

COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE GOIÂNIA, GO*

COMPARATIVE STUDY OF ESTIMATIVE MODELS FOR REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR THE REGION OF GOIÂNIA, GO

Ruth Zago OLIVEIRA¹; Luiz Fernando Coutinho de OLIVEIRA²; Tiago Roberto WEHR³; Lucas Bernardes BORGES⁴; Robson BONOMO²

RESUMO: Com o objetivo de se comparar alguns modelos de estimativa da ETo, para a região de Goiânia, GO, foram avaliados os modelos de Penman-Monteith (PM), Penman-FAO (FPn), Blaney-Criddle-FAO (FB-C), Radiação-FAO (FRad), Hargreaves-Samani (Harg) e Tanque Classe A (TCA), assumindo o modelo de Penman-Monteith como padrão. Empregou-se neste estudo os dados climatológicos diários coletados na estação climatológica do centro de pesquisa da EMBRAPA – Arroz e Feijão e na estimativa da ETo o programa REF-ET. Pela análise comparativa entre os modelos de estimativa da ETo com o padrão PM, para a região de Goiânia, GO, pode-se classificá-los em ordem decrescente de prioridade da seguinte forma: FPn, FB-C, FRad, Harg e TCA para o período seco: FPn, FB-C, Harg, FRad, e TCA e para o período chuvoso: FB-C, FPn, FRad, Harg e TCA. O modelo FB-C apresenta uma boa alternativa prática quando se dispõe basicamente da temperatura média do ar.

UNITERMOS: Penman-Monteith; Evapotranspiração; Cerrado.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural limitado, sendo sua racionalização de grande importância na atividade agrícola. Os fatores que determinam a quantidade de água requerida pelas culturas referem-se principalmente às condições climáticas, bem como às características das plantas, à capacidade de retenção de água no solo e às práticas culturais adotadas. Como os métodos frequentemente utilizados para estimar o requerimento de água pelas plantas se baseiam em dados climáticos, necessário se faz obter informações meteorológicas regionais para a estimativa da evapotranspiração de referência e conseqüentemente, melhorar o aproveitamento da água proveniente das precipitações pluviais e otimizar o dimensionamento de sistemas de irrigação.

Doorenbos e Pruitt (1977) definiram a evapotranspiração de referência (ETo) como sendo a

perda de água de uma superfície extensa de gramíneas verdes, com altura uniforme entre 8 a 15 cm, em crescimento ativo, sombreando completamente o solo, não existindo limitação de água no solo. Smith et al. (1991) redefiniu a ETo como sendo a perda de água por uma cultura hipotética, com altura uniforme de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cobertura ao transporte de vapor de água igual a 70 s m^{-1} , o que representaria a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo cobrindo totalmente a superfície do solo e sem falta de água.

Vários métodos de estimativa da evapotranspiração têm sido desenvolvidos e testados, variando desde métodos simples, que requerem apenas dados de temperatura mensal até métodos mais complexos baseados em modelos físicos, que requerem uma série de dados de entrada, tais como os modelos de Penman e suas modificações (HATFIELD; ALLEN, 1996). Apesar

* Trabalho extraído da dissertação de mestrado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, pela UFG, da primeira autora

¹ Mestre em agronomia, Universidade Federal de Goiás.

² Professor Adjunto, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás.

³ Mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Goiás.

⁴ Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, bolsista do PIBIC/ CNPq.

Received: 08/03/05

Accept: 18/07/05

da existência de diversos modelos para se estimar a ETo, é comum utiliza-los em condições climáticas e agrônomicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidos, sendo por isso de extrema importância avaliar o grau de exatidão de cada modelo antes de utilizá-los para nova condição (OLIVEIRA *et al.*, 2001 e BONOMO, 1999).

Para determinar a perda de água por evapotranspiração, em períodos curtos, o uso de evaporímetros apresenta resultados mais precisos, com a vantagem de serem de fácil manuseio em campo. Devido à simplicidade operacional e baixo custo do equipamento, o Tanque Classe A é o evaporímetro mais utilizado para o monitoramento da evapotranspiração (BERNARDO, 1995). Neste caso, a ETo é determinada multiplicando-se o valor medido no evaporímetro por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque) a ser determinado para as condições locais (MANTOVANI, 1993).

A equação baseada em dados meteorológicos, tem na prática uma aplicação trabalhosa, não só pela complexidade do cálculo, mas também por exigir grande número de elementos meteorológicos, fornecidos somente por estações completas (Bernardo, 1995).

