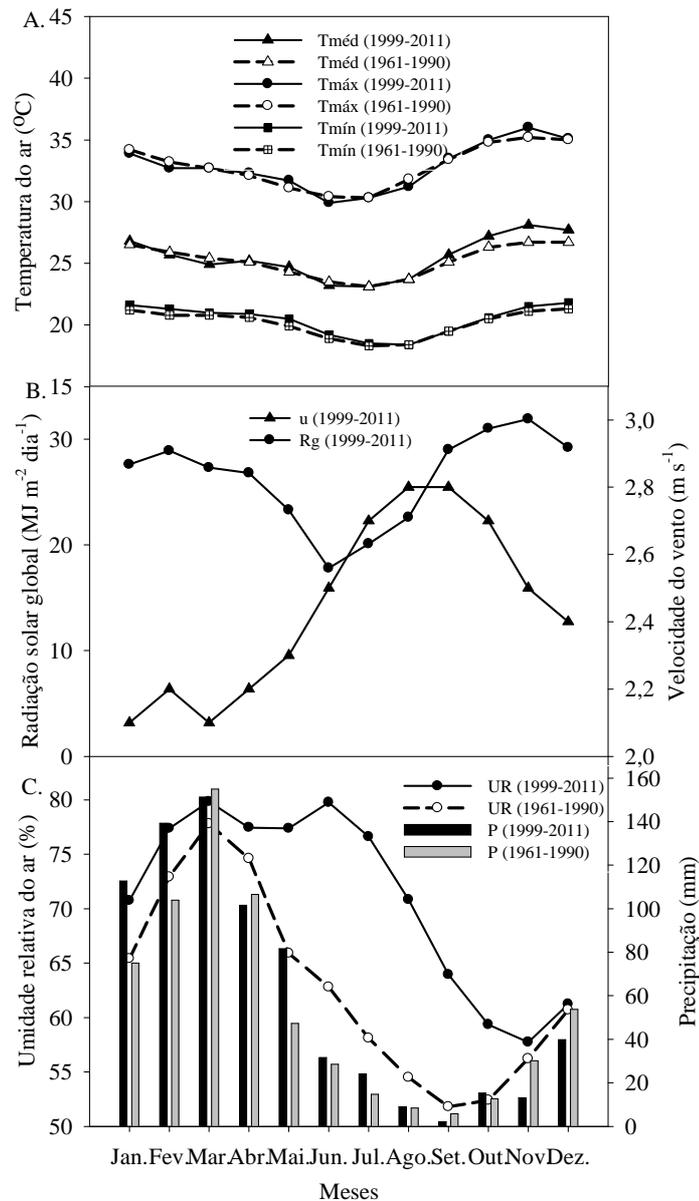
A área estudada compreende a região do Médio Pajeú, semiárido pernambucano, que possui clima do tipo BSw<sup>h</sup>, conforme a classificação de Köppen (1931).

Para este estudo, utilizou-se o período compreendido de outubro de 1999 a fevereiro de 2011, que possui grande similaridade em relação aos valores da normal climatológica (1961-1990) (Figura 1), obtida conforme descrito por Silva et al. (2007), indicando que a demanda atmosférica e a reposição de água, durante o período de análise, é representativa das condições climatológicas da região, permitindo o seu uso para a definição de valores médios de K<sub>p</sub> ajustados localmente.

Foram utilizados os dados de evaporação de um Tanque Classe “A” (ETCA), pertencente a Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST, da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, instalado ao lado da estação meteorológica automática da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC), situada na área da Fazenda Saco (7°59'S, 38°15'W, 431 m), na qual são registrados os dados meteorológicos de temperatura (T, °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (R<sub>g</sub>, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e de velocidade do vento a dois metros de altura (u<sub>2</sub>, m s<sup>-1</sup>).

Os dados diários de ETCA foram digitalizados e organizados em uma planilha eletrônica, enquanto que os dados meteorológicos, disponibilizados a cada três horas, foram obtidos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, do Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, e contabilizados para valores diários.

A partir desses dados, estimou-se a evapotranspiração de referência pelo método de Penman Monteith, parametrizado no boletim 56 da FAO (ET<sub>oPM</sub>) (ALLEN et al., 1998). Nos casos de ausência de dados meteorológicos ou de inconsistências dos mesmos, utilizou-se os procedimentos descritos em Allen et al. (1998) para o preenchimento dos dados faltantes, que serviram para a determinação



**Figura 1.** Valores médios mensais das variáveis meteorológicas durante o período de 1999 a 2011 e a normal climatológica (1961 a 1990) da região do Médio Pajeú, PE. Fonte: Agência Pernambucana de Água e Clima (período de 1999 a 2011) e Silva et al.(2007) (período de 1961 a 1990).

dos valores de  $ET_o$ .

