

INFLUÊNCIA DA METODOLOGIA DE CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Benito Moreira de Azevedoⁱ, Ronaldo Lima Moreira Borgesⁱⁱ, Carlos Newdmar Vieira Fernandesⁱⁱⁱ, Débora Andréa Evangelista Façanha^{iv}, Thales Vinícius de Araújo Viana^v

¹Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza – CE, Fone (85) 3366 9757 benitoazevedo@hotmail.com

²Mestre em Agronomia, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará/UFC, Fortaleza – CE - rimborges@terra.com.br.

³Mestrando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará/UFC, Fortaleza – CE - newdmar@yahoo.com.br

⁴ Doutora em Zootecnia, Professora do Departamento de Ciências Animais da Universidade Federal Rural do Semi Árido, UFRSA, Mossoró-RN - debora@ufersa.edu.br.

⁵ Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza - CE, thales@ufc.br

1 RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo sobre a estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith/FAO, fazendo-se uso de quatro equações de estimativa nos cálculos médios diários 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 proposta por quatro métodos objetivando avaliar qual o melhor para ser utilizado na estimativa da evapotranspiração de referência através da equação de Penman-Monteith-FAO. Os resultados mostram que todas as metodologias apresentaram R^2 muito baixos, entre 0,16 e 0,38 em relação à E_{To} (FAO), sendo o método de Águiar et al. o melhor.

Palavras-chave: Penman-Monteith, E_{To} , saldo de radiação

INFLUENCE OF ESTIMATION METHOD OF GLOBAL SOLAR RADIATION IN REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

2 ABSTRACT

This study aims to estimate reference evapotranspiration from Penman-Monteith/FAO equation, using four equations to calculate the solar radiation average daily balance. The data used was from January to December 2002 and were obtained from an automated weather station located in Paraipaba, State of Ceará (altitude 3° 26'S, 39° 08'W longitude and altitude of 31m). In the calculation, to obtain the balance of daily solar radiation, we used the equations of global radiation by four methods to evaluate which was the best to be used in reference evapotranspiration by Penman-Monteith equation, FAO. The results show that all methods presented very low R^2 between 0.16 and 0.38 relative to E_{To} (FAO), and the method of Aguiar et al. was the best.

KEYWORDS: Penman-Monteith, ETo, net radiation

3 INTRODUÇÃO

Para as regiões semiáridas brasileiras, a prática da irrigação é considerada como necessária, uma vez que, corretamente manejada, é capaz de maximizar a produção agrícola, além de possibilitar um aproveitamento racional dos recursos hídricos. Para manejá-la corretamente é de fundamental importância saber, de maneira precisa, a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para atender as necessidades hídricas das culturas, evitando uma sub ou superutilização desse bem (água), o que acabaria por acarretar problemas diversos (Bomfim et al., 2004). O conhecimento da quantidade de água a ser aplicada via irrigação tem como principal parâmetro a evapotranspiração das culturas (ETc), que pode ser estimada em função da evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente da cultura (Kc) que é um indicativo da necessidade de água em cada estágio de desenvolvimento (Doorenbos & Pruitt, 1997; Allen et al., 1998; Bernardo et al., 2006).

O processo de evapotranspiração é afetado por diversos fatores, sendo esses divididos em fatores meteorológicos, da planta e do solo. Para Azevedo (1999), os fatores meteorológicos que mais influenciam o processo de evapotranspiração são o balanço de energia, a tensão de vapor d'água na superfície evaporante, a temperatura do ar e o vento. Segundo Reichardt (1990), a evapotranspiração é controlada principalmente pela energia disponível para o processo de evaporação da água, assim, não havendo impedimento de água disponível no solo, a evapotranspiração é diretamente proporcional a energia disponível.

Chang (1971 apud Viana & Azevedo, 2005, p. 159) relacionou os níveis de importância dos fatores meteorológicos para a evapotranspiração como: 80% para o saldo de radiação; 14% para a advecção e 6% para a umidade relativa e temperatura do ar.

Devido à grande diversidade dos fatores que influenciam o processo de evapotranspiração, é de grande importância que a sua estimativa seja feita de maneira precisa (Bomfim et al., 2004).