Em 1990 foi proposta pela FAO a padronização para a estimativa da ETo, tendo selecionado o modelo de Penman-Monteith como referência por ser o modelo que mais se aproxima dos métodos lisimétricos (SMITH *et al.*, 1991). Bonomo (1999) comenta que, em condições de manejo de irrigação e em locais distantes de estações meteorológicas completas, a utilização de métodos simplificados, baseados em dados de tanques de evaporação ou temperatura do ar, justifica-se em virtude de sua utilização e interpretação dos resultados e do custo relativamente baixo, quando comparados a outras possibilidades.

A comparação dos modelos de estimativa da ETo, desde o mais simples ao mais complexos justifica-se nesta fase, em que PM está em processo de aceitação como modelo padrão, somente para permitir aos usuários dessas informações a oportunidade do emprego de modelos alternativos que não seja o padrão, devido a sua praticidade e menor exigência de informações climáticas.

Antunes (2000) comparando várias metodologias de estimativa da evapotranspiração de cafeeiros para duas estações pluviais (chuvosa e seca), para a região de Viçosa, MG, verificou que, para ambas as estações, as evapotranspirações estimadas pelo emprego do programa SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola), foram as que mais se aproximaram dos valores determinados pelo método gravimétrico. No programa

SISDA, a estimativa da ETo, foi obtida pelo modelo de Penman-Monteith. Marin (2003) empregando o método de balanço de calor em cafeeiros em Piracicaba, SP, verificou que, as estimativas da transpiração máxima obtidas com o modelo de Penman-Monteith, mostraram boa correlação com os valores integrados diários de fluxo de seiva, para as plantas com área foliar entre 9,3 a 11,4 m².

Embora numerosos estudos tenham demonstrado que o método de Penman-Monteith seja o mais apropriado para a estimativa da ETo, a obtenção dos dados climáticos necessários para cálculo da equação de Penman-Monteith é difícil e de custo elevado. Em condições que se dispõe apenas de dados de temperatura máxima e mínima do ar, freqüentemente são usados os métodos de Hargreaves-Samani ou de Thornthwaite para estimar a ETo. Entretanto, o primeiro método superestima a ETo e o segundo a subestima para locais de clima úmido (JENSEN; BURMAN; ALLEN, 1990 e AMATYA; SKAGGS; GREGORY, 1995).

Com o objetivo de se comparar alguns modelos de estimativa da ETo, para a região de Goiânia, GO, foram avaliados os modelos de Penman-FAO, Blaney-Criddle-FAO, Radiação-FAO, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A, assumindo o modelo de Penman-Monteith como padrão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando-se dados diários da estação climatológica do centro de pesquisa em arroz e feijão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – Arroz e Feijão), localizada no município de Santo Antônio de Goiás, GO, latitude 16° 28' Sul, longitude 49° 17' Oeste e altitude de 823 metros, distante 12 km da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás.

Os dados climatológicos diários disponíveis para a estimativa da evapotranspiração de referência foram os seguintes: temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa, velocidade do vento medida a uma altura de 0,5 m, evaporação do Tanque Classe A e número de horas de brilho solar, para o ano de 2004. A ETo foi estimada empregando o programa REF-ET versão 2.0, desenvolvido por Allen (2000), pelos modelos de Penman-Monteith (PM), Penman-FAO (FPn), Hargreaves-Samani (Harg), Radiação-FAO (FRad), Blaney-Criddle-FAO (FB-C) e Tanque Classe A (TCA). A velocidade do vento para altura de 2,0 m foi obtida internamente no REF-ET com base no seu valor medido a uma altura de 0,5 m.

A seleção dos modelos de estimativa da ETo que

melhor se ajustam às condições da região de Goiânia, GO, foi realizada comparando-se os resultados obtidos pelos modelos de FcPn, Harg, FRad, FB-C e TCA com o padrão PM. Com os valores diários de ETo estimados pelos diferentes modelos, foram ajustadas equações de regressão, a fim de analisar as relações da ETo estimadas entre o modelo tomado como padrão (PM) e os demais.

