

EQUAÇÕES EMPÍRICAS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM PENTECOSTE, CEARÁ.

J. G. A. Nobre¹; T. V. de A. Viana²; A. T. Medeiros³; R. A. Furlan³; B. M. de Azevedo²

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo desenvolver e validar equações empíricas a partir do método de Penman-Monteith FAO para estimar a ETo em Pentecoste, CE. Os dados meteorológicos foram coletados nos meses de março e de outubro de 2003 (utilizados na confecção dos modelos empíricos) e de 2004 (na validação dos modelos). A medição da ETo se deu por meio da equação de Penman-Monteith FAO. Para confecção dos modelos empíricos, utilizou-se a técnica de regressão múltipla, feita através do software SAEG. Na análise, o processamento foi feito com a ETo medida como variável independente e o saldo de radiação, a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar como variáveis dependentes. Os modelos empíricos confeccionados e selecionados foram submetidos há processos de validação. Como conclusões obtiveram-se: a técnica de regressão múltipla possibilitou o desenvolvimento de modelos empíricos com ótimo desempenho na estimativa da ETo; os modelos constituídos somente das variáveis de fácil medição não apresentaram desempenho satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Regressão múltipla, modelos estatísticos, ETo.

EMPIRICAL MODELS TO ESTIMATE THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION VALUE IN PENTECOSTE COUNTY, CE.

ABSTRACT: The present work had for objective to develop and to validate empirical equations from the method of Penman-Monteith FAO, estimate the ETo in Pentecoste, CE. The meteorological data had been collected in an automatic station, in the months of March and October of 2003 (used in the confection of the empirical models) and of 2004 (in the validation of the models). The measurement of the ETo if gave by means of the equation of Penman-Monteith FAO. For confection of the empirical models, it was used technique of multiple regression, made

1 Graduando em Agronomia, UFC;

2 Professor, Dr., UFC, CCA, DENA, thales@ufc.br, benito@ufc.br;

3 Eng. Agrônomo., Dr. em irrigação e drenagem, UFC;

through software SAEG. In a first analysis, the processing was made with the ETo independent Penman-Monteith FAO as changeable and the balance of radiation, the speed of the wind, the temperature and the relative humidity of air as changeable dependents. The empirical models confectioned and chosen teams had been submitted have validation processes. As conclusions they had been gotten: the technique of multiple regression made possible the development of empirical models with excellent performance in the estimate of the ETo; the models consisting only of variable of easy measurement had not presented satisfactory performance;

KEYWORDS: multiple regression, static models, ETo.

INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas são as maiores demandantes por água, necessitando por isso de um empenho redobrado dos pesquisadores no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a economia de água. Uma das alternativas para racionalizar o uso da água em projetos agrícolas é dimensionar o tempo de irrigação a partir da estimativa da evapotranspiração de referência e do uso do coeficiente de cultura (VIANA et al., 2003).

A ETo pode ser obtida por medidas diretas ou por estimativas. As medidas diretas, feitas em lisímetros em geral, são de alto custo limitando o seu uso na propriedade agrícola. Existem vários métodos de estimativa da ETo, sendo que os métodos empíricos são adaptados a determinadas condições locais onde foram desenvolvidos, tendo o seu uso limitado em maior escala. O método de Penman-Monteith, com embasamento técnico-científico é o mais adotado universalmente (PEREIRA et al., 1997). Entretanto, este método requer muitas informações dificultando o cálculo da evapotranspiração de referência (SILVA et al., 2001).

Tentando reduzir o problema citado anteriormente, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) realizou, em 1990, um encontro com vários especialistas para fazer uma revisão no seu Manual N° 24 (DOORENBOS & PRUITT, 1977). Entretanto, apesar da redução das variáveis solicitadas no método de Penman-Monteith, à metodologia continuou de difícil uso em locais onde não há uma estação meteorológica principal (CARDOSO et al., 2005).

A confecção de métodos empíricos, para condições locais, desenvolvidos por meio da técnica de regressão múltipla a partir dos valores da evapotranspiração de referência estimados pelo método de Penman-Monteith pode proporcionar simplicidade na estimativa da ETo, sem

reduzir a qualidade da mesma. Aliado a isto, uma possível diminuição no número de variáveis solicitadas possibilitaria a estimativa da ETo em locais com estações meteorológicas com um número reduzido de instrumentos.