Segundo Sedyama et al. (1996), o modelo de Penman-Monteith-FAO é atualmente o mais empregado para a estimativa da ETo. Doorenbos & Pruitt (1997) afirmam que esse é o melhor método para a estimativa da evapotranspiração. Na revisão dos métodos de estimativa da ETo por consultores da FAO, em 1990, concluiu-se que a metodologia de Penman-Monteith pode ser utilizada como padrão, uma vez que esta é baseada em processos físicos incorporando parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos (Allen et al., 1998).

O uso de estações meteorológicas automáticas possibilita uma melhor estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO, uma vez que permitem a determinação das variáveis meteorológicas em pequenos intervalos de tempo. 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. No entanto, na maioria das vezes, o agricultor não dispõe de dados gerados em estações automatizadas, tendo que buscar alternativas para obtenção dessa variável. Existem na literatura diferentes métodos de cálculo do saldo de radiação solar global, o que muitas vezes, se torna duvidoso qual o mais próximo da realidade, sendo o mais confiável para ser usado no cálculo da evapotranspiração (Sedyama et al., 1996).

Assim esse trabalho teve como objetivo avaliar qual o melhor método de estimativa da radiação solar global para ser utilizado na estimativa da evapotranspiração de referência através da equação de Penman-Monteith-FAO.

4 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'S de latitude e 39°08'W de longitude e altitude de 31 m.

O clima da microrregião de Paraipaba no Vale do Curu, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw', caracterizando-se como clima tropical chuvoso, com temperatura média do mês mais frio maior ou igual a 18 °C e precipitação do mês mais seco inferior a 30 mm, onde a época mais seca ocorre no inverno e o máximo de chuvas ocorre no outono (Aguiar et al., 2003).

Os dados climáticos foram coletados na estação meteorológica automática (marca Campbell Scientific), durante o período de janeiro a dezembro de 2002. A variável meteorológica utilizada foi a radiação solar global (R_G).

Os dados foram armazenados por um datalogger (Campbell Scientific, modelo 21X), 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 (Campbell Scientific), para um microcomputador, fazendo-se uso do software PC208W, onde foram convertidos em planilha eletrônica MS Excel, versão 2002. Após a formatação destes dados, foi realizada uma análise de consistência dos valores obtidos, a fim de se identificar possíveis erros no registro devido a digitação, ausência de registros ou valores nulos.

Para a estimativa da radiação solar no topo da atmosfera (R_0), utilizou-se a equação 01, (Allen et al., 1998):

$$R_0 = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} \cdot G_{CS} \cdot d_R \cdot (H \cdot \text{sen}\theta \cdot \text{sen}\delta + \text{cos}\theta \cdot \text{cos}\delta \cdot \text{sen}H) \quad (01)$$

composta das seguintes variáveis: dia juliano (J); inverso da distância relativa da terra ao sol (d_R); declinação solar (δ) e ângulo horário do pôr ou do nascer do sol (H).

O ângulo horário do pôr ou nascer do sol (radianos) foi calculado pela equação 02, (Allen et al., 1998):

$$H = \arccos \cdot [1 - (\tan\theta \cdot \tan\delta)] \quad (02)$$

Para o cálculo do inverso da distância relativa da terra ao sol e da declinação solar, utilizou-se as equações 03 e 04 respectivamente, (Allen et al., 1998):

$$d_R = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J\right) \quad (03)$$

$$\delta = 0,4093 \cdot \text{sen} \left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J - 1,405 \right) \quad (04)$$

Onde:

J é o dia Juliano.

Como as variáveis utilizadas são comuns nas diferentes metodologias de cálculo da evapotranspiração de referência para metodologia de Penman-Monteith (ET_{OPM}), o valor de R_0 será o mesmo para todas as equações propostas.

As equações propostas para cálculo da R_G têm como variáveis a duração do brilho solar (n) e a duração máxima possível do brilho solar (N). No entanto, na estação meteorológica automática em que foram coletados os dados, não existe equipamento capaz mensurar a variável (n), sendo assim, utilizaram-se os valores de insolação diária obtidas em estação convencional medidas com o equipamento do heliógrafo, localizada à cerca de 250 m da estação automática.

Na estimativa da duração máxima do brilho solar (N), utilizou-se a equação 05, (Allen et al., 1998):

$$N = \frac{24}{\pi} \cdot H \quad (05)$$

Onde:

H é o ângulo horário do nascer ou pôr do sol (rad).

A partir desses dados, foi estimada a R_G através das seguintes metodologias:

Método 01: Padrão.

