

## DESEMPENHO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA FERNANDO DE NORONHA

**JOSÉ ROBERTO LOPES DA SILVA<sup>1</sup>; ABELARDO A. A. MONTENEGRO<sup>1</sup>; THAIS  
EMANUELLE MONTEIRO DOS SANTOS<sup>2</sup>; EDUARDO SILVA DOS SANTOS<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900 – Recife, PE. [rlopes.s@gmail.com](mailto:rlopes.s@gmail.com); [abelardo.montenegro@yahoo.com.br](mailto:abelardo.montenegro@yahoo.com.br); [silvaufupe@yahoo.com.br](mailto:silvaufupe@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Departamento de Biofísica e Radiobiologia – Universidade Federal de Pernambuco – Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, CEP: 50670-901 – Recife, PE. [thaisemanuelle@hotmail.com](mailto:thaisemanuelle@hotmail.com)

### 1 RESUMO

Os estudos relativos à evapotranspiração são importantes para subsidiar um adequado manejo de água, a gestão de recursos hídricos, e contribuir para a conservação da biodiversidade. A evapotranspiração influi na disponibilidade de água e na distribuição da vegetação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em comparação com o método padrão FAO-Penman-Monteith para o Arquipélago de Fernando de Noronha, com condições climáticas de semiaridez. Avaliou-se a precisão dos métodos com base no coeficiente de correlação (r), no erro quadrático médio (EQM), no índice de concordância (d), e no coeficiente de desempenho (c). Os métodos de Hargreaves & Samani (1985) e Camargo (1971) apresentaram desempenho ruim, enquanto os métodos de Jesen & Haise (1963) e Priestley-Taylor (1972) apresentaram desempenho mediano para a estimativa diária. O método de Hargreaves (1977) foi o que se mostrou mais coerente e confiável para a evapotranspiração diária. Verificou-se que os métodos de Priestley & Taylor e de Hargreaves podem ser utilizados para estimativa da ET<sub>o</sub> acumulada a cada dez dias.

**Palavra-chave:** FAO-Penman-Monteith, água na atmosfera, ciclo hidrológico, balanço hídrico.

**SILVA, J. R. L. da; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. dos; SANTOS, E. S.  
dos  
PERFORMANCE OF DIFFERENT METHODS TO ESTIMATE REFERENCE  
EVAPOTRANSPIRATION IN THE FERNANDO NORONHA ARCHIPELAGO,  
BRAZIL**

### 2 ABSTRACT

Studies related to evapotranspiration are important to support appropriate management of water, management of water resources and contribute to biodiversity conservation. Evapotranspiration affects availability water and the distribution of vegetation. The objective of this study was to evaluate the performance of different methods for estimating reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) compared with the standard method FAO-Penman-Monteith for the

archipelago of Fernando de Noronha, with climatic conditions semiaridez. We evaluated the accuracy of methods based on the correlation coefficient ( $r$ ), in the mean squared error (MSE), in the index of agreement ( $d$ ), and coefficient of performance ( $c$ ). The Hargreaves-Samani and Camargo methods had poor performance, while the Jensen-Haise and Priestley-Taylor methods had average performance for daily estimates. The Hargreaves method was the most reliable and consistent for daily evapotranspiration estimates. The Priestley-Taylor and Hargreaves methods can be used to estimate the accumulated ETo every ten days.

**Keywords:** FAO-Penman-Monteith, water in the atmosphere, hydrological cycle, water balance.

### 3 INTRODUÇÃO

O conhecimento da variação espacial das condições climáticas em pequenas ilhas vulcânicas é de suma importância, especialmente para fins de gestão local da produção agrícola e de recursos hídricos. Nesses ambientes, as informações meteorológicas de superfície disponível é escassa e limitada a locais costeiros, considerados representativos em escala regional ou sinóptica. Portanto, esta informação não pode refletir a variação espacial do clima como influenciada pela elevação, alívio e processos advectivos. As condições climáticas determinam ainda uma parte significativa das disponibilidades hídricas de superfície através dos mecanismos da evapotranspiração (AZEVEDO et al., 1999).

A evapotranspiração é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (ARAÚJO et al., 2007), e utilizada na determinação do balanço hídrico com a finalidade de se identificar os períodos de excesso ou escassez de água e, principalmente, na quantificação das deficiências hídricas da cultura (MARCUSOZZO et al., 2008).

A determinação da ETo pode ser realizada por meio de métodos de estimativa (indiretos). Dentre os modelos indiretos, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) recomenda o uso do método de FAO-Penman-Monteith como método padrão (ALLEN et al., 1998).

Chagas et al. (2013), reforçam que o método de FAO-Penman-Monteith ainda é o mais utilizado para estimativa da ETo, por ser o que melhor se ajusta a valores de ETo medida em lisímetros, porém há uma necessidade em se pesquisar métodos alternativos de estimativa que necessitem de um menor número de informações meteorológicas e que se ajustem às diferenças climatológicas de cada região de interesse.

