

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA UTILIZANDO DIFERENTES METODOLOGIAS PARA O CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

B. M. de Azevedo¹, R. L. M. Borges², D. de G. Nepomuceno³,
R. R. Crisóstomo Jr⁴, T. V. de A. Viana⁵, C. N. V. Fernandes³,

RESUMO: Trata-se de um estudo da estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) com a equação de Penman-Monteith/FAO, fazendo-se uso de diferentes maneiras de obtenção do saldo de radiação solar. Os dados utilizados compreenderam o período de janeiro a dezembro de 2002, e foram obtidos em uma estação meteorológica automatizada, localizada no município de Paraipaba, estado do Ceará (latitude de 3°26' S, longitude de 39°08' W e altitude de 31m). No cálculo, para obtenção do saldo de radiação solar diário, utilizaram-se as equações de radiação global propostas pela FAO-Allen et al. 1998 (método 1), coeficientes de Aguiar et al. 1999 (método 2), coeficientes de Glover & McCulloch (método 3) e por Black (método 4). O cálculo de ET_o com a estimativa do saldo de radiação utilizando os coeficientes da equação de Angstrom propostos por Aguiar et al. 1999 foi o que apresentou a maior correlação com a metodologia proposta pela FAO.

PALAVRAS-CHAVE: Penman-Monteith, ET_o, saldo de radiação

EVAPOTRANSPIRATION OF REFERENCE USING DIFFERENT METHODOLOGIES OF CALCULATION OF THE BALANCE OF SOLAR RADIATION

ABSTRACT: This is a study about the estimate of the evapotranspiration of reference (ET_o) through the Penman-Monteith/FAO equation, with different balance solar radiation methods. The data utilized comprehends the period from January to December 2002, obtained in an automated meteorological station, located in the city of Paraipaba, state of Ceará, Brazil (3°26'S, 39°08'W and 31 m). For the calculation to obtain the daily balance of solar radiation, the equations of global radiation proposed by FAO (method 1), by Aguiar et al. 1999 (method 2), by Glover & McCulloch (method 3) and by Black (method 4) were used. The results show

¹ Professor Associado da UFC, Doutor em Irrigação e Drenagem, Av. Mister Hull, 2977 CEP.: 60356-000 – Fortaleza, CE, Telefone: (85) 4008.9754 – Fax(85) 40089755, Celular(85) 91312930, e-mail: benitoazevedo@hotmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação e Drenagem – UFC, Fortaleza, CE.

³ Aluno da Graduação, Agronomia-UFC, Fortaleza, CE.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem – UFC, Fortaleza, CE.

⁵ Professor Adjunto da UFC, Doutor em Irrigação e Drenagem, Fortaleza, CE.

that for the estimate of the evapotranspiration of reference with the Penman-Monteith/FAO methodology in the estimate of the balance of radiation, influenced by the equations of global solar radiation presented, the method of Aguiar et al. 1999 has presented itself as the best methodology when compared to the FAO method.

KEYWORDS: Penman-Monteith, ETo, net radiation

INTRODUÇÃO

O manejo eficiente da irrigação resulta no uso racional do recurso água, visando a otimização da produtividade e minimizando o impacto ambiental. Desta maneira, os sistemas de irrigação devem ser dimensionados para satisfazer, no período de maior demanda, a evapotranspiração das culturas (VERMEIREN, 1997). Esta quantidade de água requerida é estimada em função da evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente da cultura (Kc), indicativo da necessidade de água, em cada estágio de desenvolvimento das plantas (DOORENBOS & PRUITT, 1986; ALLEN et al., 1998). Segundo SEDIYAMA et al. (1996), o modelo de Penman-Monteith-FAO é atualmente o mais empregado para a estimativa da ETo.

Dentre estas variáveis, pode-se destacar, como a mais importante, o saldo de radiação solar, pois além de determinar a quantidade de energia disponível para realização deste processo é responsável pelo aquecimento do ar e do solo e pela fotossíntese.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a estimativa da radiação solar global, para ser utilizado na estimativa da evapotranspiração de referência através da equação de Penman-Monteith-FAO.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados coletados na Estação Experimental do Centro Nacional de Pesquisa em Agroindústria Tropical, pertencente à EMBRAPA, localizado no Vale do Curu, município de Paraipaba, na região litorânea do estado do Ceará, com coordenadas geográficas 3°26' de latitude sul e 39°08' de longitude oeste e altitude de 31m.

