

ISSN 0104-1347

Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS

Estimating daily reference evapotranspiration in the region of Dourados, Mato Grosso do Sul State, Brazil

Carlos Ricardo Fietz¹, Fabiano Chaves da Silva² e Mário Artemio Urchei³

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar seis métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), na escala diária, para as condições da região de Dourados, MS. A ET_0 foi medida por um lisímetro de pesagem instalado na *Embrapa Agropecuária Oeste*, em Dourados. Os dados utilizados para estimar ET_0 foram coletados por uma estação meteorológica automática instalada junto ao lisímetro. O modelo Penman-Monteith FAO foi o que estimou mais satisfatoriamente a ET_0 . Os métodos de Priestley-Taylor e do tanque classe A também apresentaram um desempenho muito bom. O modelo Hargreaves-Samani foi superior ao de Makkink. O método de Makkink proporcionou as maiores superestimativas de ET_0 . O método de Camargo teve o desempenho mais insatisfatório, tendendo a subestimar a ET_0 .

Palavras-chave: evapotranspiração de referência, lisímetro de pesagem

Abstract: The aim of this work was to evaluate six methods to estimate daily reference evapotranspiration (ET_0) in Dourados, Mato Grosso do Sul State, Brazil. ET_0 was measured in a weighing lysimeter. To estimate ET_0 meteorological data collected by an automatic weather station near the lysimeter were used. The Penman-Monteith FAO model estimated ET_0 more satisfactory. The Priestley-Taylor and class A pan methods also showed a very good performance. The Hargreaves-Samani model had better performance than the Makkink method. The Makkink model provided the largest overestimated values of ET_0 . Camargo method had the most unsatisfactory performance, tending to underestimate ET_0 .

Key words: reference evapotranspiration, weighing lysimeter

Introdução

A evapotranspiração de referência (ET_0) pode ser medida ou estimada a partir de fórmulas teóricas. As medidas diretas têm uso restrito devido ao maior custo e a menor praticidade. Por este motivo, as formas indiretas, baseadas em dados meteorológicos, são mais utilizadas.

Os métodos de estimativa da ET_0 podem ser agrupados em cinco categorias: empíricos, aerodinâmicos, balanço de energia, combinados e correlações dos turbilhões (PEREIRA et al., 1997).

A escolha do método de estimativa da ET_0 depende da disponibilidade de dados, escala de tempo requerida e condições climáticas nas quais o método foi desenvolvido (PEREIRA et al., 2002).

Atualmente, o método Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998) é considerado como padrão. Muitas vezes nem todos os elementos meteorológicos necessários para o uso desse modelo são disponíveis. Nessa situação, outros métodos que necessitam de um número menor de elementos meteorológicos podem ser utilizados. No entanto, é recomendado que esses modelos sejam

¹Eng. Agr. Dr. Embrapa Agropecuária Oeste, Caixa Postal 661, 79804-970, Dourados, MS, Brasil.
Fone: (67) 425-5122. Email: fietz@cpao.embrapa.br

² Eng. Agr. Dr. Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593 - 38400-902 - Uberlândia. - MG. E-mail: fabiano@ciag.ufu.br.

³ Eng. Agr. Dr. Embrapa Agropecuária Oeste. Email: urchei@cpao.embrapa.br

previamente avaliados e, se necessário, calibrados para as condições climáticas de sua utilização.

O objetivo deste trabalho foi avaliar seis métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, na escala diária, para as condições climáticas da região de Dourados, MS.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na *Embrapa Agropecuária Oeste*, em Dourados, MS, cujas coordenadas geográficas são: 22°16'S, 54°49' W e altitude média de 452m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o Cwa, (mesotérmico úmido, com verão chuvoso).

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi medida em um lisímetro de pesagem (FIETZ & URCHEI, 2001), instalado em área gramada de 1500 m², dotada de um sistema de irrigação por aspersão. A umidade do solo do lisímetro foi monitorada por dois tensiômetros instalados a 0,15 m e 0,30 m de profundidade. O sistema de pesagem era composto por dois tanques de chapa de aço carbono 1/8", um interno (1,00 x 1,00 x 0,70 m) e outro externo (1,05 x 1,05 x 0,90 m), e um mecanismo de apoio e transposição de peso, conectado a uma célula de carga (Omega, modelo LCCA – 2 k) de capacidade total 907 kg, resistente à corrosão, hermeticamente fechada e com precisão de 0,0037%. A evapotranspiração diária foi determinada pela variação de massa do lisímetro no período dividida pela superfície gramada do sistema.