Havendo a indisponibilidade de informações para o método de FAO-Penman-Monteith (PM), justifica-se a utilização de métodos alternativos (CARVALHO et al., 2011). Allen et al. (1998) sugerem o uso do método de Hargreaves (HG) quando as variáveis agroclimatológicas não são suficientes para estimar a evapotranspiração de referência pelo método de PM. Pereira et al. (2009) recomendam que antes de se aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o seu desempenho e, quando necessário, realizar calibrações a fim de minimizar erros de estimativa.

Alguns estudos têm sido realizados visando comparar diversos métodos com o estabelecido pela FAO e gerar dados experimentais em regiões específicas, dentre eles: Silva et al. (2003), que comparando valores medidos com valores de evapotranspiração de referência (ETo) obtidos através de modelos físico-matemáticos, para Petrolina-PE,

observaram que os métodos de PM e Jensen & Haise estimaram a evapotranspiração diária de forma consistente e bem correlacionada aos dados medidos em lisímetro.

Alencar et al. (2011) realizaram um estudo comparativo de diferentes métodos de ETo com o método PM para as condições climáticas do município de Uberaba, e observaram que o método de Hargreaves & Samani apresentou o pior desempenho para as condições climáticas estudadas.

Fanaya Júnior et al. (2012) avaliaram o desempenho de diferentes métodos nas escalas diária, quinzenal e mensal, na região de Aquidauana-MS, e observaram que o método de Priestley & Taylor (1972) obteve o melhor desempenho dentre os analisados. Chagas et al. (2013) compararam métodos de estimativa da ETo com o método de FAO-Penman-Monteith, no período seco e período úmido no município de Rio Real-BA, e verificaram que o método de Hargreaves & Samani obteve classificação inferior aos demais métodos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa da ETo em comparação com o método de FAO-PM para o Arquipélago de Fernando de Noronha, com condições climáticas de regime de semiaridez.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Arquipélago de Fernando de Noronha, localizado entre as coordenadas 3° 50' e 3° 52' de latitude sul e 32° 24' e 32° 28' de longitude oeste de Greenwich, formado por uma ilha principal, denominada Fernando de Noronha, com 17 km<sup>2</sup> de extensão, e por mais de duas dezenas de ilhotas ou rochedos, que, reunidas, ocupam uma área de aproximadamente 20 km<sup>2</sup> (MARQUES et al., 2007).

O clima do arquipélago, segundo a classificação de Koppen, enquadra-se no tipo Aw', semelhante àquele do Agreste Nordestino, sobretudo pelas estações secas e chuvosas bem definidas e acentuada irregularidade na precipitação pluvial entre os anos. A precipitação pluvial média anual, resultante de um período de observações de 85 anos (1910-1994), é de 1.275 mm, estendendo-se a estação chuvosa de fevereiro a julho. Por outro lado, a média de evapotranspiração potencial alcança 1.942 mm ano<sup>-1</sup>, favorecida pela constância e intensidade dos ventos de sul e sudeste, suplantando a precipitação pluvial em dois terços dos meses do ano. A temperatura média anual situa-se em torno de 25°C, com as máximas não ultrapassando os 31°C e as mínimas superiores a 18°C (MARQUES et al., 2007).

O presente estudo foi realizado a partir de um banco de dados coletados por uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD), instalada na Ilha principal do Arquipélago de Fernando de Noronha e cedidos pelo Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco (LAMEPE).

A análise comparativa foi realizada em três anos consecutivos de dados disponíveis (2003 a 2005). Não foi possível a utilização de anos posteriores (de 2005 a dezembro de 2011) em função da ausência de dados consistentes de umidade relativa, sendo esta uma das variáveis utilizadas pelo método de PM. Por conta da ausência dessa variável, o presente trabalho buscou avaliar outros métodos que não utilizam a umidade relativa na determinação da ETo, e desta forma verificar qual o método mais indicado para a localidade quando não for possível utilizar o método de PM. Realizou-se a comparação da ETo estimada por diferentes métodos em escala diária, acumulada a cada cinco dias e a cada dez dias.

Foram avaliados os seguintes métodos de estimativa da ETo: FAO-Penman-Monteith (ALLEN et al. 1998), Hargreaves (1977), Hargreaves & Samani (1985), Camargo (1971), Priestley & Taylor (1972) e Jensen & Haise (1963).

## a) Método de FAO-Penman-Monteith

Esse método é considerado pela FAO como método padrão para obtenção de evapotranspiração de referência (Equação 1), conhecido universalmente como método de FAO-Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). A dificuldade de utilização desse método é que o mesmo requer medidas de muitas variáveis meteorológicas, como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento.

$$ET_{0PM} = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273,16} U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que,  $ET_{0PM}$  é a evapotranspiração de referência pelo método de FAO-Penman-Monteith ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $R_n$  é o saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ );  $G$  é a densidade de fluxo ou fluxo total diário de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ );  $\Delta$  é a declinação da curva de saturação do vapor de água ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $U_2$  é a velocidade do vento (média diária) a 2 m acima da superfície do solo ( $\text{ms}^{-1}$ );  $T_{med}$  é a temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ );  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor ( $\text{kPa}$ );  $e_a$  é a pressão real do vapor ( $\text{kPa}$ ) e  $\gamma$  é o fator psicrométrico ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ).