A comparação dos valores de ETo entre o modelo tomado como padrão (PM) e os demais modelos, basearam no erro padrão da estimativa (SEE) e o coeficiente de determinação (r^2) das equações de regressão ajustadas, utilizando-se o erro padrão de estimativa ajustado (ASEE), conforme descrito por Jensen, Burman e Allen (1990). Com base nos valores de SEE, r^2 , ASEE, os modelos de estimativas de ETo foram avaliados, tomando-se como melhor alternativa os que apresentarem maiores valores de r^2 e menores valores de SEE e ASEE.

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{m_i})^2}{n - 1}} \tag{1}$$

em que,

Y_{p_i} = estimativa da ETo pelo modelo padrão (PM);

Y_{m_i} = estimativa da ETo obtida por cada um dos modelos avaliados e

n = número de observações.

Para a determinação do ASEE, empregou-se a mesma equação 1, porém o valor da ETo estimada pelo modelo a ser avaliado (Y_m), foi substituído pelo valor da ETo obtido pelo emprego da equação de regressão ajustada entre o modelo padrão (PM) e os demais modelos.

Para fins de classificação dos modelos de estimativa de ETo, utilizou-se o $SEE_{ponderado}$, obtido pela ponderação dos valores de SEE e ASEE (JENSEN; BURMAN; ALLEN, 1990). A classificação foi feita por ordem crescente dos valores de $SEE_{ponderado}$.

$$SEE_{ponderado} = 0,67 SEE + 0,33 ASEE \tag{2}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores mínimos, máximos e médios diários das evapotranspirações de referência (ETo), para todos os meses ano de 2004, na região de Goiânia, GO, estimados pelos modelos de Penman-Monteith (PM), Penman-FAO (FPn), Blaney-Criddle (FB-C), Radiação-

FAO (FRad), Hargreaves-Samani (Harg) e Tanque Classe A (TCA) estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que para o modelo padrão (PM), os respectivos valores mínimo e máximo mensal das ETo estimadas foram de 1,46 mm d⁻¹ para o mês de maio e de 6,00 mm d⁻¹ para o mês de março, com valor médio ao longo do ano de 3,47 mm d⁻¹, apresentando um coeficiente de variação de 26,23 % (Tabela 2).

Em relação aos demais modelos, os valores mínimos mensais das ETo estimadas variaram de 0,08 mm d⁻¹ para o modelo TCA para o mês de março, a 2,16 mm d⁻¹ para o modelo Harg para o mês de julho. Os valores máximos mensais das ETo estimadas variaram de 6,71 mm d⁻¹ para o modelo de Harg no mês de setembro a 9,73 mm d⁻¹ para o modelo TCA no mesmo mês.

Ao longo do ano, os valores médios da ETo estimados, pelo modelo de FB-C foi o que mais se aproximou do padrão PM e o que mais se distanciou foi o de Harg, embora este último tenha apresentado menores variações na estimativa da ETo, com um coeficiente de variação de 20,26 % (Tabela 2). Para o período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro), verifica-se na Tabela 2, que os modelos de TCA e FB-C foram o que mais se aproximaram do padrão PM, respectivamente. Por outro lado, os modelos de Harg e FRad, foram os que mais se distanciaram da média estimada pelo padrão PM, para as mesmas estações do ano na região de Goiânia, GO.

Observa-se que, as estimativas da ETo pelo Tanque Classe A proporcionaram menores valores da ETo mínima mensal e maiores valores de máximo mensal, o que constitui uma preocupação na utilização desta metodologia no manejo de áreas irrigadas, acarretando em sub ou superestimativa da lâmina de irrigação. Atribui-se essas discrepâncias nas estimativas da ETo pelo Tanque Classe A as variações de algumas variáveis climáticas, principalmente a velocidade do vento e umidade relativa do ar, empregadas na determinação do coeficiente de tanque. Portanto, para uma maior precisão na estimativa da ETo pelo Tanque Classe A, deve-se determinar de o coeficiente de tanque com base nas variáveis climáticas local, evitando-se assim a utilização de tabelas e equações genéricas.