Para estimar os valores de  $K_p$ , utilizou-se dados diários de  $ET_o$  e  $ETCA$  dos anos ímpares (1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 e 2011) da série de 1999 a 2011, sendo denominados  $K_p$  de referência ( $K_{p_{ref}}$ ):

$$K_{p_{ref}} = \frac{ET_{o_{PM}}}{ETCA} \quad (1)$$

em que,  $ET_{o_{PM}}$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman Monteith parametri-

zado no boletim 56 da FAO ( $mm \text{ dia}^{-1}$ ) e  $ETCA$  - evaporação do Tanque Classe “A” ( $mm \text{ dia}^{-1}$ ).

Essa série de dados foi usada também para quantificar os valores de  $K_p$  por meio dos métodos de Snyder (1992), Cuenca (1989), Pereira et al. (1995), FAO caso A e FAO caso B (ALLEN et al., 1998) e de Doorenbos e Pruitt (1977), conforme abaixo:

a) Snyder (1992).

$$K_{p_{Snyder}} = 0,482 + 0,024 \ln(B) - 0,000376 u_2 + 0,0045 UR_m \quad (2)$$

b) Cuenca (1989).

$$Kp_{Cuenca} = 0,475 - 2,4 \cdot 10^{-4} u_2 + 5,16 \cdot 10^{-3} UR_m + 1,18 \cdot 10^{-3} B - 1,6 \cdot 10^{-5} (UR_m)^2 - 1,01 \cdot 10^{-6} B^2 - 8,0 \cdot 10^{-9} (UR_m)^2 - 1,0 \cdot 10^{-8} (UR_m)^2 B \quad (3)$$

c) Pereira et al. (1995).

$$Kp_{Pereira} = \frac{0,85 (\Delta + y)}{\left[ \Delta + y \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} \quad (4)$$

d) FAO caso A (FAO A) (ALLEN et al., 1998).

$$Kp_{FAO A} = 0,108 - 0,0286 u_2 + 0,0422 \ln(B) + 0,1434 \ln(UR) - 0,000631 [\ln(B)]^2 \ln(UR) \quad (5)$$

e) FAO caso B (FAO B) (ALLEN et al., 1998).

$$Kp_{FAO B} = 0,61 + 0,00341 UR_m - 0,000162 u_2 * UR_m * 0,00000959 u_2 B + 0,00327 u_2 \ln(B) - 0,00289 u_2 \ln(84,4 u_2) + 0,0106 \ln(86,4 u_2) \ln(B) + 0,00063 [\ln(B)]^2 \ln(86,4 u_2) \quad (6)$$

f) Doorenbos e Pruitt (1977).

$$Kp_{D e P} = 0,75 \quad (7)$$

em que, B - bordadura da área com grama, sendo igual a 10 m;  $u_2$  - velocidade do vento a dois metros de altura ( $\text{km dia}^{-1}$ );  $UR_m$  - umidade relativa média do ar (%);  $\Delta$  - declividade da curva de pressão do vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ); y - constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $r_c/r_a$  - relação entre a resistência do dossel da grama à difusão do vapor d'água ( $r_c = 70$ ) e a resistência aerodinâmica para a troca do vapor d'água de uma superfície evaporante ( $r_a = 208/u_2$ ).

Os valores diários de  $Kp$  obtidos pelos seis métodos foram convertidos para mensais e comparados com o  $Kp_{ref}$ , ambos estimados para os anos ímpares, por meio da análise de variância (ANOVA) e do teste t, ao nível de 5% de probabilidade. Os valores de  $Kp$  obtidos nos anos ímpares foram utilizados para estimar a evapotranspiração de culturas agrícolas (milho, feijão caupi, sorgo, algodão, mamona e

maracujá) para os anos pares (2000, 2002, 2004, 2006, 2008 e 2010), conforme expressões abaixo:

$$ETo_{(TCA)} = ETCA \cdot Kp_{(x)} \quad (8)$$

$$ETc_{(TCA)} = ETo_{(TCA)} \cdot Kc \quad (9)$$

em que,  $ETo_{(TCA)}$  - evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ); ETCA = evaporação do Tanque Classe “A” ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $Kp_{(x)}$  - coeficiente do Tanque Classe “A”, sendo “x” o valor de  $Kp$ ;  $ETc_{(TCA)}$  - evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e; Kc - coeficiente de cultura.