Considera-se o valor de  $G=0$ , quando a estação não fornecer tal informação.

## b) Método de Hargreaves (1977)

O cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves é menos complexo do que o método de FAO-Penman-Monteith. Neste caso, podem-se obter os valores de evapotranspiração de referência, pela equação 2.

$$ET_{HG} = 0,0075 * R_{s_{mm}} * (1,8 T_{med} + 32) \quad (2)$$

em que  $T_{med}$  é a temperatura média e  $R_{s_{mm}}$  é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (milímetros) obtida pela equação 3.

$$R_{s(mm)} = \frac{Rs}{\lambda} \quad (3)$$

em que  $Rs$  é a radiação solar global ( $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ), e  $\lambda$  é o calor latente de vaporização ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ).

## c) Método de Hargreaves &amp; Samani (1985)

Em 1985, Samani propôs uma modificação no método de Hargreaves e incrementou na equação valores de temperatura máxima e mínima, e substituiu a radiação solar global em milímetros pela radiação no topo da atmosfera. Este método é utilizado quando não existem dados de radiação global solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, sendo descrito pela equação 4.

$$ET_{0\text{HG}} = 0,0023 (T_{\text{med}} + 17,8) * (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0,5} * R_a \quad (4)$$

em que  $ET_{0\text{HG}}$  é a evapotranspiração de referência de Hargreaves ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $T_{\text{med}}$  é a temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{max}}$  é a temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{min}}$  é a temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $R_a$  é a radiação solar extra-terrestre ( $\text{mmdia}^{-1}$ ).

d) Método de Camargo (1971)

Camargo (1971), baseado em resultados obtidos pelo método de Thornthwaite, propôs um método baseado apenas em dados de temperatura média do ar e radiação solar extraterrestre, podendo ser obtido pela equação 5.

$$ET_{0\text{Cam}} = K * R_a * T_{\text{med}} * ND \quad (5)$$

em que  $ET_{0\text{Cam}}$  é a evapotranspiração de referência de Camargo ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $R_a$  é a radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera, no dia 15 de cada mês, em  $\text{mmdia}^{-1}$  de evaporação equivalente;  $T_{\text{med}}$  é a temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  $K$  é o fator de ajuste e  $ND$  é o número de dias do período observado. O fator de ajuste ( $K$ ) varia com a temperatura média anual do local, conforme os limites estabelecidos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valor de  $K$  em relação à temperatura média anual

$T_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	< 23,5	23,6 a 24,5	24,6 a 25,5	25,6 a 26,5	26,6 a 27,5	> 27,5
Valor de $K$	0,01	0,0105	0,011	0,0115	0,012	0,013

**Fonte:** Camargo e Camargo (2000).

e) Método de Priestley & Taylor (1972)

O método de Priestley & Taylor (1972) é uma aproximação do método de Penman (Equação 6), considerando o saldo de radiação corrigido por coeficiente empírico, chamado de parâmetro de Priestley & Taylor. Esse parâmetro incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração decorrente do termo aerodinâmico.

$$ET_{0\text{PT}} = \frac{\alpha * W * (R_n - G)}{\lambda} \quad (6)$$

onde:  $\alpha$  é o parâmetro de Priestley & Taylor.

Conforme Silva et al. (2005), esse coeficiente varia de 1,08 a 1,34, com média de 1,26 em condições mínimas de advecção regional. No presente trabalho utilizou-se o valor médio (1,26).  $W$  é o fator de ponderação, obtido pela equação (7),  $R_n$  é saldo de radiação,  $G$  é a densidade do fluxo de calor no solo, e o calor latente de vaporização ( $2,45 \text{ MJkg}^{-1}$ ).

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (7)$$

em que  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor, obtida pela equação (8), e  $\gamma$  é a constante psicrométrica, obtida pela equação (9).

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (8)$$

em que  $T_{med}$  é a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor (kPa).

$$\gamma = 0,664742 * 10^{-3} * P_a \quad (9)$$

$P_a$  é a pressão atmosférica, sendo a mesma estimada pela equação (10).

$$P_a = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,26} \quad (10)$$

em que  $z$  é a altitude da estação de coleta dos dados meteorológicos.

#### f) Método de Jensen & Haise (1963)

Este método foi desenvolvido por Jensen & Haise (1963) para regiões áridas e semiáridas. Consiste em estimar a evapotranspiração de referência apenas com dados de temperatura do ar e radiação solar, conforme a equação (11):

$$ET_{0\text{ JH}} = R_{s_{mm}} (0,025 * T_{med} + 0,08) \quad (11)$$

em que  $R_{s_{mm}}$  é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (milímetros) e pode ser obtida conforme a equação 3.

