

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA CALCULADA COM EQUAÇÃO PENMAN-MONTEITH UTILIZANDO DADOS OBTIDOS EM ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CONVENCIONAL E AUTOMÁTICA.<sup>1</sup>

D.V.Vasconcelos<sup>2</sup>; T. V. de A. Viana<sup>3</sup>; B. M. de Azevedo<sup>3</sup>; R. A. Furlan<sup>4</sup>

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo comparar os valores da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) obtidos por meio de estações meteorológicas automática com medição da radiação líquida (ET<sub>o aut</sub>), convencional com radiação global (ET<sub>o cv</sub>) e convencional sem radiação global (ET<sub>o est</sub>). Os dados para cálculo da ET<sub>o</sub> foram coletados a partir de uma estação automática e de uma convencional instaladas na estação meteorológica da UFC, CE, durante os meses de outubro de 2003 (período seco) e abril de 2004 (chuvoso). Foram calculadas a ET<sub>o</sub> pela equação de Penman-Monteith. Foram feitas análises de regressão linear, do cálculo do coeficiente de correlação ( $r^2$ ), índice de concordância de Wilmott (id) e do índice “c”, análises diárias e acumuladas a cada cinco dias. Para o mês de outubro de 2004 os valores de ET<sub>o</sub> a cada cinco dias apresentaram  $r^2$  de 0,82 para ET<sub>o aut</sub> vs ET<sub>o est</sub> e o  $r^2$  foi de 0,86 para ET<sub>o aut</sub> vs ET<sub>o cv</sub>. Já durante o período chuvoso o  $r^2$  foi de 0,96 para ET<sub>o aut</sub> vs ET<sub>o est</sub> e  $r^2$  de 0,86 para ET<sub>o aut</sub> vs ET<sub>o cv</sub>. Concluiu-se que as estimativas da ET<sub>o</sub> realizadas com dados de estação convencional se aproximaram dos valores da evapotranspiração calculados com a estação automática quando se aumentou o período de estimativa de um para cinco dias.

**PALAVRAS-CHAVE:** radiação líquida, irrigação, sistema automático.

## REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION PENMAN-MONTEITH EQUATION USING DATA OBTAINED from CONVENTIONAL AND AUTOMATIC SATATION

**ABSTRACT:** This work had as main objective to compare the values of the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) obtained from automatic meteorological stations by measuring net radiation (ET<sub>o aut</sub>), from conventional by doing global radiation (ET<sub>o conv</sub>) and from conventional by estimating of the global radiation (ET<sub>o est</sub>). The data for calculation of ET<sub>o</sub> were collected in an automatic station and in a conventional one installed in the

---

<sup>1</sup> Trabalho de monografia financiado pelo CNPq; <sup>2</sup>Eng. Agrônoma mestranda em irrigação e drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, S/N, CP 12168, CEP 60455-970. e-mail: [denisevasconcelos@pop.com.br](mailto:denisevasconcelos@pop.com.br); <sup>3</sup>Prof. Dr. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. e-mail: [thales@ufc.br](mailto:thales@ufc.br); <sup>4</sup>bolsista DCR/CNPq do departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará;

meteorological station of the Universidade Federal do Ceará, Brazil. The data were collected during the months of October of 2003 (dry season) and April of 2004 (rain season). ETo were calculated by Penman-Monteih equation. The regrestion analysis and the calculation of the determination coefficient ( $r^2$ ) and index of agreement of Wilmott (id) were made. ETo every five days the  $r^2$  were made calculations was of 0,82 for ETo<sub>aut</sub> vs the ETo<sub>conv</sub> and the  $r^2$  was of 0,86 for ETo<sub>aut</sub> vs ETo<sub>cv</sub>. But during the rain season period the  $r^2$  were made calculations was of 0,99 for ETo<sub>aut</sub> vs the ETo<sub>conv</sub> and the  $r^2$  was of 0,86 for ETo<sub>aut</sub> vs ETo<sub>cv</sub>. The estimates of the evapotranspiration reference accomplished with data of conventional station, they only approached the values of the evapotranspiration made calculations with the automatic station when it increased the estimate period of one for five days.

**KEYWORDS:** net radiation, irrigation, automatic systems.

## INTRODUÇÃO

Como a maior parte do Ceará está localizada em uma região semi-árida, a disponibilidade hídrica no estado constitui um fator limitante para a produção agropecuária. Em consequência, é de fundamental importância o planejamento de políticas agrícolas objetivando o uso racional de água. Para que isso ocorra, deve-se evitar o desperdício de água na agricultura, dimensionando adequadamente a evapotranspiração das culturas e os sistemas de irrigação (VERMEIREN, 1997).

A quantificação de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. É realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na “evapotranspiração” e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes (BERNADO, 1995).