Valores obtidos a partir da estação meteorológica automática, tomando-se como média os valores diários e mensais do período de janeiro a dezembro de 2002.

Método 02 (M2): FAO – (Allen et al., 1998).

$$R_{G1} = R_0 \cdot \left(0,25 + 0,50 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (06)$$

Método 03 (M3): Angström com os valores dos coeficientes “a” e “b” propostos para o município de Fortaleza, Ceará, por Aguiar et al. (1999).

$$R_{G2} = R_0 \cdot \left(0,26 + 0,31 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (07)$$

Método 04 (M4): Angström com os valores dos coeficientes “a” e “b” propostos por Glover & McCulloch (1958), não parametrizada para região específica.

$$R_{G3} = R_0 \cdot \left(0,29 \cdot \cos \theta + 0,52 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (08)$$

Método 05 (M5): Black, não parametrizada para uma região específica, (Tubelis & Nascimento, 1992).

$$R_{G4} = R_0 \cdot (0,803 - 0,340 \cdot C - 0,458 \cdot C^2) \quad (09)$$

Para a estimativa do saldo de radiação de ondas curtas, utilizou-se a seguinte equação:

$$R_{NS} = (1 - \alpha) \cdot R_G \quad (10)$$

Onde:

α é o albedo ou coeficiente de reflexão da cobertura vegetal, adotou-se o valor de 0,23 para uma cultura hipotética (Allen et al. 1998, Pereira et al. 1997).

Para estimar o saldo de radiação de ondas longas foi utilizada a equação apresentada por Pereira et al (1997).

$$R_L = - \left(0,9 \cdot \frac{n}{N} + 0,1 \right) \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \sigma \cdot (T_{\max}^4 + T_{\min}^4) \cdot \frac{1}{2} \quad (11)$$

Onde:

R_L é o saldo de radiação de ondas longas ($\text{Mj m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)

n é a duração do brilho solar ou insolação diária (h);

N é a duração máxima possível do brilho solar (h);

e_a é a pressão atual de vapor d'água (kPa);

σ é a constante de Stefan-Boltzman ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ dia}^{-1}$);

T_{\max} é a temperatura máxima diária ($^{\circ}\text{K}$) e

T_{\min} é a temperatura mínima diária ($^{\circ}\text{K}$).

Para estimar a evapotranspiração de referência diária utilizou-se o modelo de Penman-Monteith descrito em Allen et al. (1998):

$$ET_{o,PM} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (12)$$

Onde:

$ET_{o,PM}$ é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

R_n é o saldo de radiação solar à superfície vegetada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

G é a densidade de fluxo de calor sensível no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

T é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

u_2 é a velocidade do vento medida a 2,0m de altura (m s^{-1});

e_s é a pressão de vapor da água na saturação (kPa);

e_a é a pressão de vapor da água atual (kPa);

$e_s - e_a$ é o déficit de pressão de vapor d'água (kPa);

Δ é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$);

γ é a constante psicométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

O saldo de radiação solar foi calculado através da soma dos valores do saldo de radiação de ondas curtas com os valores do saldo de radiação de ondas longas, calculado pela equação 13:

$$R_n = R_{ns} + R_{nl} \quad (13)$$

Na estimativa da evapotranspiração de referência, o valor da densidade de fluxo de calor sensível no solo (G) foi considerado igual à zero.

Para calcular a pressão de saturação do vapor d'água em função da temperatura média do ar, foi utilizada a seguinte equação 14, (Allen et al.; 1998):

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad (14)$$

Onde:

e_s é a pressão de saturação do vapor de água (kPa);

T é a temperatura do ar (°C).

Para o cálculo da pressão parcial de vapor d'água foi empregada a equação 15, (Allen et al.; 1998):

$$e_a = e_s \cdot \frac{UR}{100} \quad (15)$$

Onde:

e_a é a pressão parcial do vapor d'água do ar (kPa);

UR é a umidade relativa do ar (%).

O valor da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água foi calculado pela equação 16, (Allen et al.; 1998):

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (16)$$

Alguns parâmetros foram considerados como constantes, embora apresentando uma pequena variação, devida à aceitação científica e à fraca variabilidade durante o período das estimativas. O valor da massa específica do ar atmosférico (ρ_a), por exemplo, considerada como $1,26 \text{ kg m}^{-3}$ e o calor latente de evaporação da água (λ) considerado como $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$, visto que λ é uma função muito fraca no intervalo de variação da temperatura das condições experimentais (Azevedo, 1999).