#### Análise estatística

Avaliou-se a precisão dos métodos de estimativa de ETo com base no coeficiente de correlação ( $r$ ), no índice de concordância ( $d$ ) (WILLMOTT, 1982) (Equação 12) e no coeficiente de confiança ou desempenho ( $c$ ) (Equação 13), o qual é o produto entre  $r$  e  $d$ .

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N [|P_i - O_{med}| + |O_i - O_{med}|]^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (12)$$

em que  $d$  é o índice de concordância ou ajuste;  $P_i$  é a evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado,  $\text{mm d}^{-1}$ ;  $O_i$  é a evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão,  $\text{mm d}^{-1}$  e  $O_{med}$  é a média dos valores da ETo obtida pelo método padrão,  $\text{mm d}^{-1}$ .

$$c = r * d \quad (13)$$

O índice  $c = 0$  indica confiança nula e o índice  $c = 1$  significa confiança perfeita. A Tabela 2 apresenta os valores do índice  $c$  e sua classificação, de acordo com Camargo e Sentelhas (1997). Também se analisou o erro quadrático médio (Equação 14):

$$EQM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N-1} \right]^{0,5} \quad (14)$$

em que EQM é o Erro Quadrático Médio,  $\text{mm d}^{-1}$ , e  $N$  é o número de observações.

**Tabela 2.** Classificação do índice de confiança ou desempenho ( $c$ )

C	> 0,85	0,76 a 0,85	0,66 a 0,75	0,61 a 0,65	0,51 a 0,60	0,41 a 0,50	$\leq 0,40$
Desempenho	Ótimo	Muito bom	Bom	Mediano	Sofrível	Mau	Péssimo

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão da velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar do Arquipélago de Fernando de Noronha, para o período de 2003 a 2005. Pode-se observar que a umidade relativa foi a variável que apresentou o maior desvio em relação média, enquanto que a velocidade do vento apresentou o menor desvio-padrão, em contrapartida foi a variável que apresentou o maior coeficiente de variação.

**Tabela 3.** Análise estatística das variáveis climatológicas utilizadas na estimativa da evapotranspiração do Arquipélago de Fernando de Noronha

	Vel ( $\text{m.s}^{-1}$ )	T( $^{\circ}\text{C}$ )	UR (%)	$R_s$ ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ )
Média	7,63	27,44	77,46	20,01
Máxima	12,73	34,95	99,50	36,20
Mínima	2,04	17,47	62,63	9,30
Desvio-Padrão	1,83	2,76	5,70	3,39
Coef. de Variação	0,24	0,10	0,07	0,17

Valores obtidos a partir dos três anos de observação (2003 a 2005); Vel – velocidade do vento; T – temperatura; UR – umidade relativa;  $R_s$  – radiação solar

Na Figura 1 estão apresentados os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa da evapotranspiração diária de FAO-Penman-Monteith, Hargreaves, Hargreaves & Samani, Camargo, Jensen & Haise e Priestley & Taylor para os anos de 2003, 2004 e 2005, totalizando 1.042 dias (95% dos dados possíveis). As estimativas foram submetidas à análise comparativa com o método de FAO-Penman-Monteith, obtendo-se o índice de correlação ( $r$ ), o índice de concordância ( $d$ ), índice de confiança ( $c$ ) e o erro quadrado médio (EQM).

Nota-se na Figura 1a, que o método de Hargreaves & Samani apresentou correlação muito baixa ( $r=0,081$ ) em relação à FAO-Penman-Monteith, apresentando um péssimo