Para execução deste trabalho foram utilizados os valores de Kc das culturas do milho, feijão caupi, sorgo forrageiro, algodão, mamona e o maracujá, conforme a divisão de seu ciclos. Essas culturas possuem relevância na alimentação humana e animal,

socioeconômica, produção de biodiesel e, ou, são alternativas para o Semiárido, em decorrência do valor agregado de seus produtos. Os valores de Kc podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores dos coeficientes de cultura (Kc) das fases fenológicas das culturas do milho, feijão caupi, sorgo, algodão, mamona e maracujá.

Culturas	Kc			
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
Milho	0,5 a 0,7	1,1	1,3 a 1,4	0,6
Feijão Caupi	0,8	0,8 a 1,1	1,1 a 1,4	1,4 a 0,3
Sorgo Forrageiro	0,40	0,40 a 1,05	1,05	1,05 a 0,55
Algodão	0,45	0,75	1,15	0,85
Mamona	0,35	0,75	1,05	0,50
Maracujá	0,64	0,98	1,17	-

Fonte: Milho - Bastos et al. (2008a); Feijão caupi - Bastos et al. (2008b); Sorgo forrageiro - ALLEN et al. (1998); Algodão e Mamona - Doorenbos e Pruitt (1977) e Maracujá - Freire et al. (2011).

Os valores de ETc foram calculadas para o máximo de ciclos possíveis de cada cultura durante os anos de estudo, visando a observação das diferentes demandas hídricas ao longo do período de análise para cada espécie, iniciando-se cada ciclo no primeiro dia de janeiro.

As avaliações de desempenho dos valores mensais de Kp utilizados para estimar a ETc das culturas agrícolas foram realizadas por índices estatísticos de precisão (coeficiente de correlação, r) e de exatidão (índice de concordância, d). Em seguida,

foram obtidas estimativas dos erros estatísticos: erro médio de estimativa (MBE) e a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RQME). A ETc estimada por meio do Kp<sub>ref</sub> e de todos os seis métodos (ETc<sub>(TCA)</sub>) foi comparada aos valores da evapotranspiração das culturas obtidos a partir do produto entre os valores do Kc e da ET<sub>OPM</sub>, sendo representada por ETc<sub>PM</sub> e denominada evapotranspiração da cultura obtida pelo método padrão.

As expressões dos índices e erros estatísticos são demonstradas a seguir.

$$r = \frac{\sum [ETc_{(TCA)} (ETc_{PM} - \overline{ETc_{PM}})]}{\left[ \sum_{i=1}^n (ETc_{PM} - \overline{ETc_{PM}})^2 \sum_{i=1}^n (ETc_{(TCA)} - \overline{ETc_{(TCA)}})^2 \right]^{1/2}} \quad (10)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (ETc_{(TCA)} - ETc_{PM})^2}{\sum_{i=1}^n (|ETc_{(TCA)} - \overline{ETc_{PM}}| + |ETc_{PM} - \overline{ETc_{PM}}|)^2} \right] \quad (11)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ETc_{(TCA)} - ETc_{PM}) \quad (12)$$

$$RQME = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ETc_{(TCA)} - ETc_{PM})^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

em que, n - número de observações; ETc<sub>(TCA)</sub> - valores acumulados da evapotranspiração das culturas obtida com os valores da ETCA, Kc e Kp; ETc<sub>PM</sub> - valores acumulados da evapotranspiração das culturas obtida com a ET<sub>OPM</sub> e Kc. A barra sobre estes símbolos refere-se ao seu valor médio para o período considerado.

Por fim, para classificar o desempenho dos valores de  $K_p$  na estimativa da  $ET_c$ , foi calculado o índice de confiança (c), o qual é resultado do produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d). A classificação do desempenho dos valores do  $K_{p_{ref}}$  e dos seis métodos foi avaliada conforme critério proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os dias com dados completos e aqueles em que o preenchimento foi possível, obteve-se a  $ET_o$  para 3783 dias do total de 4142, ou seja, o ajuste e avaliação dos valores de  $K_p$  foi feito com

91,3% dos dados disponíveis.