O Utilizou-se o delineamento do tipo inteiramente casualizado, com cada tratamento constituído das diferentes fórmulas utilizadas para o cálculo da radiação solar, e as repetições foram a evapotranspiração de referência estimadas com as médias mensais da radiação solar, totalizando 60 unidades experimentais.

Os dados foram analisados estatisticamente através do programa STAT, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, comparando as diferentes equações utilizadas para o cálculo da radiação solar. As análises foram realizadas com os cálculos de evapotranspiração calculados através de médias mensais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a comparação da 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., (1998), por Angström com coeficientes de Aguiar et al., (1999), por Angström com coeficientes de Glover & McCulloch (1958) e por Black (Tubelis & Nascimento, 1992), foram obtidos os seguintes resultados.

O mês de maior demanda hídrica, no período estudado, foi o de outubro, quando se obteve o valor da ETo de 4,77mm dia⁻¹ a partir da metodologia de Penman-Monteith e empregando-se os valores das variáveis meteorológicas registradas na estação automática, considerada como padrão. Observa-se ainda que no mês de outubro ocorreu a maior demanda hídrica (ETo), quando obtidas através das quatro metodologias estudadas (Tabela 1).

Tabela 1. Valores mensais da evapotranspiração de referência estimada a partir de diferentes cálculos do saldo de radiação solar e dos respectivos desvios padrões (S), Paraipaba, Ceará, 2002.

Mês	ETo (mm dia ⁻¹)									
	Padrã o	S	Allen et al.	S	Angström (Aguiar et al.)	S	Angström (Glover & McCulloch)	S	Blac k	S
Jan	2,65	1,0 6	4,09	0,1 9	3,24	0,2 0	3,93	0,2 3	3,90	0,2 4
Fev	3,80	0,9 0	4,26	0,2 3	3,43	0,2 3	4,12	0,2 7	4,08	0,2 8
Mar	3,07	1,1 2	3,84	0,9 5	3,10	0,5 1	3,70	0,8 1	3,27	1,4 1
Abr	2,57	1,2 6	3,49	0,9 2	2,84	0,4 7	3,38	0,7 8	2,85	1,5 1
Mai	2,90	0,6 3	3,70	0,5 8	2,88	0,2 9	3,65	0,5 1	3,53	0,8 7
Jun	2,71	1,0 3	3,50	0,6 9	2,71	0,3 4	3,52	0,6 0	3,32	1,0 4
Jul	3,19	0,5 9	3,93	0,5 2	2,98	0,2 7	3,94	0,4 6	3,88	0,7 8
Ago	4,02	0,5 8	4,78	0,4 6	3,71	0,3 9	4,77	0,4 6	4,79	0,4 6
Set	4,34	0,6 0	5,09	0,3 0	3,99	0,3 2	5,02	0,3 5	5,08	0,3 5
Out	4,77	0,5 6	5,42	0,3 1	4,25	0,4 2	5,29	0,3 6	5,33	0,3 7
Nov	4,16	0,6 9	5,14	0,3 3	4,00	0,2 6	5,04	0,3 1	5,07	0,3 1
Dez	4,13	0,4 6	4,93	0,5 3	3,84	0,3 4	4,80	0,4 8	4,80	0,6 1

Os valores de ETo obtidos com a metodologia de cálculo da radiação global proposta por Angström e coeficientes por Aguiar et al. (1999) foram subestimados, quando comparados aos valores obtidos com a metodologia padrão, para os meses de julho a dezembro. E as

metodologias propostas por Allen et al., (1998), por Angström com coeficientes de Glover & McCulloch (1958) e por Black, superestimaram a equação padrão durante todo o ano de 2002. Esse fato pode ser explicado tendo em vista a não parametrização das equações para a região estudada, uma vez que, o empirismo não é sinônimo de falta de qualidade, pois muitos métodos desenvolvidos e calibrados localmente podem produzir resultados melhores do que outros mais genéricos e fisicamente mais reais (Pereira et al., 1997).

