

## **COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO) PARA**

*Wellington Farias Araújo*

Prof. Dr. Adjunto da UFRR/CCA.. E-mail: wfaraujo@oi.com.br

*Sônia Aparecida Antunes Costa*

Eng. Agrônoma, especialista em Recursos Naturais. E-mail: wfaraujo@oi.com.br

*Antonia Edilene dos Santos*

Eng. Agrônoma, Aluna do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (POSAGRO) da UFRR/Embrapa-Roraima.  
E-mail: wfaraujo@oi.com.br

**RESUMO** - O objetivo deste estudo foi estimar a evapotranspiração de referência mensal para Boa Vista, Capital do estado de Roraima, por diferentes métodos, a saber: Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Penman-Monteith FAO, Tanque Classe "A" e Makkink. O método de Penman-Monteith FAO foi adotado como padrão. O método de Blaney-Criddle estimou valores de evapotranspiração bastante similar ao padrão, apresentando satisfatória correlação. O método do tanque Classe "A" também apresentou bons ajustes, sendo uma boa alternativa para o manejo da irrigação na região.

## **COMPARISON OF ESTIMATION METHODS OF REFERENCE CROP EVAPOTRANSPIRATION (ETO) AT BOA VISTA, RR**

**ABSTRACT** - The aim of this research paper was to make a comparison between the reference values of crop evapotranspiration acquired through the FAO-modified Penman-Monteith and Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, the Class A pan and Makkink. Data was obtained from the meteorological station at Boa Vista, in the State of Roraima, Brazil. Results have shown that the methods of Blaney-Criddle tend to be well adjusted to the reference values of the crop evapotranspiration as to those obtained through the FAO-modified Penman-Monteith. The Class A pan showed good adjustments that can be a good alternative for irrigation management in this region.

**Key Words:** Roraima, water consumption, climatology, irrigation management.

### **INTRODUÇÃO**

A água é dos principais fatores de produção agrícola, sendo essencial para o desenvolvimento sustentável da atividade agrícola. Para o conhecimento do ciclo hidrológico de uma região, contabilizado pelo balanço hídrico, tem-se que proceder informações da cultura – profundidade das raízes, do solo – capacidade de armazenamento de água– e do clima, principalmente a precipitação (entrada de água) e a evapotranspiração (saída de água).

O termo "Evapotranspiração" foi utilizado por Thornthwaite no início da década de 40 do século passado, para expressar esta ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. O termo evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi definido por Doorenbos e Pruitt (1977) como

aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em ativo crescimento, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. Em 1990, pesquisadores de vários países, especialistas em agrometeorologia, concluíram que o conceito de ET<sub>o</sub> empregado apresentava problemas, sobretudo relacionados à variabilidade das culturas de referência atualmente em uso, levando a erros e à existência de dificuldades experimentais para contrastá-los. Assim, um novo conceito de ET<sub>o</sub> foi proposto; trata-se da evapotranspiração que ocorre sobre uma cultura hipotética com altura de 0,12m de resistência aerodinâmica da superfície de 70 sm<sup>-1</sup> e albedo de 0,23. Essa parametrização foi inculcida na equação de Penman-Monteith e apontada como padrão (ALLEN *et al.*, 1998).

Estimativas das necessidades hídricas pelas culturas são fundamentalmente importantes para o planejamento e manejo das áreas irrigadas. Assim, as informações sobre a ET<sub>o</sub>, que levam a

estimativas da evapotranspiração das culturas (Etc), tornam-se ferramentas importantes no manejo da irrigação. Segundo Pereira et al. (1997), a medida direta da evapotranspiração é onerosa e difícil. Os autores apontam vários métodos de estimativa aptos ao uso, dependendo dos dados climáticos disponíveis no local de estudo. Dessa forma, a estimativa da evapotranspiração pode variar com a precisão dos dados obtidos, tamanho da série histórica e o método de estimativa utilizado, podendo influenciar na eficiência do sistema de irrigação, em razão do dimensionamento inadequado desse sistema.

Diversos pesquisadores em todo o mundo propuseram modelos indiretos para a estimativa da ETo, com as mais diferentes concepções e número de variáveis envolvidas. Antes de se eleger o modelo a ser utilizado para a estimativa da ETo, é necessário saber quais os elementos climáticos disponíveis; a partir daí, verifica-se quais podem ser aplicados, uma vez que a utilização dos diferentes métodos para certo local de interesse fica na dependência dessas variáveis.