Na Tabela 2 são apresentados os valores mensais e a análise estatística da comparação dos valores de  $K_p$  de cada um dos seis métodos com o  $K_{p_{ref}}$ . Para quase todos os meses do ano, os valores de  $K_p$  dos seis métodos foram superiores aos do  $K_{p_{ref}}$ , o qual apresentou uma média anual de  $0,69 \pm 0,05$ . Os maiores valores de  $K_{p_{ref}}$  foram verificados nos primeiros meses do ano, que compreende o período chuvoso da região, tendo assim maior reposição de água o que favorece o processo de evapotranspiração. Resultados semelhantes foram obtidos por Braga et al. (2008) e por Conceição (2002), porém os valores médios anuais do  $K_{p_{ref}}$  foram inferior (0,55) e superior (0,74), respectivamente, ao exposto neste estudo.

**Tabela 2.** Comparação entre os valores médios mensais e anuais (1999 a 2011) do coeficiente do Tanque Classe “A” obtidos pelos métodos do  $K_p$  de referência, Snyder (1992), Cuenca (1989), Pereira et al. (1995), FAO caso A e FAO caso B (ALLEN et al., 1998) e de Doorenbos e Pruitt (1977), para a região do Médio Pajeú, semiárido pernambucano.

Meses	$K_{p_{ref}}$	$K_{p_{Snyder}}$	$K_{p_{Cuenca}}$	$K_{p_{Pereira}}$	$K_{p_{FAO A}}$	$K_{p_{FAO B}}$	$K_{p_{D e P}}$
Jan.	0,73 A ab	0,90 C bc	0,72A abc	0,73 A c	0,70 A abc	0,82 B a	0,75 AB a
Fev.	0,70 A ab	0,84 C a	0,77 B c	0,72 AB bc	0,74 AB de	0,87 C bc	0,75 AB a
Mar.	0,81 CD b	0,83 DE a	0,77 BC c	0,72 A c	0,75 AB e	0,88 E bc	0,75 AB a
Abr.	0,75 A ab	0,86 B ab	0,76 A bc	0,72 A c	0,75 A de	0,88 B bc	0,75 A a
Mai.	0,69 A ab	0,85 BC a	0,69 A a	0,70 AB abc	0,75 ABC e	0,89 C c	0,75 ABC a
Jun.	0,64 A a	0,83 DE a	0,78 CD c	0,69 AB ab	0,73 BC cde	0,87 E bc	0,75 BCD a
Jul.	0,67 A ab	0,85 D a	0,77 C c	0,69 AB a	0,72 BC cd	0,87 D bc	0,75C a
Ago.	0,66 A a	0,87 D ab	0,74 C abc	0,68 AB a	0,71 BC bc	0,85 D b	0,75C a
Set.	0,69 A ab	0,92 D c	0,72AB abc	0,69 A ab	0,69 A a	0,82 C a	0,75 D a
Out.	0,64 A a	0,94 E c	0,70 BC ab	0,70 BC abc	0,68 AB ab	0,80 D a	0,75 CD a
Nov.	0,66 A a	0,94 E c	0,70 B ab	0,72 BC c	0,69 AB ab	0,80 D a	0,75 C a
Dez.	0,65 A a	0,92 D c	0,70AB ab	0,72 B bc	0,69 AB ab	0,81 C a	0,75 BC a
Anual	0,69 A	0,88 E	0,74 BC	0,69 A	0,71 AB	0,85 D	0,75 C

\*Médias seguidas de mesma letra não se diferem estatisticamente entre si, em que as letras maiúsculas, na horizontal, representam a comparação dos valores dos diferentes métodos de determinação do  $K_p$  em relação aos valores do  $K_{p_{ref}}$  e as letras minúsculas, na vertical, comparam os valores mensais de cada método ao longo do ano, todos pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Comparando-se os valores de  $K_p$  de cada método com os de  $K_{p_{ref}}$ , verifica-se que os métodos de Pereira et al. e FAO caso A foram os que mais se aproximaram do  $K_{p_{ref}}$ , não apresentando diferenças estatísticas entre si para valores anuais (Tabela 2). Braga et al. (2008) também constataram que o método de Pereira et al. foi o que mais se aproximou do  $K_{p_{ref}}$ . Resultados diferentes foram obtidos por Gundekar et al. (2008), para as condições semiáridas da Índia, que encontraram um valor de  $K_p$  (0,35), obtido pelo método de Pereira et al., muito inferior ao  $K_{p_{ref}}$  (0,72).