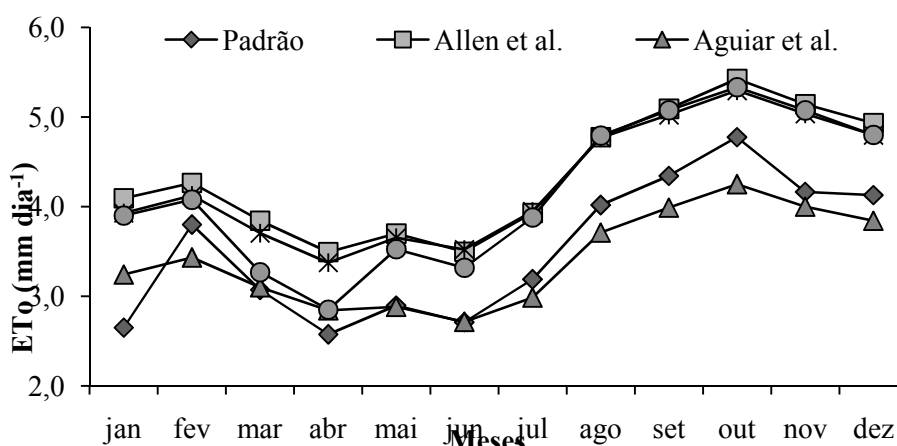


Figura 1. Evapotranspiração de referência estimada com a equação de Penman-Monteith e saldo de radiação solar global obtida em estação meteorológica automática e com as metodologias propostas por Allen et al.(1998), Angström Aguiar et al.(1999), Angström Glover & McCulloch (1958) e Black, no município de Paraipaba, Ceará, 2002.

As figuras 2 a 4 mostram as correlações entre ETo estimada pelas diferentes metodologias de estimativa da R_G em relação a ETo padrão. Verificou-se que os coeficientes de determinação (R^2) foram muito baixos. Sendo 0,23 para metodologia proposta por Allen et al.(1998), 0,37 para metodologia proposta por Angström Aguiar et al.(1999), 0,29 para metodologia proposta por Angström Glover & McCulloch (1958) e 0,16 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.

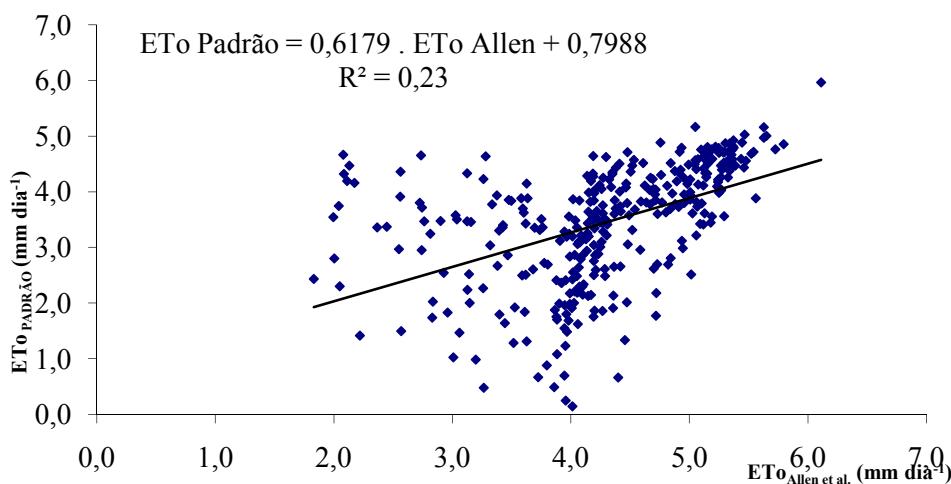


Figura 2. Comparação entre os valores da ETo estimados com a equação de Penman-Monteith e R_G com a estação meteorológica automática ($ETo_{PADRÃO}$) e com a R_G obtida com a metodologia proposta por Allen et al. (1998) ($ETo_{Allen et al.}$), no município de Paraipaba, Ceará, 2002.