Os dados climáticos requeridos pelos vários métodos diferem entre si e não estão plenamente disponíveis. Frequentemente, dispõe-se apenas de valores de temperatura para a estimativa da evapotranspiração. Em Roraima, há carência de dados meteorológicos e a estação ligada ao INMET no estado encontra-se com vários equipamentos quebrados, resultando em uma série histórica incompleta. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi comparar os valores de ETo mensais para a cidade de Boa Vista obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO, considerado-o como padrão, com os obtidos pelos métodos de Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Penman-Monteith, Tanque Classe “A” e Makkink, com o intuito de apontar métodos apropriados na estimativa de ETo e que necessitem para tal de um menor número de variáveis climáticas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado com o auxílio dos dados meteorológicos coletados na cidade de Boa Vista, capital do estado de Roraima, cujas coordenadas de referências são: 02°49’11” N, 60°40’24”W Grw. e 90m de altitude.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw ( BARBOSA, 1997).

Inicialmente, as variáveis climáticas ( temperatura máxima e mínima do ar, umidade do ar, velocidade do vento, evaporação do tanque Classe A) foram tabuladas e os dados submetidos a

análise estatística descritiva para determinação da média, valores máximos e mínimos. Os dados foram conseguidos junto à Estação Meteorológica de Boa Vista e ao Aeroporto Internacional de Boa Vista. Os valores de temperatura do ar, velocidade dos ventos, e umidade relativa do ar envolveram 10 anos de coletas, enquanto os valores de evaporação do Tanque classe “A” obtidos compreendeu 17 anos, e a insolação, 14 anos. O período em questão abrange os anos de 1972 a 2002, embora haja falhas dentro dessa série histórica.

De posse dos valores médios das variáveis climáticas, a evapotranspiração de referência mensal foi estimada pelos métodos do Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Penman-Monteith-FAO, Tanque Classe “A” e Makkink, de acordo com a Tabela 1, utilizando-se o programa computacional em ambiente Excel para Windows, denominado hídrico V.3.2-2002 (D’ ANGIOLELLA ; VASCONCELLOS, 2002).

A estimativa da evapotranspiração de referência utilizando o método de Penman-Monteith-FAO foi realizada para o período mensal por meio da equação escrita conforme Allen *et al.* (1998).

O saldo de radiação (Rn) foi calculado de acordo com a proposta de Allen *et al.* (1998), sendo descrito como a diferença entre a radiação de ondas curtas e a radiação de ondas longas, a partir da estimativa da radiação solar pela equação de Angström, adotando os coeficientes a e b de 0,25 e 0,50 respectivamente, e um albedo de 0,23.

O valor da constante psicrométrica média determinada foi de 0.0668 kPa, em função da altitude local e o fluxo de calor no solo (G) foram determinados, conforme descrito por Allen *et al.* (1998).

A estimativa da evapotranspiração mensal utilizando os métodos de Thornthwaite, Hargreaves-Samani e Makkink foi realizada por meio das equações descritas conforme Pereira *et al.* (1997).

A equação utilizada para o método de Blaney-Criddle foi descrita conforme Doorenbos e Pruitt (1977).

A evapotranspiração de referência estimada pelo método do Tanque Classe A foi realizada a partir da evaporação da água ocorrida no Tanque Classe A, cuja evaporação (ECA) foi convertida em lâmina evapotranspirada por meio da equação:

$$Eto = Kp(ECA)$$

em que: Eto= evapotranspiração de referên-

cia., mm;

$ECA$  = evaporação no Tanque Classe A, mm;

$K_p$  = coeficiente do tanque, (adimensional).

Os valores dos coeficientes do tanque ( $K_p$ ) foram obtidos utilizando-se a equação de regressão derivada de Doorenbos e Pruitt (1977), conforme descrito por Allen *et al.* (1998), para uma condição local de área cultivada com vegetação de pequeno porte e bordadura de cinco metros.