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver e validar equações empíricas a partir do método de Penman-Monteith FAO, por meio da técnica de regressão múltipla, para estimar a evapotranspiração de referência em Pentecoste, Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com dados coletados, nos meses de março e outubro de 2003 e de 2004, na estação meteorológica automática da Fazenda Experimental do Vale do Curu, localizada a 110 km de Fortaleza, no município de Pentecoste, Ceará (3° 47' S; 39° 17' W, 78,0 m, clima BSw`h`)). As variáveis meteorológicas medidas foram: saldo de radiação (Rn), velocidade do vento (u), umidade relativa do ar (UR) e temperatura do ar (T).

A partir dos dados coletados, calculou-se a ETo pelo método de Penman-Monteith FAO (ETo PM-FAO), para os meses de março e outubro de 2003 (valores foram utilizados no desenvolvimento dos modelos empíricos) e para março e outubro de 2004 (valores utilizados na validação dos mesmos). O mês de março representou a estação chuvosa e o de outubro, a estação seca.

Os modelos para estimativa da ETo foram desenvolvidos por meio de análise de regressão múltipla, através do software SAEG. O processamento iniciou-se com a importação da base de dados, onde se tinham a ETo PM-FAO como variável independente e o saldo de radiação, a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar como variáveis dependentes, segundo essa ordem de importância relativa.

Os modelos empíricos confeccionados e selecionados (com nível de significância inferior a 5% e coeficiente de determinação superior a 0,85) foram submetidos há processos de validação. Em seguida, os modelos selecionados foram comparados com os respectivos valores estimados pelo método de Penman-Monteith FAO, com os dados de março e outubro 2004.

Os valores médios diários da ETo PM-FAO e os estimados pelos diversos modelos estatísticos selecionados foram comparados entre si, através das planilhas eletrônicas no Excel

pelo coeficiente de correlação (r), o índice de concordância de Willmott (id) e o produto desses, o qual é denominado de índice “c” (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

Os modelos de 1 a 4, 9 a 11, 15, 16 e 19 foram desenvolvidos com dados de março de 2003 (estação chuvosa), de 5 a 8, 12 a 14, 17, 18 e 20 com dados de outubro de 2003 (estação seca).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 20 modelos desenvolvidos, foram selecionados os seguintes: 1, 3 e 4, para a estação chuvosa e 6, 7 e 8, para a estação seca (Tabela 1). Assim sendo, os modelos restantes foram descartados, já que não foram significativos estatisticamente ao nível de 5% e ou apresentaram um coeficiente de determinação e um coeficiente de determinação ajustado inferior a 0,85. Pode-se observar ainda, que nenhum dos modelos desenvolvidos com as variáveis de mais fácil medição (9 a 20) apresentaram desempenho qualificado para estimativa da ETo.

Na Tabela 2 encontram-se os resultados da validação dos modelos: os desenvolvidos para a estação chuvosa (1, 3 e 4) apresentaram todos ótimo desempenho nas suas estimativas. Em razão disto, pode-se afirmar que qualquer um destes modelos poderia ser utilizado para estimar a ETo, para as condições de estudo. O desempenho obtido pelas estimativas dos três modelos empíricos desenvolvidos para quantificar a ETo na estação seca em Pentecoste, CE, foi superior ao obtido por CARDOSO et al. (2005), analisando o desempenho das estimativas geradas pela metodologia Razão de Bowen para Fortaleza. Tal fato, por ser a Razão de Bowen uma metodologia amplamente recomendada a nível internacional (MOURA & MARTINS, 1992; STEDUTO & HSIAO, 1998; AZEVEDO, 1999), enfatiza o desempenho dos modelos empíricos utilizados. Diferente do observado nos modelos desenvolvidos para a estação chuvosa, somente um dos modelos empíricos (o de número 8) obteve um desempenho ótimo em suas estimativas na estação seca (Tabela 2), sendo o mesmo o único indicado para estimar a ETo no citado período.

Tabela 1. Análise de todos os modelos confeccionados para estimativa da ETo.