Os dados climáticos foram coletados na estação meteorológica automática durante o período de janeiro a dezembro de 2002. As variáveis meteorológicas foram armazenadas por um datalogger, programado para realizar as leituras dos sensores a cada minuto, com registros das médias ou totais a cada 60 minutos, ou seja, no final do dia obtinham-se 24 leituras para cada variável. No intervalo de até 10 dias, os dados eram coletados da estação e transferidos, com um módulo de armazenamento, para um microcomputador fazendo-se uso de software

apropriado, onde foram convertidos em planilha eletrônica. Após a formatação destes dados, foi realizada uma análise de consistência dos valores obtidos, a fim de se identificar possíveis erros no registro dos mesmos, digitação, ausência registros ou valores nulos. A partir desses dados, foi estimada a R_G através das seguintes metodologias:

Método 01 Penman-Monteith-FAO Pereira et al.(1997) será considerado valores padrão, e os valores obtidos a partir da estação meteorológica automática, tomando-se como média os valores diários e mensais.

Método 02 (FAO – ALLEN et al. (1998)):

$$R_{G1} = R_0 \cdot \left(0,25 + 0,50 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (01)$$

Método 03 (Angström com coeficientes propostos por AGUIAR et al. (1999)):

$$R_{G2} = R_0 \cdot \left(0,2608 + 0,3092 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (02)$$

Método 04 (Angström com coeficientes propostos por GLOVER & MCCULLOCH TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L.):

$$R_{G3} = R_0 \cdot \left(0,29 \cdot \cos \theta + 0,52 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (03)$$

Método 05 (Black):

$$R_{G4} = R_0 \cdot (0,803 - 0,340 \cdot C - 0,458 \cdot C^2) \quad (04)$$

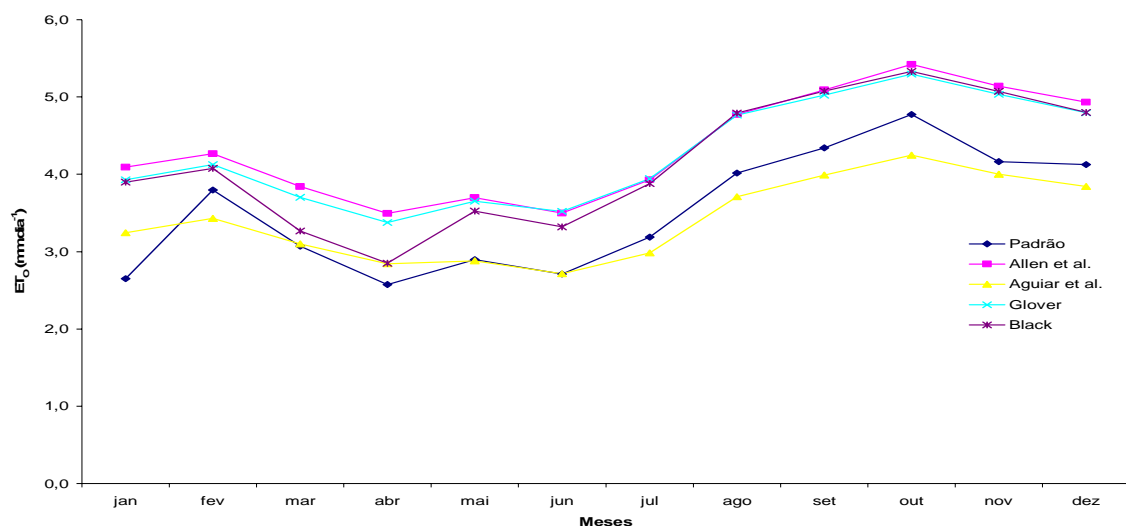
Em que: R_G é a Radiação Solar Global; n é a duração do brilho solar ou insolação diária (h); N é a duração máxima possível do brilho solar (h); R_0 é a radiação extraterrestre; C é a nebulosidade média diária.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando-se a estimativa da evapotranspiração de referência utilizando-se como padrão a radiação solar global registrada pela estação meteorológica automática, com as equações propostas por Allen et al., por Angström e coeficientes de Aguiar (1999) et al., por Angström e coeficientes de Glover & McCulloch e por Black, foram obtidos resultados apresentados na Figura 01.

O mês de maior demanda hídrica, no período estudado, foi o de outubro, quando foi obtido um valor de $4,77 \text{ mm.dia}^{-1}$ para a ETo com a metodologia de Penman-Monteith, empregando-se os valores das variáveis meteorológicas registradas na estação automática,

considerada como padrão. Esse mês também se apresentou como o de maior demanda hídrica, observando-se os resultados obtidos com as outras quatro metodologias estudadas (Figura 01). Os valores de ETo obtidos com a metodologia de cálculo da radiação global proposta por Angström e coeficientes por Aguiar et al. 1999 apresentaram uma subestimativa, quando comparados aos valores obtidos com a metodologia padrão, em relação aos meses de julho a dezembro, meses da estação seca. E as metodologias propostas por Allen et al., por Angström



e coeficientes de Glover & McCulloch e por Black, superestimaram a equação padrão durante todo o ano de 2002, tanto nos valores médios como nos diários.

Figura 1 - Evapotranspiração de referência estimada com a equação de Penman-Monteith e saldo de radiação solar global obtida em estação meteorológica automática e com as metodologias propostas por Allen et al., Angström (Aguiar et al, 1999) Angström (Glover & McCulloch) e Black, no município de Paraipaba-CE, no ano de 2002.