A quantidade de água requerida pela cultura é estimada em função da evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente da cultura (Kc), que indica a necessidade de água, em cada estágio de desenvolvimento das plantas (DOORENBOS & PRUITT, 1986; ALLEN et al., 1998). Portanto, a correta estimativa da evapotranspiração de referência é de suma importância para uma reposição adequada de água às plantas.

Os sistemas automáticos de coleta de dados meteorológicos permitem um maior detalhamento das variações dos elementos meteorológicos ao longo do dia, o que conseqüentemente, deve possibilitar melhores estimativas da evapotranspiração de referência (ETo). Entretanto, são sistemas muito caros, e em diversas localidades somente se dispõe de estações convencionais, boa parte delas não dispõe de medição da radiação global. Apesar disso, as estimativas da ETo realizadas pelas mesmas podem não diferir das realizadas em

estações automáticas com saldo radiômetros, implicando que as convencionais podem continuar sendo úteis no cálculo da evapotranspiração e no manejo adequado da irrigação.

O presente trabalho teve como objetivo comparar os valores da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) obtidos por meio de estações meteorológicas automática com medição do saldo de radiação (ET<sub>oaut</sub>), convencional com medição da radiação solar global (ET<sub>ocv</sub>) e convencional com estimativa da radiação solar global (ET<sub>oest</sub>).

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com dados provenientes da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (3° 44'S, 38° 33'W e altitude média de 19,5m; clima do tipo Aw', segundo a classificação de Köppen,).

Os dados climáticos foram provenientes de uma estação meteorológica automática e de uma estação meteorológica convencional durante os meses de outubro de 2003 e de abril de 2004. As variáveis meteorológicas medidas foram: saldo de radiação (R<sub>n</sub>, na estação automática), radiação solar global (R<sub>g</sub>, na estação convencional), insolação (n), umidade relativa do ar (UR), temperatura do ar (T), temperatura máxima do ar (T<sub>máx</sub>), temperatura mínima do ar (T<sub>mín</sub>) e velocidade do vento (u).

A ET<sub>o</sub> foi calculada pela equação de Penman-Monteith pelos seguintes critérios: 1) com o uso do saldo de radiação medida na estação automática (ET<sub>oaut</sub>); 2) com a estimativa do saldo de radiação solar a partir da radiação global medida no actinógrafo (ET<sub>ocv</sub>) e 3) com a estimativa do saldo de radiação solar a partir de valores estimados para a radiação solar no topo da atmosfera (ET<sub>oest</sub>).

Os valores de ET<sub>o</sub> calculados pelas diferentes metodologias foram comparados estatisticamente, entre si, pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear simples. Considerando que a análise isolada de  $r^2$  pode conduzir a interpretações impróprias, avaliou-se também o índice de concordância (id) obtido com a análise proposta por WILLMOTT (1981) e o índice “c” proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os totais da ET<sub>o</sub> para o mês de outubro de 2003 foram: ET<sub>oaut</sub> = 173,57 mm, ET<sub>oest</sub> = 166,42mm e ET<sub>ocv</sub> = 138,64 mm. Para esta situação houve uma maior proximidade entre os valores estimados pela estação automática e convencional sem o uso do actinógrafo. Durante o mês de abril de 2004 os totais foram: ET<sub>oaut</sub> = 109,65 mm, ET<sub>oest</sub> = 142,48 mm, ET<sub>ocv</sub> = 121,41 mm.

A dispersão dos dados no mês de outubro de 2003 pode ser melhor compreendida a partir da análise estatística. O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) entre os valores da  $ETo_{aut}$  e  $ETo_{est}$  foi igual a 0,14 denota uma baixa correlação entre os dados. Vale ressaltar ainda que a estimativa do  $R_g$  foi realizada a partir de valores de “a” e “b”, da equação de Angstron, estimados para Fortaleza, por AGUIAR et al. (1999), o que tornou a estimativa mais precisa, em relação à realidade local.

Ainda com os dados do mês de outubro, foi feita a comparação dos valores da  $ETo_{aut}$  com os da  $ETo_{cv}$ . O valor do coeficiente de determinação foi de 0,08, também demonstrando uma péssima correlação entre os dados.

Analizando os valores de  $ETo$ , obtidos com as três metodologias para intervalos de cinco dias, obteve-se coeficiente de determinação da regressão  $ETo_{aut}$  versus  $ETo_{est}$ , igual a 0,82, indicando uma boa correlação entre os dados. Do mesmo modo, os valores da  $ETo_{aut}$  foram comparados, pela regressão linear simples, com os valores da  $ETo_{cv}$  resultando em um  $r^2$  igual a 0,86, também apresentando uma boa correlação entre os dados.