Os métodos de Snyder, FAO caso B, Cuenca e de Doorenbos e Pruitt, nesta ordem, foram os que mais diferenciaram do  $K_{p_{ref}}$ , apresentando maiores valores médios mensais e anuais, os quais podem superestimar a lâmina de irrigação, caso sejam utilizados na estimativa da  $ET_o$  pelo método do Tanque Classe “A”. Este resultado pode estar associado ao fato de que estes métodos foram desenvolvidos para regiões com condições climáticas distintas da região do presente estudo, sendo necessário as suas calibra-

ções local, conforme recomendação da FAO (ALLEN et al., 1998). Resultados encontrados por Braga et al. (2008), no Submédio do Vale do São Francisco, mostram que os métodos de Snyder e de Doorenbos e Pruitt não tiveram bons resultados, sendo que este último superestimou em 37% a lâmina de irrigação.

Na Tabela 3, observa-se que os valores de  $ET_{c(TCA)} K_{p_{ref}}$  para as seis culturas apresentaram pequenas diferenças em relação a  $ET_{cPM}$ , variando entre 2,0% e 3,8%, demonstrando que os valores dos  $K_{p_{ref}}$  proporcionaram estimativas de elevada precisão da  $ET_c$ . O MBE da  $ET_{c(TCA)} K_{p_{ref}}$  variou de 10,75 mm ciclo<sup>-1</sup> (feijão caupi) a 32,59 mm ciclo<sup>-1</sup> (sorgo forrageiro), representando em termos anuais o ajuste da lâmina de irrigação a ser realizado pelo produtor (Tabela 3). Entretanto, para um ciclo específico do ano, ou seja, em relação ao RQME, estas lâminas oscilaram entre 77,08 mm ciclo<sup>-1</sup> para o feijão caupi (Tabela 3) e 136,76 mm ciclo<sup>-1</sup> para o maracujá (Tabela 3), indicando uma variabilidade do desempenho na estimativa da  $ET_c$  ao longo do ano.

De acordo com o índice de Camargo e Sentelhas (1997), o desempenho da  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{ref}$  pode ser classificado de mediano a péssimo, sendo os piores resultados para as culturas de ciclo mais longo, como a mamona e o maracujá (Tabela 3). Estes resultados estão associados com o desempenho mensal dos va-

lores de  $Kp$  que variaram ao longo do ano. Nessas culturas, os erros de estimativa ao longo dos meses, utilizando os valores de  $ETc$  e  $Kp$ , acumulam-se afetando a magnitude dos valores de  $ETc$  ao final do ciclo.

**Tabela 3.** Avaliação dos valores do coeficiente do Tanque Classe “A” por meio da estimativa da evapotranspiração ( $ETc$ ) para as culturas do milho, feijão caupi e o sorgo forrageiro na região do Médio Pajeú, semiárido pernambucano.