As variações nos valores da ETo estimados pelo modelo Harg, quando comparados com os estimados pelo padrão PM, se devem aos mesmos motivos apresentados na análise dos resultados obtidos para o Tanque Classe A, principalmente para o período chuvoso, pois incorporam na sua formulação os efeitos da velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Tabela 1. Estimativa média mensal da evapotranspiração de referência (mm d⁻¹) pelos modelos de PM, FPn, FB-C, FRad, Harg e TCA

Modelo	Mês												anual	
	jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
ETo (mm d ⁻¹)														
PM	Min	2,09	2,05	1,98	1,82	1,46	2,13	2,03	3,12	3,62	2,11	2,79	2,38	1,46
	Máx	4,25	4,72	6,00	4,30	3,64	3,16	3,64	4,45	5,46	5,38	5,53	5,24	6,00
	Méd	2,91	3,32	3,82	3,24	2,73	2,70	3,02	3,79	4,64	4,09	4,12	3,05	3,47
FPn	Min	1,57	1,67	1,26	1,44	0,98	2,17	2,19	3,86	4,19	1,69	2,89	2,22	0,98
	Máx	4,87	5,51	7,99	5,01	4,39	3,82	4,36	5,43	6,35	6,48	6,94	6,20	7,99
	Méd	2,88	2,94	4,17	3,48	3,00	3,25	3,66	4,70	5,60	4,67	4,69	4,00	3,92
FB-C	Min	1,68	1,68	1,67	1,66	1,26	2,50	1,92	4,07	4,16	1,87	2,47	2,03	1,26
	Máx	4,05	4,05	6,02	4,22	4,25	4,16	4,39	6,28	7,32	6,77	5,52	5,22	7,32
	Méd	2,62	2,44	3,60	3,13	3,00	3,50	3,82	5,03	6,07	4,20	3,87	3,62	3,72
FRad	Min	1,98	1,84	1,80	1,59	1,20	2,25	1,40	4,45	3,94	1,85	2,47	2,12	1,20
	Máx	4,57	5,58	7,17	5,40	4,02	4,43	5,12	6,95	8,57	8,34	7,29	6,31	8,57
	Méd	2,98	3,02	4,48	3,82	3,41	3,77	4,21	5,72	7,28	4,96	4,78	3,97	4,34
Harg	Min	2,21	2,54	3,04	3,14	2,36	2,71	2,16	3,78	5,16	4,33	4,23	3,38	2,16
	Max	5,46	5,01	5,26	4,93	4,29	3,68	3,90	5,52	6,71	6,58	6,21	6,47	6,71
	Méd	4,34	4,22	4,44	3,11	3,55	3,39	3,56	4,63	5,78	5,45	5,17	4,87	4,46
TCA	Min	0,51	0,6	0,08	1,54	0,94	1,58	2,84	3,46	4,99	1,62	1,45	1,18	0,08
	Máx	5,93	5,77	5,49	5,22	5,04	5,78	6,00	6,02	9,73	7,54	7,12	6,13	9,73
	Méd	3,15	2,92	2,78	3,22	3,18	3,80	4,44	5,28	6,72	4,90	4,51	3,02	4,07

Tabela 2. Análise estatística das estimativas da ETo pelos modelos de PM, FPn, FB-C, FRad, Harg e TCA, para todos meses do ano e para os períodos seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março)

Estatística	Modelos de estimativa da ETo					
	PM	FPn	FRad	FB-C	TCA	Harg
todos os meses do ano						
média (mm d ⁻¹)	3,47	3,92	4,34	3,72	4,07	4,46
Desvio padrão (mm d ⁻¹)	0,91	1,30	1,60	1,27	1,61	0,90
CV (%)	26,23	33,26	36,77	34,25	39,69	20,26
de abril a setembro						
média (mm d ⁻¹)	3,35	3,95	4,65	4,09	4,44	4,17
Desvio padrão (mm d ⁻¹)	0,81	1,10	1,55	1,28	1,56	0,92
CV (%)	24,21	27,92	33,25	31,38	35,25	22,02
de outubro a março						
média (mm d ⁻¹)	3,59	3,90	4,03	3,35	3,70	4,75
Desvio padrão (mm d ⁻¹)	0,99	1,48	1,59	1,15	1,58	0,79
CV (%)	27,50	38,02	39,44	34,38	42,80	16,60

Os modelos que envolvem direta ou indiretamente o efeito da radiação solar como fonte de energia para o processo da evapotranspiração, ou seja, modelos FPn, FB-C e FRad, foram os que apresentaram menores desvios

em relação ao padrão PM, pois a radiação e a temperatura média, sofrem menores variações locais quando comparado com a umidade relativa e vento.