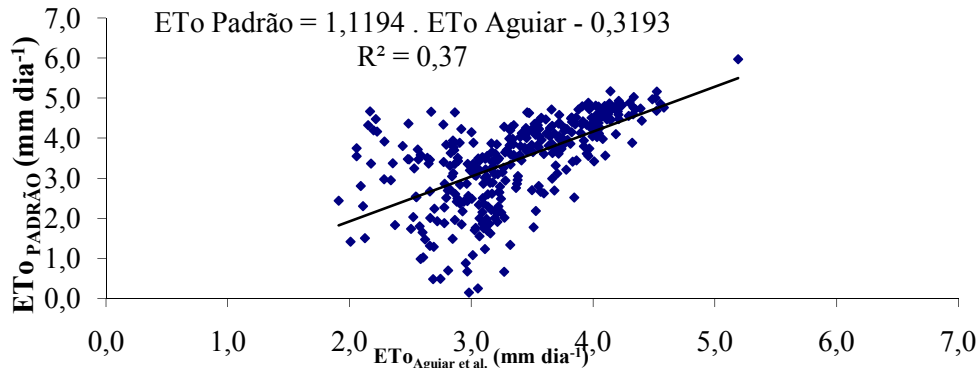


Figura 3. Comparação entre os valores da ETo estimados a partir da equação de Penman-Monteith e saldo de radiação solar obtido com a estação meteorológica automática ($ETo_{PADRÃO}$) e com o saldo de radiação solar obtido com a metodologia proposta por Angström Aguiar et al. (1999) ($ETo_{Aguiar et al.}$), no município de Paraipaba, Ceará, 2002.

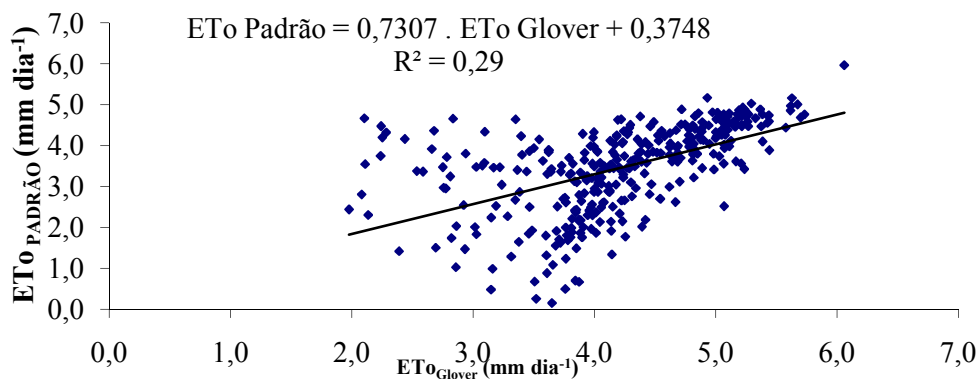


Figura 4. Comparação entre os valores da ETo estimados a partir da equação de Penman-Monteith e saldo de radiação solar obtido com a estação meteorológica automática ($ETo_{PADRÃO}$) e com o saldo de radiação solar global obtida com a metodologia proposta por Angström Glover & McCulloch (1958) (ETo_{Glover}), no município de Paraipaba, Ceará, 2002.

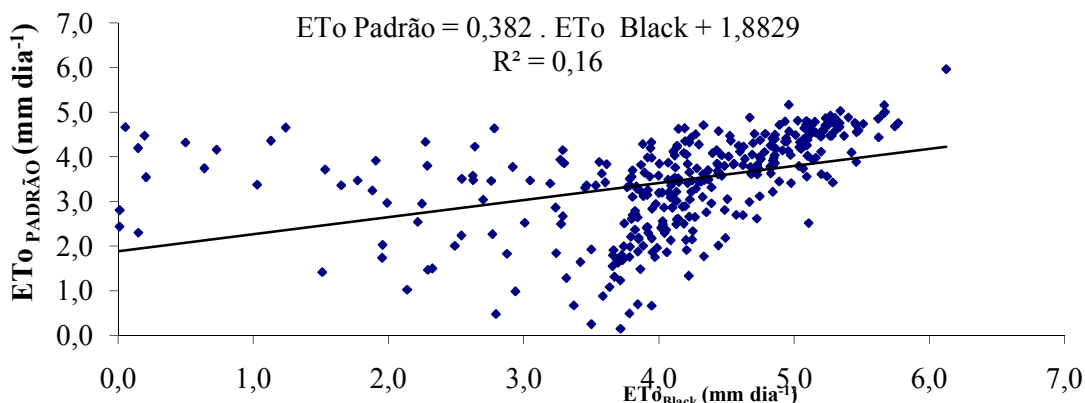


Figura 5. Comparação entre os valores de evapotranspiração de referência estimados a partir da equação de Penman-Monteith e saldo de radiação solar obtido com a estação meteorológica automática ($ET_{O\text{ PADRÃO}}$) e com o saldo de radiação solar global obtida com a metodologia proposta por Black ($ET_{O\text{ Black}}$), no município de Paraipaba, Ceará, 2002.