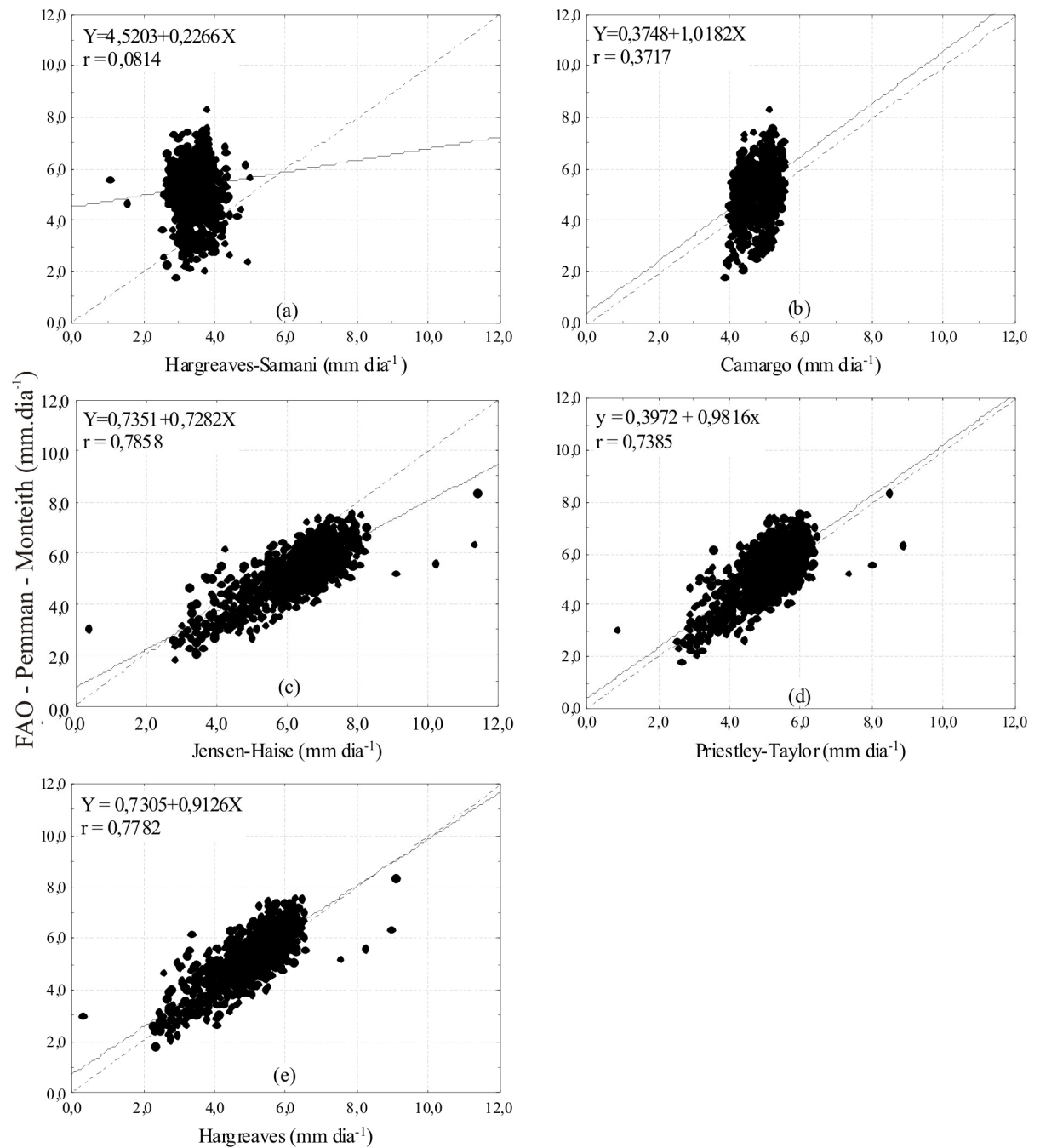
desempenho de acordo com a classificação de Camargo e Sentelhas (1997), conforme os índices de concordância (d) e confiança (c). Tal resultado difere dos encontrados por vários autores dentre eles: Borges & Menciondo (2007), que encontraram boa correlação entre o método de Hargreaves-Samani e FAO-Penman-Monteith, com confiabilidade superior a 0,90, atendendo satisfatoriamente à estimativa da ETo; Gonçalves et al. (2009), que encontraram boa correlação para o município de Sobral no Ceará para o ano de 2006; Sousa et al. (2010) em análise da evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados em Sergipe; Silva et al. (2011) que encontraram boa correlação da evapotranspiração diária entre os métodos para o município de Uberlândia-MG, no ano de 2004; Guedes Filho et al. (2011), que também encontraram boa correlação entre os métodos de Hargreaves & Samani e FAO-Penman-Monteith para o município de Areia-PB; e Fanaya Júnior et al. (2012), que encontraram desempenho muito bom para o método de Hargreaves & Samani em escala diária e ótimo na escala quinzenal, para o município de Aquidauana, MS.

Resultados semelhantes ao presente trabalho foram observados por Silva et al. (2003), em Petrolina-PE, que encontraram um desempenho muito bom para o método de FAO-Penman-Monteith e péssimo desempenho para o método de Hargreaves & Samani, quando comparado ao método do lisímetro; Reis et al. (2007), avaliando métodos de estimativa da ETo para Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo (ES), em comparação do método de Hargreaves & Samani ao método padrão-FAO, observaram em escala diária no período seco (junho a agosto) que a ETo estimada por Hargreaves & Samani superestimou a ETo do método padrão em aproximadamente 30%, tendo seu desempenho classificado como péssimo, corroborando com o resultado encontrado neste trabalho.

Adicionalmente, Chagas et al. (2013) verificaram que o método de Hargreaves & Samani obteve classificação inferior aos demais métodos na estimativa da ETo, no período seco e período úmido no município de Rio Real-BA. Ajustes inferiores para o método Hargreaves & Samani também foram observados por Alencar et al. (2011) para a cidade de Uberaba, MG. Tal resultado possivelmente estar associado ao número de variáveis utilizadas pelo método, uma vez, que o mesmo considera apenas a temperatura do ar e a radiação extraterrestre na sua estimativa.