MODELOS ESTATÍSTICOS	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA				r ²
	Rn	u	T	UR	
ET0 emp1= 0,316278Rn + 0,0126645	0,0000	-	-	-	0,9982
ET0 emp2 = 0,314304Rn + 0,0671161U – 0,0126291	0,0000	0,1570	-	-	0,9983
ET0 emp3 = 0,294342Rn + 0,160772U + 0,118898T – 2,94156	0,0000	0,0004	0,0000	-	0,9994
ET0 emp4 = 0,293898Rn+0,108455U–0,0228274T–0,0183211UR+1,12271	0,0000	0,0000	0,0210	0,0000	0,9999
ET0 emp5 = 0,412419Rn + 0,00527602	0,0000	-	-	-	0,8353

ET0 emp6 = 0,269017Rn + 0,812724U – 0,00368646	0,0000	0,0000	-	-	0,9354
ET0 emp7 = 0,280890Rn + 0,683011U + 0,184884T – 4,91026	0,0000	0,0000	0,0000	-	0,9749
ET0 emp8 = 0,275772Rn+0,506678U+0,0847488T-0,0409730UR+0,816008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9993
ET0 emp9 = 4,04456U + 0,507639	-	0,0001	-	-	0,3795
ET0 emp10 = 2,26352U + 1,33221T - 32,803	-	0,0001	0,0000	-	0,8323
ET0 emp11 = 2,18202U + 1,18843T - 0,0269063UR - 26,6456	-	0,0005	0,0016	0,3341	0,8334
ET0 emp12 = 1,57850U + 1,41101	-	0,0000	-	-	0,7585
ET0 emp13 = 1,50223U + 0,14701T - 2,44703	-	0,0000	0,0409	-	0,7837
ET0 emp14 = 1,28423U + 0,0336621T - 0,0467029UR - 4,02887	-	0,0000	0,3600	0,0201	0,8155
ET0 emp15 = 1,56891T – 37,2570	-	-	0,0000	-	0,7300
ET0 emp16 = 0,998259T - 0,100815UR – 14,0282	-	-	0,0152	0,0833	0,7482
ET0 emp17 = 0,337381T – 4,83448	-	-	0,0184	-	0,1419
ET0 emp18 = - 0,0514600T - 0,128814UR + 13,9828	-	-	0,3678	0,0001	0,4864
ET0 emp19 = - 0,249293UR + 24,2571	-	-	-	0,0000	0,7014
ET0 emp20 = - 0,122787UR + 12,1972	-	-	-	0,0000	0,4843

Tabela 2. Equações de regressão, coeficientes de correlação, índices de Willmott, índices “c” e classificações originárias das diferentes correlações entre os valores estimados pelos diferentes modelos estatísticos testados e os estimados pelo método de Penman-Monteith FAO.

MODELO ESTATÍSTICO	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r	id	c	CLASSIFICAÇÃO
ETO emp1	y = 1,003x	0,9979	0,9989	0,9968	Ótimo
ETO emp3	y = 1,0048x	0,9995	0,9997	0,9992	Ótimo
ETO emp4	y = 1,0023x	0,9997	0,9999	0,9996	Ótimo
ETO emp6	y = 1,0369x	0,6778	0,8978	0,6085	Mediano
ETO emp7	y = 1,0261x	0,8726	0,9483	0,8275	muito bom
ETO emp8	y = 0,997x	0,9895	0,9950	0,9845	Ótimo

CONCLUSÕES

A técnica de regressão múltipla possibilitou o desenvolvimento de modelos empíricos com ótimo desempenho na estimativa da ETo;

Os modelos constituídos somente das variáveis de fácil medição não apresentaram desempenho satisfatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, B.M. **Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos**. Piracicaba, 1999. 81p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CARDOSO, G.B.; VIANA, T.V.A.; AZEVEDO, B.M.; SOUSA, V.F.; SOUZA, F. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas. Fortaleza: **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.1, p.16-23., 2005.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidlines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- MOURA, A.L.; MARTINS, D. Comparação da estimativa horária da evapotranspiração através de diferentes métodos. **Energia na Agricultura**, v.7, n.3, p.4-11, 1992.
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 183p., il.
- USP/ESALQ. Depto. Física e meteorologia, 1993. 2ª edição 1996. 505p.
- SILVA, V.P.R.; DANTAS, R.T.; CAMPOS, J.H.B.C.; GUEDES, M.J.F., Estimativa da Evapotranspiração de Referência pelos métodos Penman-Monteith FAO/56, Hargreaves e Tanque Classe “A” em períodos diários e mensais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 12, Fortaleza, Ceará, 2001. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p.467-468.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C. Maize canopies under two soil water regimes. IV. Validity of Bowen ratio-energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5-min intervals. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.89, p.215-228, 1998.
- VIANA, T.V.A.; FOLEGATTI, M.V.; AZEVEDO, B.M.; BOMFIM, G.V.; ELÓI, W.M.. **Evapotranspiração obtida com o sistema Razão de Bowen e com um lisímetro de pesagem em ambiente protegido**. Irriga, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 113-120, 2003.