Apesar do modelo PM ser o modelo mais recomendável, ainda ocorre na prática a utilização de outros modelos, alguns com as mesmas exigências de dados de entrada e outros utilizando informações mais simples. Nesta fase de confirmação do modelo PM como padrão FAO, é importante oferecer subsídios para que se possa comparar a precisão de cada um dos modelos utilizados. Também é importante considerar que, apesar do grande avanço relacionado com as estações meteorológicas automáticas (qualidade, facilidade e custo), ainda existe grande potencial para sistemas mais simples, com base em dados de temperatura e precipitação.

Os valores das médias mensais das estimativas da ETo para a região de Goiânia, GO, obtidos pelo emprego dos modelos PM, FPN, FB-C, FRad, Harg e TCA, estão apresentado na Figura 1. Na referida figura pode-se observar comportamento sazonal semelhante

entre as metodologias avaliadas, o que mostra uma possível correlação entre os modelos. A verificação da correlação entre os modelos permite um ajuste local entre os demais modelos com o padrão PM. Verifica-se na referida figura uma tendência de superestimativa da ETo obtidas pelos modelos avaliados, em relação ao padrão PM, entre os meses de março a dezembro, e uma tendência de subestimativa entre os meses de janeiro e fevereiro. Nos meses de fevereiro e março os modelos de FB-C e TCA proporcionaram menores valores de ETo em relação ao padrão PM, sendo que, para os demais métodos houve uma superestimativa.

O modelo Harg superestimou a ETo durante todos os meses do ano, comportamento semelhante ao observado por Oliveira et al. (2001), Mudrik et al. (2002) e França Neto et al. (2003) ao compararem o modelo Harg com PM ao longo do ano, principalmente para períodos chuvosos, segundo afirmam Jensen, Burman e Allen (1990) e Amatya, Skaggs e Gregory (1995).

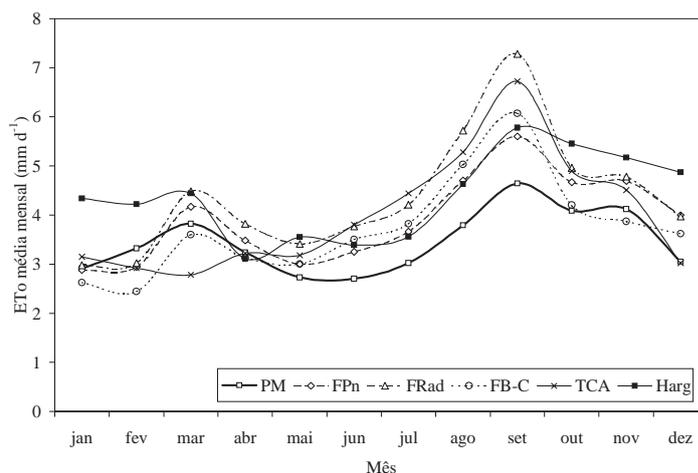


Figura 1. Comportamento da ETo média mensal para a região de Goiânia.

Na Tabela 3 estão apresentados os resumos das análises estatísticas dos modelos avaliados na estimativa da ETo, considerando os valores diários para todos os meses do ano, período seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março). Pela análise da percentagem relativa das estimativas de ETo com o modelo padrão (PM) verifica-se que, para valores do ano todo os modelos superestimaram a ETo, sendo o modelo FB-C o que mais se aproxima do padrão, concordando assim com os resultados obtidos por Lobato e Lobato (1979) e Bonomo (1999).

Para o período de abril a setembro, o modelo que apresentou menor relação percentual dos valores de ETo estimados pelo padrão PM, foi o modelo FPN, e para o

período de outubro a março a menor relação percentual foi obtida para o TCA. Pelos valores das relações percentuais apresentados na Tabela 3, verifica-se uma tendência de uma superestimativa dos valores de ETo, com exceção ao modelo FB-C para o período seco na região de Goiânia, GO.

Em relação ao erro-padrão de estimativa (SEE), que indica quão bem se adaptam os valores de ETo estimados pelos diferentes modelos em relação ao padrão (PM) sem calibração, verifica-se que, para todos os meses do ano, houve uma variação entre 0,6786 mm d⁻¹ a 1,5174 mm d⁻¹, correspondente aos modelos FPN e TCA, respectivamente. Para os períodos seco e chuvoso esta variação foi de 0,7017 mm d⁻¹ (FPN) a 1,5578 mm d⁻¹

(TCA) e $0,4655 \text{ mm d}^{-1}$ (FB-C) a $1,4804 \text{ mm d}^{-1}$ (Harg), respectivamente.