**Figura 1.** Análise de regressão da ETo em escala diária entre os métodos de FAO-Penman-Monteith x Hargreaves & Samani (a), FAO-Penman-Monteith x Camargo (b), FAO-Penman-Monteith x Jensen & Haise (c), FAO-Penman-Monteith x Priestley & Taylor (d) e FAO-Penman-Monteith x Hargreaves (e).



Na Figura 1b observa-se que o método de Camargo apresentou desempenho um pouco melhor que o de Hargreaves & Samani em relação ao método padrão, porém a correlação é considerada baixa ( $r=0,37$ ). O método também apresentou péssimo desempenho, corroborando com Gonçalves et al. (2009), que compararam diversos métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no município de Sobral-CE, e também encontraram péssimo desempenho para o método de Camargo; e com Borges Junior et al. (2012), que avaliaram o desempenho de diferentes métodos para estimativa ETo em escala diária na microrregião de Garanhuns, PE, por meio de comparações com o método FAO-Penman-Monteith, e encontraram coeficientes de correlação igual a 0,24 e 0,54, para os semestres primavera-verão e outono-inverno, respectivamente.

Araújo et al. (2012) avaliaram para as condições de Roraima, diferentes métodos para a estimativa diária de ETo baseados na temperatura do ar, e observaram desempenho ruim para o método de Camargo e regular para o de Hargreaves & Samani. Enquanto Silva et al. (2011) encontraram desempenho mediano para o método de Camargo em relação ao de FAO-Penman-Monteith, em Uberlândia-MG.

Pode-se observar nas Figuras 1c e 1d que os métodos de Jensen & Haise e Priestley & Taylor apresentaram coeficiente de correlação igual a 0,7858 e 0,7385, respectivamente. Apesar de apresentar coeficientes de correlação acima de 0,73, tais métodos apresentaram desempenho mediano. Sousa et al. (2010), avaliando a evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe, encontraram ótimo desempenho para ambos os métodos. Santos et al. (2008), avaliando desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semiárido nordestino, encontraram um desempenho muito bom para o método de FAO-Penman-Monteith e para o método de Jensen & Haise em relação lisímetro de pesagem. Silva et al. (2011) encontraram ótimo desempenho entre o método de Priestley & Taylor em relação ao de FAO-Penman-Monteith na estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia-MG.

O método de Hargreaves apresentou coeficiente de correlação igual a 0,7782 (Figura 1e). Dentre os métodos avaliados, Hargreaves foi o que apresentou o melhor desempenho em relação aos demais, bem como os melhores coeficientes de concordância (d) e confiança (c), bem como o menor erro quadrático médio, 0,85; 0,66 e 0,71, respectivamente (Tabela 4). Tais coeficientes proporcionaram ao método um bom desempenho conforme a classificação de Camargo & Sentelhas (1997). Esse resultado corrobora com o encontrado por Silva et al. (2003), em estudo de comparação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração em Petrolina-PE, que encontraram um desempenho muito bom para o método de FAO-Penman-Monteith e um bom desempenho para o método de Hargreaves, em relação ao lisímetro de pesagem.

Confrontando o presente trabalho ao de Silva et al. (2003), pode-se observar que os resultados encontrados são consistentes para o método de Hargreaves, que apresentou um bom desempenho, e para o método de Hargreaves & Samani que apresentou péssimo desempenho.

Além da análise de desempenho diário, buscou-se avaliar o desempenho dos métodos acumulando a evapotranspiração de 5 em 5 dias durante o mesmo período analisado. Pode-se observar na Tabela 4, que o desempenho dos métodos de Hargreaves & Samani e Camargo em relação ao de FAO-Penman-Monteith não apresentou mudança significativa, mantendo-se baixos índices de correlação (r), de concordância (d) e de confiança (c) classificando-os como péssimo. Já o método de Jensen & Haise acabou reduzindo a concordância e a confiança, o que promoveu perda de sensibilidade do método e consequente mudança de classificação de mediano para sofrível. O método de Priestley & Taylor também apresentou redução na

concordância e confiança dos dados, bem como aumento no erro quadrático médio, porém manteve-se na classificação de mediano, conforme os índices analisados. O método de Hargreaves também apresentou redução nos seus índices e aumento do erro quadrático médio, igualmente ao método de Jensen & Haise, que apresentou mudança de classificação de bom para mediano. O agrupamento a cada 5 dias não melhorou o desempenho, não sendo indicado para a localidade.

Ainda no presente estudo propôs-se realizar um agrupamento de dados decadal. Pode-se observar que houve uma ligeira melhora na correlação entre FAO-Penman-Monteith e Hargreaves & Samani e FAO-Penman-Monteith e Camargo, que foi igual a 0,58 e 0,60, respectivamente. Porém, de acordo com os índices de concordância e confiança, ambos os métodos estão classificados como péssimos (Tabela 4).