Culturas	Índices	$ETc_{(TCA)}$ $Kp_{Ref}$	$ETc_{(TCA)}$ $Kp_{Snyder}$	$ETc_{(TCA)}$ $Kp_{Cuena}$	$ETc_{(TCA)}$ $Kp_{Pereira}$	$ETc_{(TCA)}$ $Kp_{FAO A}$	$ETc_{(TCA)}$ $Kp_{FAO B}$	$ETc_{(TCA)}$ $Kp_{DeP}$
Milho	r	0,71	0,73	0,70	0,72	0,70	0,68	0,71
	d	0,83	0,61	0,78	0,81	0,80	0,65	0,77
	MBE	25,13	186,60	64,40	42,80	49,21	151,90	80,10
	RQME	82,13	193,84	97,18	90,67	88,43	151,07	108,21
	c	0,59	0,44	0,55	0,59	0,56	0,44	0,55
	Classif.	Sofrível	Mal	Sofrível	Sofrível	Sofrível	Mal	Sofrível
Feijão Caupi	r	0,74	0,75	0,71	0,73	0,72	0,66	0,70
	d	0,85	0,61	0,80	0,83	0,82	0,67	0,79
	MBE	10,75	143,32	44,13	21,07	29,08	96,90	42,64
	RQME	77,08	171,37	91,19	80,62	82,33	119,46	88,37
	c	0,62	0,46	0,57	0,61	0,59	0,44	0,56
	Classif.	Mediano	Mal	Sofrível	Mediano	Sofrível	Mal	Sofrível
Sorgo Forrageiro	r	0,66	0,71	0,16	0,70	0,67	0,65	0,69
	d	0,79	0,57	0,43	0,78	0,77	0,61	0,72
	MBE	32,59	228,92	0,73	53,00	55,40	181,61	95,49
	RQME	107,56	250,96	119,07	120,32	115,57	194,48	141,08
	c	0,52	0,40	0,07	0,55	0,51	0,40	0,50
	Classif.	Sofrível	Péssimo	Péssimo	Sofrível	Sofrível	Péssimo	Mal
Algodão	r	0,70	0,76	0,71	0,73	0,70	0,69	0,72
	d	0,83	0,61	0,79	0,82	0,80	0,64	0,77
	MBE	18,58	173,40	56,58	37,48	41,13	141,78	72,37
	RQME	83,73	202,05	100,47	93,87	92,02	160,70	112,89
	c	0,58	0,46	0,56	0,59	0,56	0,44	0,55
	Classif.	Sofrível	Mal	Sofrível	Sofrível	Sofrível	Mal	Sofrível
Mamona	r	0,55	0,65	0,60	0,61	0,58	0,58	0,62
	d	0,73	0,50	0,71	0,74	0,73	0,55	0,68
	MBE	29,87	288,08	85,49	53,36	60,32	223,06	110,72
	RQME	117,50	319,32	146,04	133,28	131,72	244,04	167,77
	c	0,40	0,32	0,42	0,45	0,42	0,32	0,43
	Classif.	Péssimo	Péssimo	Mal	Mal	Mal	Péssimo	Péssimo
Maracujá	r	0,46	0,51	0,46	0,48	0,49	0,44	0,48
	d	0,66	0,46	0,62	0,65	0,65	0,50	0,60
	MBE	31,91	231,77	74,96	51,75	51,03	182,29	92,94
	RQME	136,76	293,72	158,56	146,31	150,19	237,15	173,44
	c	0,30	0,23	0,28	0,31	0,32	0,22	0,29
	Classif.	Péssimo	Péssimo	Mal	Mal	Mal	Péssimo	Péssimo

Índices: \* r - coeficiente de correlação, d - índice de concordância, MBE - erro médio de estimativa, RQME - raiz quadrada do quadrado médio do erro e c - índice de desempenho, Classif.- Classificação do índice de Camargo e Sentelhas (1997).

Em relação à estimativa da  $ETc$ , constatou-se que a  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{Pereira}$  e  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{FAO A}$  foram os que apresentam os melhores resultados em relação a  $ETc_{PM}$ , o que está associado ao fato dos valores de  $Kp$  destes métodos não terem se diferenciado estatisticamente do  $Kp_{ref}$ . Um bom desempenho da  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{Pereira}$  também foi constatado por Sentelhas e Folegatti (2003), em Piracicaba-SP, que o indicaram como um dos métodos mais adequados. Resultado similar foi constatado no estudo de Braga et al. (2008), no Vale do Submédio São Francisco, e por Esteves et al. (2009), em Campos dos Goytacazes, RJ.