Com base no SEE, pode-se fazer uma prévia classificação dos modelos de estimativa da ETo, tomando-se o modelo PM como padrão. Para todos os meses do ano, a classificação em ordem decrescente dos modelos de estimativa da ETo, ficaria da seguinte forma: FPn, FB-C, Harg, FRad e TCA. Para o período seco, os modelos seriam assim classificados em relação ao SEE: FPn, Harg, FB-C, FRad e TCA, e para o período chuvoso: FB-C, FPn, FRad, TCA e Harg. Os resultados obtidos nesta análise, concordam em parte com os obtidos por Lobato e Lobato (1979), Bonomo (1999), Oliveira et al. (2001) e França Neto et al. (2003) que verificaram uma melhor correlação do modelo FRad com o PM em relação aos modelos de FB-C, Harg e TCA.

Avaliando as equações de regressão ajustadas (Tabela 3), verifica-se que, existe uma correlação entre os modelos avaliados com o padrão PM, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de F e que os coeficientes lineares (A) e angulares (B) das equações ajustadas se encontram dentro de um intervalo de confiança, no mesmo nível de significância pelo teste de t.

De um modo geral, os modelos FPn e FRad foram os que apresentaram as melhores correlações com coeficientes de determinação (r^2) superior a 0,80, o que se explica devido à própria formulação desses modelos, que apresentam exigências semelhantes ao padrão (PM), envolvendo o balanço de radiação, o qual segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) e Bonomo (1999) é responsável por 80% da ETo. Para todos os meses do ano e para os períodos seco e chuvoso, as estimativas de ETo pelo TCA apresentaram baixa correlação com o

padrão PM, com r^2 de 0,5458 e 0,1733, respectivamente, indicando que, as equações de determinação do coeficiente de tanque apresentam problemas quanto a sua utilização de forma generalizada e que o ideal seria o ajuste local de equações para a sua obtenção.

Analisando os valores de r^2 , observa-se na Tabela 3 que, o modelo de Harg apresentou baixos valores dos coeficientes de determinação quando se compara esse modelo com o padrão PM, considerando-se todos os meses do ano ($r^2 = 0,4725$) e no período chuvoso ($r^2 = 0,2877$). Este comportamento se deve ao fato de que, o modelo de Harg apresentar alta sensibilidade às variações da umidade relativa do ar, o que não se verificou no período chuvoso para região de Goiânia (Figura 2). Por outro lado, no período seco, verificou-se uma grande amplitude térmica, refletindo principalmente nos valores da umidade relativa do ar, proporcionando uma maior correlação do modelo de Harg com o padrão PM ($r^2 = 0,7507$).

Com relação ao modelo FB-C, verificou-se que, o mesmo apresentou uma boa correlação com o padrão PM, com valores de r^2 de 0,6919, 0,8398 e 0,8887, quando se avaliaram os valores diários da ETo para todos os meses do ano, período chuvoso e seco, respectivamente. Isto se deve ao fato do modelo de FB-C se basear na temperatura média do ar e da porcentagem diária média de horas anuais de brilho solar, que são medidas indiretas da radiação tratando-se de variáveis climáticas que sofrem pequenas alterações por serem dependentes da posição do local avaliado na superfície do globo terrestre, principalmente da latitude, comparadas com a umidade relativa.

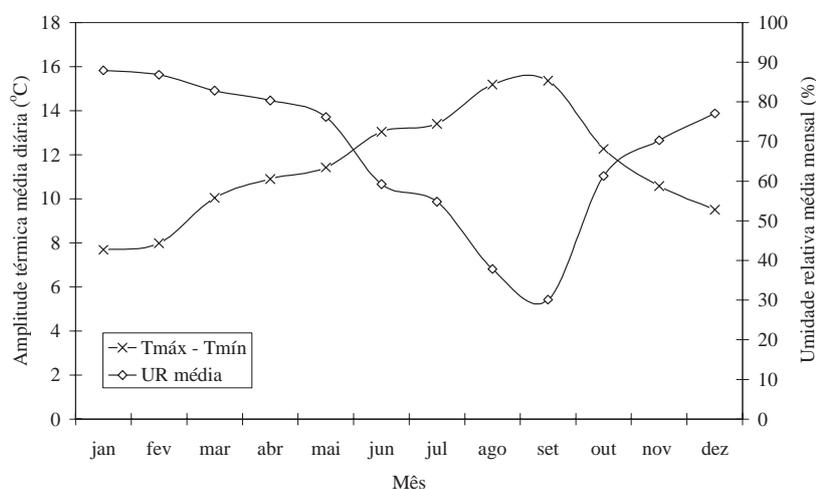


Figura 2. Amplitude térmica e umidade relativa média mensal para o ano de 2004 na região de Goiânia, GO.