Posteriormente, cada valor de  $E_{To}$  foi correlacionado com o valor correspondente ao período estimado pelo método Penman-Monteith FAO, considerado padrão, obtendo-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), de precisão ( $r$ ) e de confiança ( $c$ ). Os valores de coeficientes de correlação

se que a média mensal anual pelo método de Penman-Monteith FAO, considerado padrão, apresentou valor médio de 127mm, sendo o mês de março o de maior valor, 152mm, enquanto o mês de junho, o menor valor, 99,6mm. Para os outros métodos, o maior valor foi obtido pelo método de Thornthwaite, 185,9mm para o mês de outubro; enquanto, o menor, 61,6mm, foi observado no mês de junho pelo método do tanque Classe A. É interessante notar que os valores mínimos de  $E_{To}$ , independente do método utilizado, foram observados no mês de junho, enquanto os valores máximo de  $E_{To}$  variaram, sendo observado no mês de outubro para os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani, e em março para os demais

**Tabela 1.** Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação ( $r$ )

Coeficiente de correlação ( $r$ )	Classificação
0,0-0,1	Muito baixa
0,1-0,3	Baixa
0,3-0,5	Moderada
0,5-0,7	Alta
0,7-0,9	Muito alta
0,9-1,0	Quase perfeita

encontrados foram classificados, seguindo a metodologia de Hopkins (2000) (Tabela 1).

Posteriormente, prosseguiu-se com as análises, com o cálculo do índice de confiança (resultado do produto entre coeficiente de precisão e o índice de concordância de Willmont) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), cujos crité-

métodos. Isso se deve a elevada temperatura, base de cálculo dos métodos Thornthwaite e Hargreaves-Samani, observada no mês de outubro.

Os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani superestimaram o método de Penman-Monteith, enquanto o método de Makkink subestimou o método padrão em todos os meses do

**Tabela 2.** Critérios de interpretação do índice de desempenho “c” dos métodos de estimativa da  $E_{To}$ .

Índice de Desempenho “c”	Classificação
> 0,85	Ótimo
0,76 - 0,85	Muito Bom
0,66 - 0,75	Bom
0,61 - 0,65	Mediano
0,51 - 0,60	Sofrível
0,41 - 0,50	Mal
< = 0,40	Péssimo

rios de interpretação estão apresentados na Tabela 2.

Todos os cálculos estatísticos foram realizados com o auxílio do software Microsoft Office Excel.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta as médias mensais da  $E_{To}$  estimados por diferentes métodos. Verifica-

ano. O Tanque Classe A apresentou valores similares ao método padrão durante o período seco e valores inferiores, durante o período chuvoso que, segundo Araújo *et al.* (2001), tem início em abril e término em setembro (Figura 1). Resultados semelhantes foram obtidos por D'Angiolella.; Vasconcelos (2002), para a região do Distrito Federal, onde o método de Hargreaves-Samani superestimou, enquanto o método de

**Tabela 3.** Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) mensal, mm, para o município de Boa Vista, calculada por diversos métodos.

	Penman-Monteith	Thornthwaite	Hargreaves-Samani	Blaney-Criddle	Tanque Classe A	Makkink
Jan	140,2	159,5	144,2	141,2	147,3	102,7
Fev	138,0	151,3	139,5	134,5	144,4	99,0
Mar	152,0	178,5	158,9	142,8	155,6	106,4
Abr	130,9	161,5	145,6	129,1	119,6	97,9
Mai	116,4	146,6	132,5	118,8	82,9	95,0
Jun	99,6	123,4	118,7	103,0	61,6	95,3
Jul	104,3	131,5	128,8	111,5	62,4	92,6
Ago	111,6	148,3	142,5	115,8	77,6	97,1
Set	126,4	165,8	149,5	128,6	100,0	99,5
Out	137,7	185,9	159,7	131,7	117,2	101,9
Nov	130,9	181,6	150,0	128,7	132,8	95,9
Dez	141,2	161,7	140,9	140,5	122,6	99,4
MÉDIA	127,5	158,0	142,6	127,2	110,3	97,7