Um coletor de dados ("datalogger" Campbell Scientific, Inc., modelo 21x) foi utilizado para realizar as leituras e armazenar os sinais da célula de carga e dos sensores de temperatura e umidade do ar (Vaisala, mod. HMP452), velocidade do vento a 2 m (anemômetro Met – One Instruments, mod. 014A), radiação global (piranômetro Kipp & Zonen, mod. CM3) e radiação líquida (saldo radiômetro REBS, mod. Q-7). As leituras foram realizadas a intervalos de 10 segundos, sendo armazenados os valores médios diários e de cada uma hora.

Os dados foram coletados no período de março de 2001 a fevereiro de 2002. Foram descartados os dias com precipitação, irrigação, drenagem ou manutenção do lisímetro, resultando em 223 valores.

A ET_0 foi estimada pelo método Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998), Priestley-Taylor (PRIESTLEY & TAYLOR, 1972), Makkink (MAKKINK, 1957), Tanque classe A (DOORENBOS & PRUITT, 1984), Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1985) e Camargo (CAMARGO, 1971).

Utilizou-se as expressões apresentadas em PEREIRA et al. (2002) para determinar o fator de ponderação (W) dos métodos Priestley-Taylor e Makkink. O coeficiente do tanque classe A foi calculado pela equação de SNYDER (1992).

Os valores estimados de ET_0 foram confrontados com os medidos, considerados como padrão. O desempenho das estimativas foi avaliado visualmente, através de gráficos de dispersão, e pelos índices estatísticos apresentados em ZACHARIAS et al. (1996): coeficiente de massa residual (CRM), eficiência de modelagem (EF) e raiz quadrada do erro médio (RMSE). Também foi utilizado o índice de concordância de Willmott (ICW) (WILLMOTT, 1981). Numa situação ideal, com valores semelhantes de ET_0 medidos e estimados, tem-se: $EF = ICW = 1$ e $CRM = RMSE = 0$.

Resultados e Discussão

O modelo Penman-Monteith parametrizado pela FAO foi o que estimou mais satisfatoriamente a evapotranspiração de referência diária. O bom desempenho desse método pode ser visualizado pela pequena dispersão dos pontos em relação à reta 1:1, que resultou num elevado valor do coeficiente de correlação (Figura 1a).

A superioridade do modelo Penman-Monteith FAO também foi expressa pelo melhor desempenho de todos os índices estatísticos utilizados para avaliar as estimativas de ET_0 (Tabela 1).

Houve equilíbrio entre valores superestimados e subestimados representados, respectivamente, pelos pontos acima e abaixo da reta. Este comportamento também ficou evidenciado pelo pequeno valor do índice CRM, estatística que pode ser utilizada para diferenciar valores superestimados (sinal negativo) e subestimados (sinal positivo). No entanto, observou-se a tendência do método de Penman-Monteith FAO subestimar os maiores

valores de ET_0 e de superestimar os menores (Figura 1a) que ocorreram, respectivamente, nos meses de verão e inverno. LUNARDI et al. (1999) também observaram, para as condições de Botucatu (SP), que o método Penman-Monteith proporcionou as maiores superestimativas nos meses de inverno, quando ocorre menor evapotranspiração.

O modelo de Priestley-Taylor também apresentou um desempenho satisfatório (Figura 1b e Tabela 1). Esses resultados podem ser atribuídos ao fato do método utilizar nos cálculos valores de radiação líquida, elemento meteorológico fundamental na evapotranspiração e, portanto, com grande influência na precisão das estimativas.