Tabela 3. Evapotranspiração média diária, percentagem em relação ao modelo de Penman-Monteith, erro-padrão de estimativa em relação ao modelo-padrão, coeficientes da equação de regressão ajustada, coeficiente de determinação para a regressão, erro-padrão de estimação em relação à regressão e erro-padrão de estimação ponderado

Modelo	ETo	%	SEE	A	B	r ²	ASEE	SEEp
todos os meses do ano								
FPn	3,92	113	0,6786	0,6688*	0,8451*	0,9195*	0,2581	0,5398
FB-C	3,72	107	0,7647	0,5943*	1,2589*	0,6919*	0,5051	0,6790
FRad	4,34	125	1,2289	0,5153*	1,2328*	0,8165*	0,3897	0,9520
Harg	4,46	128	1,2244	0,6923*	0,3811*	0,4725*	0,6608	1,0384
TCA	4,07	117	1,5174	0,2864*	2,3039*	0,2582*	0,7837	1,2753
de abril a setembro								
FPn	3,95	118	0,7017	0,7163*	0,5210*	0,9483*	0,1842	0,5309
FB-C	4,09	122	0,9779	0,5783*	0,9814*	0,8398*	0,3244	0,7622
FRad	4,65	139	1,5370	0,4974*	1,0373*	0,8988*	0,2578	1,1149
Harg	4,17	124	0,9409	0,7651*	0,1596*	0,7507*	0,4047	0,7640
TCA	4,44	132	1,5578	0,3827*	1,6492*	0,5458*	0,5462	1,2240
de outubro a março								
FPn	3,90	109	0,6567	0,6455*	1,0725*	0,9403*	0,2412	0,5196
FB-C	3,34	93	0,4655	0,8092*	0,8829*	0,8887*	0,3292	0,4205
FRad	4,03	112	0,8153	0,6002*	1,1693*	0,9355*	0,2506	0,6290
Harg	4,75	132	1,4804	0,6711*	0,4002*	0,2877*	0,8330	1,2668
TCA	3,70	103	1,4563	0,2595*	2,6298*	0,1733*	0,8974	1,2719

* Significativo em nível de probabilidade de 5% de probabilidade pelo teste t

Segundo Bonomo (1999), quando os modelos apresentam baixos valores de r², indica a necessidade de ajuste regional. Portanto, para a utilização dos modelos avaliados na região de Goiânia, GO, verifica-se a necessidade de maiores ajustes nos modelos Harg e TCA e em menor grau no modelo FB-C, principalmente nas equações de correção local com as variáveis climáticas.

Comparando os erros padrões de estimativa (SEE) com os ajustados (ASEE), observa-se que em todos os modelos e períodos avaliados ocorre decréscimo nos desvios com o ajuste feito pela regressão, indicando que se pode obter melhoria de estimativa da ETo para todos os modelos por meio de uma calibração local. Dentre os cinco modelos avaliados, o modelo FPn, seguindo dos FRad e FB-C, apresentaram para todos os meses do ano e para os períodos seco e chuvoso, os menores desvios na estimativa da ETo quando correlacionado com o padrão PM, concordando assim com os resultados encontrados por Bonomo (1999) e Oliveira et al (2001).

Avaliando os valores de SEE_{ponderado}, pode-se classificar os modelos de estimativa de ETo quando comparados com o padrão PM, em ordem decrescente para todos os meses do ano da seguinte forma: FPn, FB-

C, FRad, Harg e TCA; para o período seco: FPn, FB-C, Harg, FRad, e TCA e para o período chuvoso: FB-C, FPn, FRad, Harg e TCA. Entretanto, não se justifica a utilização dos modelos FPn e Frad, considerando-se que os mesmos exigem praticamente quase todas as informações climáticas do padrão PM. Por outro lado, o modelo FB-C é uma boa alternativa prática quando se dispõe de poucos dados do clima, uma vez que exige basicamente medidas de temperatura média do ar.