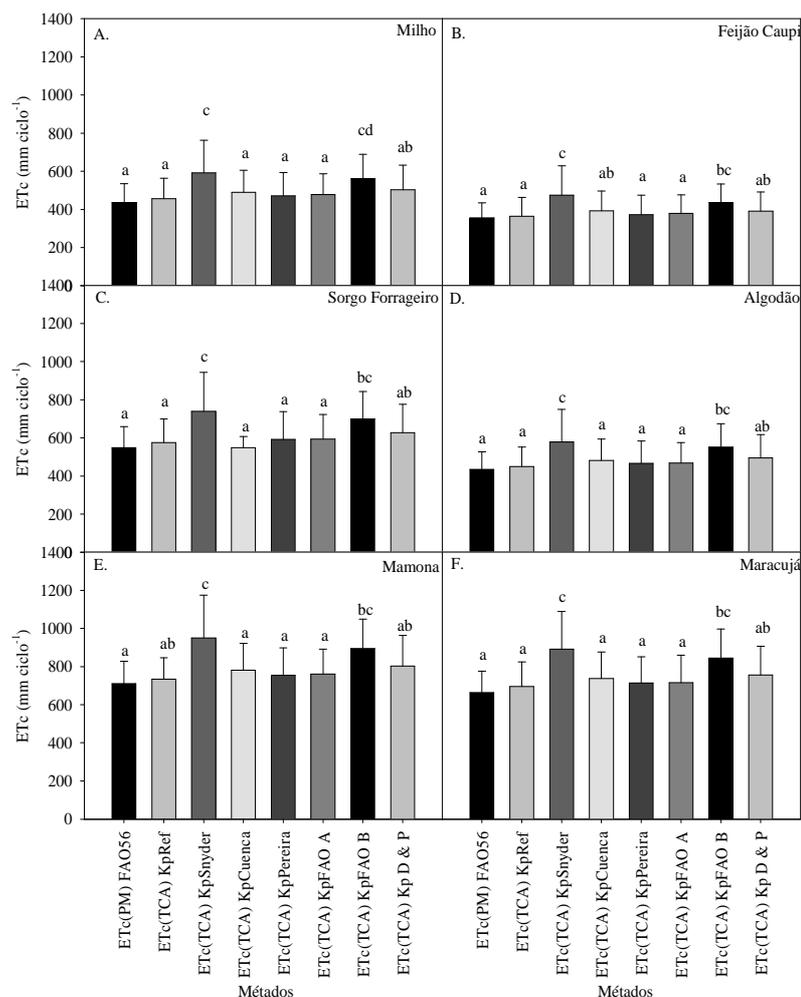
Por outro lado, a  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{Snyder}$  e a  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{FAO B}$  apresentaram os piores resultados, superestimando-as em mais de 33% e de 20%, nessa ordem. Como consequência, os desempenhos destes métodos foram classificados de mal a péssimo, com os erros de estimativa elevados, o que pode ocasionar irrigações excessivas, atingindo até 288,08 mm ciclo<sup>-1</sup>, em termos anuais, para a  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{Snyder}$  e de 223,06 mm ciclo<sup>-1</sup> para a  $ETc_{(TCA)}$   $Kp_{FAO B}$  (Tabela 2). Para um ciclo específico, nessa mesma ordem, estes valores podem ser superiores a 171,37 mm ciclo<sup>-1</sup> (feijão caupi) e 151,07 mm ciclo<sup>-1</sup> (milho). Entretanto, maiores erros foram observados para a ma-

mona com a  $ET_{C(TCA)} Kp_{Snyder}$ , (MBE de 288,08 mm ciclo<sup>-1</sup> e RQME de 319,32 mm ciclo<sup>-1</sup>) e a  $ET_{C(TCA)} Kp_{FAO B}$  (MBE de 223,06 mm ciclo<sup>-1</sup> e RQME de 224,04 mm ciclo<sup>-1</sup>) (Tabela 2). Braga et al. (2008), no Vale do Submédio São Francisco, constataram baixo desempenho do método de Snyder e não o indicaram para a região.

A utilização de um Kp fixo, conforme proposto por Doorenbos e Pruitt, superestimou a  $ET_c$  em até 14,2 % em relação a  $ET_{C_{PM}}$ , apresentando desempenho com classificação de sofrível (milho, feijão caupi e algodão) a péssimo (mamona e maracujá). Apesar disso, não se constatou diferenças significativas em relação ao  $Kp_{ref}$ , nos meses mais chuvosos (janeiro a maio) (Tabela 2). Por sua vez, a  $ET_{C(TCA)} Kp_{Cuenca}$  apresentou resultados intermediários aos demais mencionados. Os menores erros desse método foram observados para as culturas do milho, feijão caupi e algodão, os quais foram classificados como sofríveis.

Para os valores acumulados de  $ET_{C_{PM}}$ , de-

monstrados na Figura 2, observa-se que são próximos aos informados na literatura para as culturas analisadas. Para o milho, a  $ET_c$  varia entre 504,62 e 650 mm ciclo<sup>-1</sup> (BASTOS et al., 2008a; BERGAMASCHI et al., 2004). O mesmo foi revisado para o feijão caupi, que possui uma  $ET_c$  na faixa de 330,7 a 383,02 mm ciclo<sup>-1</sup> (ANDRADE et al., 1993; BASTOS et al., 2008b; LIMA et al., 2006; LIMA et al., 2011). A cultura do sorgo tem a  $ET_c$  entre 300 a 600 mm ciclo<sup>-1</sup>, dependendo de das condições climáticas do local (FRANCO, 2011). Para cultura do algodão, a  $ET_c$  varia entre 440 e 616,49 mm ciclo<sup>-1</sup> (AZEVEDO et al., 1993; BARRETO et al., 2007; BEZERRA et al., 2010). A cultura do maracujá, os seus valores de  $ET_{C_{PM}}$  (Figura 2) ficaram próximos ao informado por Freire et al. (2011), que é de 736,68 mm ciclo<sup>-1</sup>. Para a mamona, os valores de  $ET_{C_{PM}}$  também apresentaram magnitudes próximas ao observado na literatura, sendo em torno de 673 mm ciclo<sup>-1</sup>, conforme Silva et al. (2008).