Com o agrupamento de 10 dias, pode-se verificar que o método de Jensen & Haise apresentou comportamento semelhante à avaliação diária da ETo, com coeficiente de correlação igual a 0,86, coeficiente de concordância (d) de 0,74 e coeficiente de confiança de 0,64, apresentando desta forma desempenho mediano. Verifica-se que o método de Priestley & Taylor apresentou uma melhora nos coeficientes de correlação, concordância e confiança, melhorando seu desempenho de mediano para bom. O método de Hargreaves também apresentou bom desempenho para a análise da evapotranspiração acumulada a cada 10 dias (Tabela 4).

A Tabela 4 apresenta os valores de correlação dos métodos avaliados em relação ao método padrão de FAO-Penman-Monteith, bem como os valores do coeficiente de concordância de Wilmont (d), de confiança (c), o erro quadrático médio (EQM) e a classificação dos métodos de acordo com Camargo & Sentelhas (1997) para a investigação diária da ETo, acumulada a cada 5 dias e acumulada a cada 10 dias.

**Tabela 4.** Classificação do desempenho dos métodos de estimativa da ETo em relação ao método FAO-Penman-Monteith, em escala diária e acumulada a cada 5 e 10 dias para a Ilha de Fernando de Noronha

Investigação Diária	r	d	c	EQM	Classificação
FAO-Penman-Monteith x Hargreaves & Samani	0,08	0,03	0,002	2,11	Péssimo
FAO-Penman-Monteith x Camargo	0,37	0,34	0,13	1,05	Péssimo
FAO-Penman-Monteith x Jensen & Haise	0,81	0,75	0,61	1,18	Mediano
FAO-Penman-Monteith x Priestley & Taylor	0,77	0,83	0,64	0,75	Mediano
FAO-Penman-Monteith x Hargreaves	0,78	0,85	0,66	0,71	Bom
Acumulado a cada 5 dias					
FAO-Penman-Monteith x Hargreaves & Samani	0,35	0,09	0,03	4,43	Péssimo
FAO-Penman-Monteith x Camargo	0,45	0,44	0,20	1,91	Péssimo
FAO-Penman-Monteith x Jensen & Haise	0,82	0,68	0,56	2,27	Sofrível
Penman-Monteith x Priestley & Taylor	0,79	0,79	0,62	1,43	Mediano
FAO-Penman-Monteith x Hargreaves	0,78	0,80	0,62	1,31	Mediano
Acumulado a cada 10 dias					
FAO-Penman-Monteith x Hargreaves & Samani	0,58	0,16	0,09	6,13	Péssimo
FAO-Penman-Monteith x Camargo	0,60	0,61	0,37	2,47	Péssimo
FAO-Penman-Monteith x Jensen & Haise	0,86	0,74	0,64	3,17	Mediano
FAO-Penman-Monteith x Priestley & Taylor	0,84	0,83	0,70	2,07	Bom

FAO-Penman-Monteith x Hargreaves 0,82 0,83 0,68 1,73 Bom

r- coeficiente de correlação, d- coeficiente de concordância de Wilmont, c- Coeficiente de confiança e EQM- erro quadrático médio (EQM)

Diante do desempenho dos métodos avaliados, realizou-se uma estimativa da evapotranspiração dos anos de 2008 a 2011, utilizando o método de Hargreaves. A Tabela 5 apresenta valores da evapotranspiração de referência (de 2003 a 2011) para a Ilha de Fernando de Noronha. Pode-se observar que o mês de outubro é o que apresenta a maior evapotranspiração média. Já a menor evapotranspiração foi observada no mês de Abril.

**Tabela 5.** Evapotranspiração média diária da Ilha de Fernando de Noronha

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2003*	5,01	4,63	4,25	4,16	4,78	4,61	5,16	5,33	5,91	6,41	6,12	5,88
2004*	4,47	4,38	4,93	4,68	4,53	4,93	4,3	4,43	5,77	6,25	6,2	5,58
2005*	5,32	5,44	5,32	4,53	4,16	4,58	5,15	6,02	5,75	5,91	5,73	5,83
2008	5,24	5,76	4,26	4,47	4,73	4,31	4,54	4,81	5,47	6,13	5,42	5,44
2009	5,2	5,25	4,35	4,64	4,15	4,04	5,07	4,32	5,67	6,43	5,47	5,04
2010	4,83	5,54	6,09	4,7	5,29	4,77	4,18	4,99	5,68	6,5	5,98	5,19
2011	4,76	5,14	5,21	4,16	4,59	4,71	4,54	5	5,67	6,27	5,7	5,35
Média	4,98	5,16	4,92	4,48	4,60	4,56	4,71	4,99	5,70	6,27	5,80	5,47
Desvio padrão	0,31	0,50	0,69	0,23	0,39	0,30	0,41	0,57	0,13	0,20	0,31	0,31

\* ETo estimada pelo método de FAO-Penman-Monteith; Nos anos de 2006 e 2007 não possuem dados, pois a Plataforma de Coleta de Dados apresentou várias falhas de armazenamento.