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que, os modelos de estimativa da ETo avaliados superestimaram seu valor entre os mesmos de março a dezembro e subestimaram para os meses de janeiro e fevereiro. Pela análise comparativa entre os modelos de estimativa da ETo com o padrão PM, para a região de Goiânia, GO, pode-se classificá-los em ordem decrescente de prioridade da seguinte maneira: FPn, FB-C, FRad, Harg e TCA para todos os meses do ano; FPn, FB-C, Harg, FRad, e TCA para o período seco e FB-C, FPn, FRad, Harg e TCA para o período chuvoso. Para a utilização

dos modelos dos modelos Harg e TCA há a necessidade de um melhor ajuste local e em menor grau no modelo FB-C. O modelo FB-C apresenta uma boa alternativa

prática quando se dispõe basicamente da temperatura média do ar.

ABSTRACT: With the objective of comparing some models of estimate of ETo, for the region of Goiânia, GO, were appraised the models of Penman-Monteith (PM), Penman-FAO (FPn), Blaney-Criddle-FAO (FB-C), Radiation-FAO (FRad), Hargreaves-Samani (Harg) and Class A pan (TCA), assuming the model of Penman-Monteith as pattern. It was used in this study the daily climatological data collected in the climatological station of the center of research of EMBRAPA - – Arroz e Feijão and in the estimate of ETo the program REF-ET. For the comparative analysis among the models of estimate of ETo with the pattern PM, for the region of Goiânia, GO, can be classified them in decreasing order of priority in the following way: FPn, FB-C, FRad, Harg and TCA for the dry period: FPn, FB-C, Harg, FRad, and TCA and for the rainy period: FB-C, FPN, FRAD, HARG and TCA. The model FB-C presents a good practical alternative when it is had the medium temperature of the air basically.

UNITERMS: Penman-Monteith; Evapotranspiration; Savannah.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. **REF-ET Reference Evapotranspiration Software**. Kimberly: University of Idaho 2000. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

AMATYA, D. M.; SKAGGS, R. W.; GREGORY, J. D. Comparison of methods for estimating REF-ET. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 121, n. 6, p. 427-435, nov/dez, 1995.

ANTUNES, Rodrigo Corrêa Borges. **Determinação da evapotranspiração e influência da irrigação e da fertirrigação em componentes vegetativos, reprodutivos e nutricionais do café arábica**. 2000. 162 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

BERNARDO, Salassier. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BONOMO, Robson. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

FRANÇANETO, Adjalma Campos de F., MANTOVANI, Everardo Chartuni, SEDIYAMA, Gilberto Chohaku, LEAL, Brauliro, SIMÃO, Fúlvio Rodriguez, ZINATO, Cristiano Egnaldo. Comparação entre métodos simplificados de estimativa da ETo nas regiões do Triângulo Mineiro e do Oeste da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 6., 2003, Araguari MG. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. p. 102-106.

HATFIELD, J.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 5, p. 301-308, set/out, 1996.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332p. (Manuals and reports on engineering practice, 70).

LOBATO, O. J. M.; LOBATO, E. J. V. Considerações sobre a evapotranspiração potencial medida e calculada no município de Goiânia e circunvizinhos. **Anais da Escolas de Agronomia e Veterinária**, Goiânia, v.1, n. 2, p. 50-73, jan/dez, 1979.

MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Desarrollo y evaluacion de modelos para el manejo del riego: estimacion de la evapotranspiracion y efectos de la uniformidade de aplicacion del riego sobre la produccion de los cultivos**. 1993. 184 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de Córdoba, Córdoba, 1993.

MARIN, Fábio Ricardo. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003, 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

MUDRIK, Alexandre Silva; FACCIOLI, Gregório Guirado; SOUZA, Luís Otavio Carvalho de; MANTOVANI, Everardo Chartuni. Comparação da evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelos modelos teóricos de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, com uso do software SISDA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari MG. **Anais...**Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. p. 129-132.

OLIVEIRA, L. F. C. de, CARVALHO, D. F. de, ROMÃO, P. A., CORTÊS, F. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p.121-126, jul/dez, 2001. 95. 657 p.

PEREIRA, Antônio Roberto, VILLANOVA, Nilson, SEDIYAMA, Gilberto Chohaku. **Evapotranpiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

SMITH, M.; SEGEREN, A.; PEREIRA, L. S.; PERRIER, A., ALLEN, R. **Reporter in the expert consultation on procedures for revision of FAO guideline for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p.