**Figura 2.** Valores médios acumulados da evapotranspiração de culturas estimados para os seus respectivos ciclos utilizando os métodos de Penman Monteith FAO 56,  $Kp_{ref}$  e outros seis métodos de estimativa do Kp, para a região do Médio Pajeú, semiárido pernambucano, avaliados pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar dos diferentes desempenhos observados entre os valores de  $ET_{c(TCA)}$ , obtidos a partir da ETCA e dos dados de  $K_{p_{ref}}$  e dos seis métodos, observa-se na Figura 2, que a maioria dos valores de  $ET_{c(TCA)}$  não apresentaram diferenças significativas em relação ao método padrão ( $ET_{c_{PM}}$ ), exceto a  $ET_{c(TCA)} K_{p_{Snyder}}$  e a  $ET_{c(TCA)} K_{p_{FAO B}}$ , que diferenciaram para todas as culturas.

## CONCLUSÃO

O método do  $K_{p_{ref}}$  é recomendado para quantificar a evapotranspiração de culturas na região do Médio Pajeú, semiárido pernambucano, visto que esta não diferiu da obtida com o método padrão (Penman Monteith FAO 56). Os valores de  $K_p$  obtidos pelos métodos de Pereira et al. e FAO caso A são os mais adequados para a estimativa da evapotranspiração das culturas analisadas nesta área, sendo desaconselhado a utilização dos métodos de Snyder e FAO caso B. Por fim, o desempenho da estimativa da evapotranspiração de culturas agrícolas na região do Médio Pajeú, utilizando os valores de evaporação do Tanque Classe “A”, fica condicionada à época do ano e a cultura a ser explorada.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56**. Rome: FAO, 1998, 300p.
- ANDRADE, C. L. T. et al. **Coefficientes de cultivo e de irrigação para o caupi**. Teresina: EMBRAPA-CNPAL, 1993. 6p. (EMBRAPA-CNPAL, Comunicação Técnico, 9).
- AZEVEDO, P. V. et al. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.
- BARRETO, A. N.; AMARAL, J. B.; LUZ, M. J. S. Consumo hídrico do algodoeiro herbáceo nas diferentes fases fenológicas no município Irecê – BA. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 6., 2007, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Algodão, 2007.
- BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MENDES, A. G.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, F. J. S. Coeficiente de cultivo do milho nos Tabuleiros Litorâneos do Piauí. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 27., 2008a, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Milho e Sorgo/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2008a. p. 1-5.
- BASTOS, E. A. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, Botucatu v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008b.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.
- BEZERRA, J. R. C. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 625-632, 2010.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.
- BRAGA, M. B. et al. Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 49-57, 2008.
- 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.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Reference evapotranspiration based on class-A pan evaporation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.
- CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989, 133 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 168 p, 1977. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ESTEVES, B. S. et al. Avaliação do  $K_t$  para estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 274-278, 2009.
- FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutriente na cultura do sorgo**. 2011. 78f. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal no Semiárido: Área de concentração em Produção vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

- FREIRE, J. L. O. et al. Necessidade hídrica do maracujazeiro amarelo cultivado sob estresse salino, biofertilização e cobertura do solo, **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 82-91, 2011.
- GUNDEKAR, H. G. et al. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. **Irrigation Science**, Sidney, v. 26, n. 2, p. 169-175, 2008.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390 p.
- LEAL, B. G.; SEDIYAMA, G. C. Modelo matemático para determinação da curva do coeficiente de cultura, Kc. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 124-124, 2004.
- LIMA J. R. DE S. et al. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 65-74, 2011.
- LIMA, J. R. DE S. et al. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 89-95, 2006.
- PEREIRA, A. R. et al. A model for class-A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 75-82, 1995.
- SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (K<sub>p</sub>) to estimate daily reference evapotranspiration (E<sub>To</sub>). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.
- SILVA, S. M. S.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S.; DIAS, J. M.; NASCIMENTO, R. T. Produtividade da cultivar BRS Energia em função da lâmina de irrigação e populações de plantas. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 3., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.
- SILVA, T. G. F. DA; ZOLNIER, S.; MOURA M. S. B. DE; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, L. S. B. DE. Umidade relativa do ar: estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia e EMBRAPA/Tabuleiros Costeiros. 2007.
- SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.
- SOUSA, I. F. de et al. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 633-644, 2010.