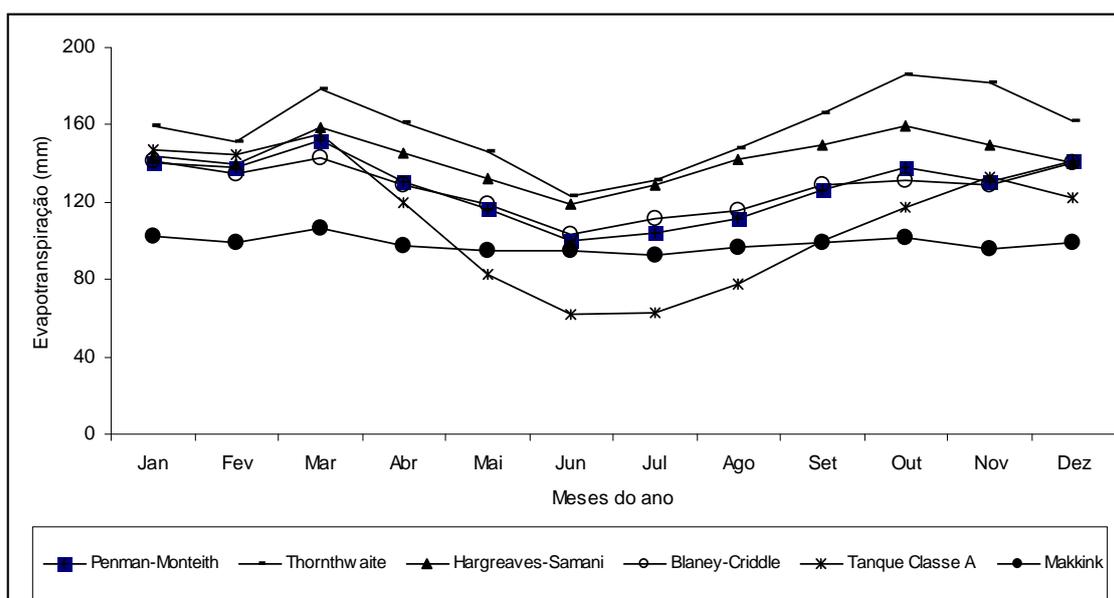
Makkink subestimou os valores de ET<sub>o</sub> quando comparados ao método padrão.

De acordo com os resultados da Tabela 4 pode-se verificar que das equações analisadas, somente as de Blaney-Criddle e a do Tanque Classe A apresentaram índices de desempenho satisfatórios para estimar a ET<sub>o</sub>. Os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani superestimaram o método padrão. Ambos os métodos têm a vantagem de serem simples e de fácil aplicação, por necessitar apenas de dados de temperatura e latitude. Resultados semelhantes foram verificados

por CARVALHO *et al.* (2006), que testaram vários métodos de evapotranspiração para a região de Seropédica (RJ) e apontaram o Tanque Classe A como de ótimo desempenho e o método de Hargreaves-Samani como sofrível.

### CONCLUSÕES

Os métodos de Blaney-Criddle e do Tanque Classe A atendem satisfatoriamente à estimativa da ET<sub>o</sub> na região de Boa Vista, RR, para o período mensal.



**Figura 1.** Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) mensal para Boa Vista, RR, por diferentes métodos.

**Tabela 4.** Resultados das análises de correlação, de desempenho e regressão entre a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) estimada, com a equação de Penman-Monteith-FAO e as equações de Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Tanque Classe “A” e Makkink.

Variável dependente (x)	Equação	R <sup>2</sup>	r	d	C (classificação)
Thornthwaite	ET <sub>o</sub> = 0,948x + 37,166	0,645	0,803	0,56	0,45 (mal)
Hargreaves-Samani	ET <sub>o</sub> = 0,5786x +68,834	0,622	0,789	0,57	0,57 (sofrível)
Blaney-Criddle	ET <sub>o</sub> = 0,7598x +30,359	0,961	0,980	0,92	0,92 (Ótimo)
Tanque Classe A	ET <sub>o</sub> = 1,9407x -136,97	0,906	0,952	0,79	0,79 (Muito bom)
Makkink	ET <sub>o</sub> = 0,1994x +73,143	0,716	0,846	0,17	0,17 (Péssimo)

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição dos colegas na concessão dos dados climáticos da Estação Meteorológica de Boa Vista e dos coletados junto ao Aeroporto Internacional de Boa Vista.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAÚJO, W.F.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MEDEIROS, R.D.; SAMPAIO, R.A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p. 563-567, 2001.

BARBOSA, R.I. **Distribuição das chuvas em Roraima**. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.; CASTÉLLON, E.G. Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Manaus, INPA, 1997, 612p.

CAMARGO, A.P. ; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.2, n.59, p. 125-137, 2000.

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, RS, v. 5, n.1, p. 89-97. 1997.

CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V. COSTA, J.R., CRUZ, F.A.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica – RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 14, n.2, p. 187-195. 2006.

D`ANGIOLELLA, G.L.B.; VASCONCELOS, V.L.D. Cálculo do balanço hídrico climático com diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, em planilhas Excel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu. PR. **Anais...Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, 2002. CD-Rom.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144p. FAO (Irrigation and Drainage Paper 24)

HOPKINS, W. G. Correlation Coefficient. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso: 12 mar. 2007.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. 1.ed. Piracicaba.