Na Tabela 1 podem-se observar os resultados da comparação estatística, pela regressão linear, entre os valores de ETo obtidos por meio das diferentes metodologias de estimativa de radiação solar global com a metodologia padrão, verificou-se que os coeficientes de determinação (R^2) não foram satisfatórios, quando essa comparação foi realizada na escala diária. Sendo 0,2331 para metodologia proposta por Allen et al., 0,3704 para metodologia proposta por Angström (Aguiar et al. 1999), 0,2910 para metodologia proposta por Angström (Glover & McCulloch) e 0,1578 para metodologia proposta por Black. Mostrou-se nas análises de regressão linear que não houve uma boa correlação, entre a comparação dos dados da equação padrão com restante das equações.

Diferentemente de quando se utilizam às médias diárias, os resultados da regressão linear para valores médios mensais de ETo resultaram em bons coeficientes de determinação

(R²), mostrando mais consistência no uso das equações para cálculos mensais de radiação e evapotranspiração. Sendo 0,9087 para metodologia proposta por Allen et al, 0,8991 para a metodologia proposta por Angström (Aguiar et al. 1999), 0,9177 para a metodologia proposta por Angström (Glover & McCulloch) e 0,8775 para metodologia proposta por Black. Mostrando que existe uma maior correlação entre os dados diários que as médias mensais.

Tabela 1 - Coeficientes de determinação (R²) resultados das comparações estatísticas das médias mensais e diárias de valores de ETo obtidos por meio das diferentes metodologias de cálculo da radiação solar global.

Variáveis	R ²	
	Diária	Mensal
ETo _{PADRÃO} x ETo _{ALLEN}	0,2331	0,9087
ETo _{PADRÃO} x ETo _{AGUIAR}	0,3704	0,8991
ETo _{PADRÃO} x ETo _{GLOVER}	0,2910	0,9177
ETo _{PADRÃO} x ETo _{BLACK}	0,1578	0,8775

Segundo SAMPAIO (1998), a ocorrência de um coeficiente de determinação (R²) reduzido faz com que as estimativas propostas não sejam confiáveis, seja pela instabilidade da variável estudada ou simplesmente pelo fato do modelo testado não está adequado à dispersão dos resultados observados.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, pode-se observar que houve diferença estatística entre as equações estudadas para a estimativa da evapotranspiração de referencia. Sendo que a única equação de cálculo da radiação solar global, que diferiu da calculada pela estação automática de Paraipaba foi à proposta por ALLEN et al., o restante dos valores médios das equações não diferiram estatisticamente. Podendo ser utilizados como método alternativo de cálculo de radiação solar, para a região estudada. A equação proposta por ALLEN et al. (1998), teve um bom coeficiente de determinação mensal, mas não deve ser utilizada como a única fórmula de cálculo da radiação solar global. Possivelmente por causa de os índices usados nessa equação não serem apropriados para a região de Paraipaba.

Tabela 2 – Médias anuais de Evapotranspiração de referência (ETo), obtidas por meio das diferentes metodologias de cálculo da radiação solar global.

Equações utilizando radiação solar	Evapotranspiração (mm.dia ⁻¹)
ETo _{Padrão}	3,53 bc
ETo _{Allen}	4,35 a
ETo _{Aguiar}	3,41 c
ETo _{Glover}	4,26 ab
ETo _{Black}	4,17 abc
D.M.S. (5%)	0,81

Médias seguidas por letra igual não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

CONCLUSÕES

O manejo da irrigação por meio da utilização da evapotranspiração de referência na escala diária deve, preferencialmente, utilizar a metodologia padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, J. V., ARAÚJO, E. C. B., CRISÓSTOMO, R. R., NOGUEIRA, S. M. Estimativa da radiação solar a partir da insolação, na região metropolitana de Fortaleza In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais ...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. v. 1. p. 294-294.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 290p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BLACK, T. A. & MAC NAUGHTON, K. G. Average Bowen – ratio methods of calculating evapotranspiration applied to a Douglas fir forest. *Boundary Layer Meteorol.*, Dordrecht, Holland, 2 (4): 446-75, June, 1972. Apud *Met. Geostrophys. Abstr.*, Lancaster, P.A. 24(3): 561, mar. 1973
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Tradução H. R. Gheyi, J. E. C. Metri, F. A. Damasceno. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204p., il. Título original: *Crop water requirements*. (Estudos FAO; Irrigação e Drenagem, 24).
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 183p.,
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1.ed., 7.r. São Paulo: Nobel, 1992. 374p.
- SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 1998. 221p. il.
- SEDIYAMA, G. C.; MELO, J. S. P.; ALVES, A. R.; COELHO, D. T. Determinação dos parâmetros da distribuição de grama, em função das alturas mensais de precipitação dos dias chuvosos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 274, p. 254-266, 1996.