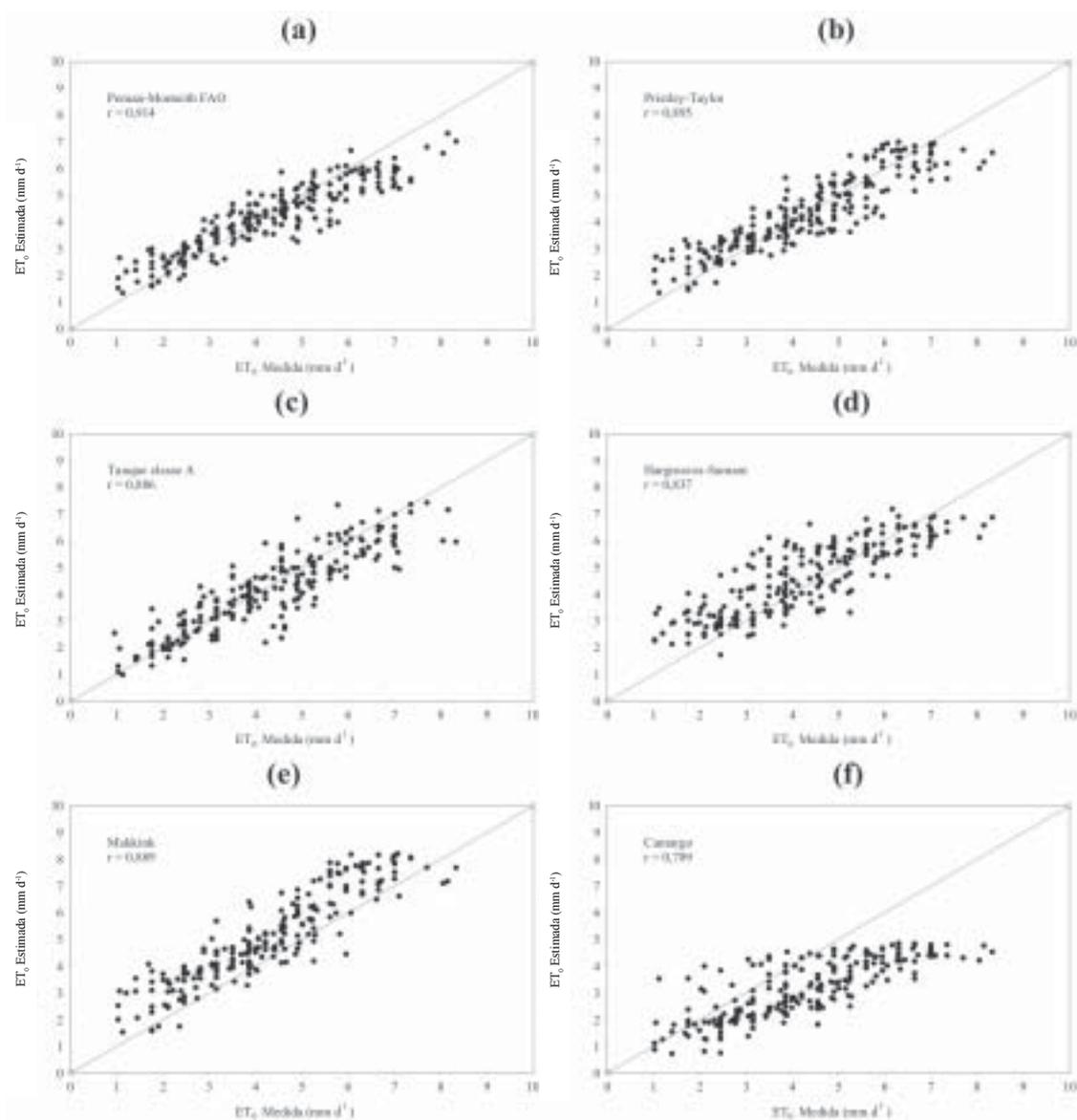


Figura 1. Relação entre Evapotranspiração de referência (ET_0) medida e estimada pelos métodos de Penman-Monteith (a), Priestley-Taylor (b), tanque classe A (c), Hargreaves-Samani (d), Makkink (e) e Camargo (f).

Tabela 1. Desempenho de seis métodos de estimativa da evapotranspiração de referência com base nos índices estatísticos eficiência de modelagem (EF), índice de concordância de Willmott (ICW), coeficiente de massa residual (CRM) e raiz quadrada do erro médio (RMSE).

| Método de determinação | Média (mm d ⁻¹) | EE | ICW | CRM | RMSE |
|------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Lisímetro | 4,24 | | | | |
| Penman-Monteith FAO | 4,17 | 0,810* | 0,937* | 0,017* | 0,168* |
| Priestley-Taylor | 4,32 | 0,795 | 0,937* | -0,018 | 0,175 |
| Tanque classe A | 4,12 | 0,779 | 0,935 | 0,031 | 0,182 |
| Hargreaves-Samani | 4,59 | 0,652 | 0,890 | -0,084 | 0,228 |
| Makkink | 5,09 | 0,506 | 0,884 | -0,199 | 0,272 |
| Camargo | 3,16 | 0,166 | 0,733 | 0,256 | 0,353 |

*melhor desempenho

O método tendeu a superestimar a ET_0 (CRM < 0), comportamento que pode ser atribuído ao fluxo de calor do solo não ter sido considerado e, principalmente, à influência do parâmetro Priestley-Taylor (a). SENTELHAS et al. (2000) também verificaram que o modelo de Priestley-Taylor proporcionou valores superestimados de ET_0 no período chuvoso de Piracicaba (SP) quando se utilizou a equação original do método (a = 1,26).