Com base nesses resultados, pode-se afirmar que, durante o período seco, a estimativa da  $ETo$  na escala diária, calculada a partir das informações coletadas em estações convencionais não se apresentaram adequadas, em comparação com as realizadas por meio de estações automáticas. Entretanto, para cálculos da  $ETo$  em intervalos de cinco dias, comuns em irrigação, as estimativas da  $ETo$  a partir das informações coletadas em estações convencionais mostraram-se adequadas.

Analizando-se os totais mensais obtidos com dois métodos de estimativa da  $ETo$  pela estação convencional, pode-se dizer que quando se estimou o valor de  $R_g$  ( $ETo_{est}$ ), teve-se uma melhor eficiência visto que o resultado foi de, aproximadamente 96% do valor da  $ETo_{aut}$ , enquanto o valor da  $ETo$  estimado, com  $R_g$  obtidos, pelo aparelho actinógrafo ( $ETo_{cv}$ ) foi de aproximadamente 80% do valor da  $ETo_{aut}$ .

No mês de abril de 2004, para os valores diários da  $ETo_{aut}$  versus  $ETo_{est}$ , obteve-se um  $r^2$  igual a 0,79, correspondendo a uma boa correlação entre os dados. Já na comparação entre os valores  $ETo_{aut}$  com os da  $ETo_{cv}$  o  $r^2$  foi de 0,11. Também foram analisados os valores de  $ETo$ , obtidos com as três metodologias, para intervalos de cinco dias, obtendo-se a comparação pela regressão linear simples entre os valores da  $ETo_{aut}$  versus os da  $ETo_{est}$ , apresentando um  $r^2$  igual a 0,95. Já para a comparação pela regressão linear simples entre os valores da  $ETo_{aut}$  versus os da  $ETo_{cv}$ , o  $r^2$  foi igual a 0,82. Ambas as estimativas, indicam um bom desempenho das estimativas a partir dos dados da estação convencional.

Para se ter uma melhor possibilidade de analisar os resultados obtidos entre os valores da  $ETo$ , calculou-se o  $id$  (índice de concordância de Willmott), já que a análise do  $r^2$  isolada

pode conduzir a interpretações impróprias. Como podem ser observados na Tabela 1, os valores do índice de concordância de Willmott foram, em todas as análises, superiores a 0,85, o que mostra uma excelente precisão entre os dados, mesmo para as análises diárias.

De acordo com a Tabela 1 o índice “c”, na escala diária, durante o período seco, as metodologias apresentaram desempenho péssimo, já quando se analisa para o intervalo de cinco dias mostra desempenho ótimo e muito bom para  $ET_{o_{est}}$  e  $ET_{o_{cv}}$ , respectivamente. Para o período chuvoso o desempenho em escala diária foi muito bom e péssimo para  $ET_{o_{est}}$  e  $ET_{o_{cv}}$ , respectivamente e analisando o intervalo de 5 dias o desempenho foi de ótimo para as duas metodologias.

**Tabela 1:** Comparação dos valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), com valores do índice de concordância de Willmott (id) e do índice “c”, para evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), obtida através das estações automática e convencional.

ET <sub>o</sub> (mm)	Dias do mês			cinco dias		
	r <sup>2</sup>	Id	c	r <sup>2</sup>	id	C
<b>ET<sub>o_{aut}}</sub> vs ET<sub>o_{est}</sub> (outubro de 2003)</b>	0,14	0,9995	0,3740	0,82	0,9973	0,9031
<b>ET<sub>o_{aut}}</sub> vs ET<sub>o_{cv}</sub> (outubro de 2003)</b>	0,08	0,9865	0,2790	0,86	0,8986	0,8333
<b>ET<sub>o_{aut}}</sub> vs ET<sub>o_{est}</sub> (abril de 2003)</b>	0,79	0,9441	0,8391	0,95	0,9301	0,9065
<b>ET<sub>o_{aut}}</sub> vs ET<sub>o_{cv}</sub> (abril de 2003)</b>	0,11	0,9900	0,3283	0,86	0,9870	0,9153

## CONCLUSÕES

Utilizando dados da estação convencional ou da estimativa de variáveis meteorológicas a estimativa da evapotranspiração de referência se aproximou dos valores da evapotranspiração fornecida pela estação automática quando se aumentou o período estudado de um para cinco dias. A evapotranspiração de referência calculada por meio da estimativa da radiação global foi mais próxima dos valores de  $ET_o$  estimado com a estação automática, quando comparada aos valores de  $ET_o$  obtidos com a estação convencional;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

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 do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino-Americana de**

**Agrometeorologia**. 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. 290 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p  
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**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

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. 204 p., il. Título original: Crop water requirements. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 24).

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Irrigação localizada**. Tradução H. R. Gheyi et al. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 184 p., il. Título original: Localized irrigation (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 36).

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, v.2, p.184-194, 1981.