Diferentemente do que acontece quando se utilizam os valores diários, os resultados da regressão linear para valores médios mensais de ET_{O} resultaram em bons coeficientes de determinação (R^2), mostrando mais consistência no uso das equações para cálculos mensais de radiação e evapotranspiração. Sendo 0,91 para metodologia proposta por Allen et al.(1998), 0,90 para a metodologia proposta por Angström Aguiar et al.(1999), 0,92 para a metodologia proposta por Angström Glover & McCulloch (1958) e 0,88 para metodologia proposta por Black. Mostrando que existe uma maior correlação entre os dados diários que as médias mensais, corroborando com Syperreck et al. (2008) que ao compararem diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência encontraram um bom ajuste para a escala diária para os métodos avaliados. Da mesma forma Marcuzzo et al. (2008) encontraram alta correlação entre os dados diários de estimativa da evapotranspiração de referência para diferentes métodos de estimativa.

Tabela 2. Coeficientes de determinação (R^2) resultados das comparações estatísticas das médias mensais e diárias de valores de ET_{O} obtidos por meio das diferentes metodologias de cálculo da radiação solar global.

Variáveis	R^2	
	Diária	Mensal
$ET_{O\text{ PADRÃO}} \times ET_{O\text{ Allen}}$	0,23	0,91
$ET_{O\text{ PADRÃO}} \times ET_{O\text{ Aguiar}}$	0,37	0,90
$ET_{O\text{ PADRÃO}} \times ET_{O\text{ Glover \& McCulloch}}$	0,29	0,92
$ET_{O\text{ PADRÃO}} \times ET_{O\text{ Black}}$	0,16	0,88

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 03, pode-se observar que houve diferença estatística entre as equações estudadas para a estimativa da evapotranspiração de referência. 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.(1998), 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 para o local. Possivelmente por causa da equação não ser parametrizada para a região de Paraipaba.

Tabela 03. Médias anuais de Evapotranspiração de referência (ET_o), obtidas por meio das diferentes metodologias de cálculo da radiação solar global.

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

*Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

6 CONCLUSÃO

As correlações entre a ET_o estimada pelas diferentes metodologias de estimativa da R_G com relação a ET_o padrão apresentaram valores muito baixos de R² para todos os métodos utilizados.

A estimativa da radiação solar global pelos diferentes métodos testados para calcular a evapotranspiração de referência com a metodologia de Penman-Monteith/FAO, no município de Paraipaba, Ceará, se adequada à previsão do balanço hídrico climatológico na escala mensal, entretanto não é recomendado utilizá-la no manejo diário da irrigação.

A equação proposta por Allen et al. (1998) para cálculo da radiação solar global e posterior estimativa da ET_o com metodologia de Penman-Monteith/FAO não deve ser utilizada no município de Paraipaba, Ceará.

7 REFERÊNCIAS

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.

AGUIAR, M. J.; LIMA, G. B. de; BARRETO JÚNIOR, J. H. C.; BADU, F. O. **Dados Climatológicos:** estação de Paraipaba, 2002. Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical, 2003. 16p. (Documentos, 73).

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).

AZEVEDO, B. M. de. **Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos.** 1999. 81p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**, 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BOMFIM, G. V. do; AZEVEDO, B. M. de; VIANA, T. V. de A.; BORGES, R. L. M.; OLIVEIRA, J. J. G. Calibração de um lisímetro de pesagem após dois anos de utilização. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 35, Número Especial, p. 284-290, out. 2004.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204 p. (Estudos FAO; Irrigação e Drenagem, 24).

GLOVER, J., McCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, London, v. 84, n. 360, p. 172-175, 1958.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 183 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Ed. Manole, 1990. 188 p.

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, MG, v. 43, n. 274, p. 254-266, 1996.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Irrigação localizada**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, PR, v. 30, supl., p. 603-609, 2008.

MARCUZZO, F. F. N.; ARANTES, E. J.; WENDLAND, E. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial e direta para a região de São Carlos-SP. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 13, n. 3, p. 323-338, 2008.