O método do tanque classe A também apresentou desempenho satisfatório (Figura 1c), apesar da performance ter sido inferior aos modelos Penman-Monteith e Priestley-Taylor (Tabela 1). Ao contrário do observado por AMORIM et al. (1997) e PEREIRA (1998), o método do tanque classe A tendeu a subestimar ET_0 , principalmente, no período de maior demanda hídrica.

O desempenho do método de Hargreaves-Samani foi satisfatório. Apesar da simplicidade da metodologia de cálculo, que exige apenas as temperaturas máxima e mínima diária, o método apresentou índices de desempenho superiores aos obtidos pelo modelo de Makkink (Figura 1), que necessita, além de temperatura, de dados de radiação solar global.

A equação de Makkink proporcionou as maiores superestimativas de ET_0 . Observando-se a Figura 1e, percebe-se que quase a totalidade dos pontos situaram-se acima da reta, resultando num alto valor negativo do índice CRM. Esses resultados

devem-se, provavelmente, aos coeficientes da equação original não serem adequados para a região de Dourados. Deve-se considerar que esses coeficientes foram obtidos para as condições da Holanda, não podendo ser considerados universais (CUNHA & BERGAMASCHI, 1994), pois podem variar de local para local (PEREIRA et al. 1997).

O método de Camargo apresentou um desempenho insatisfatório, tendendo a subestimar ET_0 . Ao contrário do verificado por CAMARGO & SENTELHAS (1997), para períodos mensais, e por MEDEIROS (1998), para períodos de cinco dias, a equação de Camargo não proporcionou boas estimativas de ET_0 na escala diária. Os resultados foram similares aos obtidos por BONOMO et al. (1998) que, para as condições de Minas Gerais, também observaram uma tendência da equação de Camargo subestimar a ET_0 diária.

Conclusões

O modelo Penman-Monteith FAO foi o que estimou mais satisfatoriamente a ET_0 diária para as condições da região de Dourados. Os métodos de Priestley-Taylor e do tanque classe A também apresentaram um desempenho satisfatório. O modelo Hargreaves-Samani proporcionou melhores estimativas de ET_0 que o de Makkink. A equação de Makkink proporcionou as maiores superestimativas de ET_0 . O método de Camargo obteve o desempenho mais insatisfatório, tendendo a subestimar ET_0 diária.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMORIM, M.C. et al. Avaliação da evapotranspiração de referência estimada por diferentes modelos de coeficiente de tanque classe A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 683-685.

BONOMO, R.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) para as regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA: SBEA, 1998. v. 1, p. 307-309.

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

CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Coeficientes das equações de Makkink e Priestley-Taylor para a estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 33-36, 1994.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1984. 194 p. (FAO. Riego y Drenaje, 24).

FIETZ, C.R., URCHER, M.A. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem em Dourados (MS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza.

Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 371-372.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature: meeting**. Chicago: American Society of Agricultural Engineering, 1985. (ASAE. Paper 85-2517).

LUNARDI, M.A.; LUNARDI, D.M.C.; CAVAGUTI, N. Comparação entre medidas evapotranspirométricas e metodologia da FAO, na determinação da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 4, n. 1, p. 52-66, 1999.

MAKKINK, G.E. Ekzameno de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.

MEDEIROS, S.L.P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba.: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A.R.; VILLANOVA, N.A.; SEDIYAMA G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, F.A.C. **Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) em relação a um lisímetro de pesagem**. Piracicaba: USP, 1998. 87 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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.

SENTELHAS, P. C. et al. Variação sazonal do parâmetro de Priestley-Taylor para estimativa diária da evapotranspiração de referência. **Revista**

Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 49-53, 2000.

SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.

ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C.D.; COAKLEY, C.W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 1, p. 47-54, 1996.

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