## 6 CONCLUSÕES

De acordo com os critérios estatísticos adotados, o método de Hargreaves foi o que apresentou o melhor desempenho para estimativa diária da ETo, quando comparado ao método de FAO-Penman-Monteith, sendo confiável e recomendado para ser utilizado na Ilha de Fernando de Noronha.

De acordo com critérios estatísticos adotados, os métodos de Camargo e Hargreaves & Samani apresentam péssimo desempenho na estimativa da ETo em escala diária e acumulada (a cada cinco e dez dias) quando comparados ao método de FAO-Penman-Monteith, não sendo recomendado o uso do mesmo para localidade.

Diante dos resultados encontrados não recomenda-se a análise da ETo acumulada para cinco dias na Ilha de Fernando de Noronha, uma vez que tal agrupamento reduziu a sensibilidade dos métodos, e consequentemente os seus desempenhos.

Diante dos resultados encontrados sugere-se utilizar os métodos de Hargreaves e/ou Priestley & Taylor para estimativa da ETo acumulada a cada 10 dias, na ausência de variáveis utilizadas para estimativa da ETo pelo método de FAO-Penman-Monteith, uma vez que os mesmo apresentaram bom desempenho para os critérios estatísticos adotados.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L.P.; DELGADO, R.C.; ALMEIDA, T.S.; WANDERLEY, H.S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Agrária (Online)**, Recife, v. 6, n. 2, p. 337-343, 2011.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, Irrigation and drainage, paper 56, 1998. 300p.

ARAÚJO, W.F.; CONCEIÇÃO, M.A.F.; VENANCIO, J.B. Evapotranspiração de referência diária em Boa Vista (RR) com base na temperatura do ar. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 155-169, 2012.

ARAUJO, W.F.; COSTA, S.A.A.; SANTOS, A.E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia (ETo) para Boa Vista (RR). **Revista Caatinga**, Mossoro, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.

AZEVEDO, E.B.; PEREIRA, L.S.; ITIER, B. Modelling the local climate in island environments: water balance applications. **Agricultural Water Management**, Philadelphia, v.40, p.393– 403, 1999.

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 e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 293–300, 2007.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 380–390, 2012.

CAMARGO, A.P. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC (Boletim 116), 1971. 24p.

CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, 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**, Sete Lagoas, v.5, n.1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, L.G.; RIOS, G.F.A.; MIRANDA, W.L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CHAGAS, R.M.; FACCIOLI, G.G.; AGUIAR NETTO, A.O.; SOUSA, I.F.; VASCO, A.N.; SILVA, M.G. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) no município de rio Real-BA. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.

GONÇALVES, F.M.; FEITOSA, H.O.; CARVALHO, C.M.; GOMES FILHO, R.R.; VALNIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 71-77, 2009.

FANAYA JÚNIOR, E.D.; LOPES, A.S.; OLIVEIRA, G.Q.; JUNG, L.H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana, MS. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 418-434, 2012.

GUEDES FILHO, D.H.; SANTOS JÚNIOR, J.A.; COSTA FILHO, J.F.; FRANCISCO, P.R. M.; CAMPOS, V.B. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Areia, Paraíba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 05, n. 01, p. 37-47, 2011.

HARGREAVES, G.H. **World water for agriculture**. Contract AID/ta-C-1103, Washington, DC: Utah State University and Agency for International Development, 1977. 177p.

HARGREAVES, G.H. & SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

JENSEN, M.E. & HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, Reston, v. 89, n. IR4, p. 15-41, 1963.

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, v.13, n.3, p. 323-338, 2008.

MARQUES, F.A.; RIBEIRO, M.R.; BITTAR, S.M.B.; TAVARES FILHO, A.N.; LIMA, J. F.W.F. Caracterização e classificação de Neossolos da ilha de Fernando de Noronha (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1553-1562, 2007.

PEREIRA, D.R.; YANAGI, S.N.M.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M.; SILVA, L.A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, 2009.

PRIESTLEY, C.H.B. & TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v.100, p.81-92, 1972.

REIS, E.F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G.O.; PEZZOPANE, J.E.M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, v.25, n.3, p.75-84, 2007.

SANTOS, F.X.; RODRIGUES, J.J.; MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R.F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 1155-124, 2008.

SILVA, T.J.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; RODRIGUES, J.J.V.; BONFIM, E.M.S. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de

referência, em Petrolina-PE. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 511-520, 2003.

SILVA, V.J.; CARVALHO, H.P.; DA SILVA, C.R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R.E.F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2011.

SILVA, V.P.R.; BELO FILHO, A.F.; SILVA, B.B.; CAMPOS, J.H.B.C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 09, n. 4, p. 547-553, 2005.

SOUSA, I.F.; SILVA, V.P.R.; SABINO, F.G.; AGUIAR NETTO, A.O.; SILVA, B.K.N.; AZEVEDO, P.V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p.633-644, 2010.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **American Meteorological Society**, Boston, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.