



Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Santo Antônio do Leverger-MT

Alessandro Ferronato¹, Léo Adriano Chig², Daniel de Brito Goulart³, José Holanda Campelo Júnior³, Luiz Carlos Pereira³ e Marcelo Sacardi Biudes³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Juína, MT.

²Universidade de Cuiabá, Cuiabá, MT. E-mail: leochig@gmail.com (Autor correspondente).

³Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

Palavras-chave:

demanda hídrica
modelo
cerrado

RESUMO

Com o objetivo de comparar diferentes métodos de cálculo de evapotranspiração de referência (ET₀) com o método padrão de Penman-Monteith-FAO 56, utilizou-se dados meteorológicos diários da Estação Meteorológica Padre Ricardo Remetter, instalada na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, para as estações do ano de 2006. Os métodos de Penman e Hargreaveas-Samani mostraram-se adequados para estimar ET₀, em todas as estações do ano, quando comparados ao método padrão de Penman-Monteith-FAO 56. O método do Tanque Classe A não apresentou ajustes satisfatórios para estimar ET₀ em comparação ao método de Penman-Monteith-FAO 56. Nas estações mais úmidas (primavera e verão) foi onde se observou o maior número de métodos com desempenho “ótimo”, “muito bom” e “bom” para o índice “c”, quando comparado com as estações mais secas (outono e inverno).

Key words:

irrigation
models
brazilian cerrado

Methods for estimating the evapotranspiration of reference for Santo Antônio do Leverger-MT

ABSTRACT

In order to compare different methods of calculating evapotranspiration reference (ET₀) with the standard method of FAO Penman-Monteith 56, it was used daily weather in Weather Station Pe Ricardo Remetter, installed in Experimental Farm of the Federal University of Mato Grosso, for the seasons of 2006. The methods of Penman and Hargreaveas-Samani, proved adequate to estimate ET₀ in all seasons of the year when compared to the standard method of Penman-Monteith-FAO 56. The method of Class A pan has not submitted satisfactory adjustments to estimate ET₀ compared to the method of Penman-Monteith-FAO 56. Humid seasons (spring and summer) was observed where the largest number of methods with performance "excellent", "very good" and "good" for the index "c" when compared with the drought seasons (autumn and winter).

Introdução

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) apresenta, em seu documento número 56 de estudos de irrigação e drenagem, um método para o cálculo da evapotranspiração da cultura de referência (ET₀). Este método é o resultado de avanços na investigação e disponibilização de cálculos mais adequados para a determinação do uso da água em projetos de irrigação de culturas perenes e anuais (Ortega-Farias

et al., 2004).

Considerando que as condições em que se realiza um cultivo não são as mesmas consideradas para a cultura de referência, é comum associar a ET₀ com coeficientes de cultura (K_c) para se estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c) (Oliveira e Carvalho, 1998; Ventura *et al.*, 1999; Ortega-Farias *et al.*, 2004). Existem vários métodos para a estimativa de ET₀ com o uso dos coeficientes de cultura, no entanto tais métodos são utilizados em condições climáticas e agronômicas diferentes daquelas em que

inicialmente foram concebidos, tornando-se conveniente avaliar o grau de exatidão desses modelos para o local de sua aplicação (Oliveira *et al.*, 2001).

O método padrão adotado pela FAO tem apresentado concordância com dados medidos por lisimetria ou balanço de energia em condições preconizadas como padrão, conforme está descrito por Allen *et al.* (2006). Seu alto grau de consistência nos diversos ambientes permite que seja utilizado para avaliar outros métodos de estimativa de ET₀ (Smith, 1991). Contudo, o método padrão exige um grande número de variáveis meteorológicas que podem não estar disponíveis, ficando seu uso mais restrito aos meios acadêmicos, em detrimento dos usuários finais, como os produtores agrícolas.

Vários métodos de estimativa de ET₀ foram comparados com o modelo padrão de Penman-Monteith-FAO 56 e alguns métodos apresentaram correlação significativa com o padrão, possibilitando o emprego de métodos que produzam estimativas com precisão para os usuários, com uma quantidade menor de variáveis meteorológicas e que estejam mais facilmente disponíveis (Alves Sobrinho *et al.*, 1998; Oliveira e Carvalho, 1998; Andrade Júnior *et al.*, 2003; Turco *et al.*, 2005, Vescove e Turco, 2005).

Este trabalho teve por finalidade a comparação de oito métodos de determinação da evapotranspiração de referência (Penman, Makkink, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, Hargreaves, Hargreaves-Samani e o Tanque Classe A), com o método padrão de Penman-Monteith-FAO 56, para as 4 estações do ano em Santo Antônio do Leverger, Mato Grosso.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido com a utilização de dados meteorológicos diários do ano de 2006, coletados na Estação Meteorológica convencional Padre Ricardo Remetter, localizada na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Município de Santo Antônio do Leverger-MT, situado dentro da Amazônia Legal. As coordenadas geográficas são 15° 51' 16,8" latitude sul

e 56° 04' 14,3" de longitude oeste. A altitude é de 140 metros acima do nível do mar, distante 33 km de Cuiabá-MT. A região apresenta clima do tipo Aw pela classificação de Köppen, e solos litólicos distróficos.

A evapotranspiração de referência diária foi obtida através da Equação 1, e os cálculos necessários para resolver esta equação foram os descritos por Allen *et al.* (2006).

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (1)$$

em que: ET₀ é a evapotranspiração de referência Penman-Monteith-FAO 56 (mm.dia⁻¹), R_n é a radiação líquida (MJ.m⁻².dia⁻¹), G é o fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹), T é a temperatura média do ar (°C), U₂ é a velocidade diária do vento a 2 m de altura (m.s⁻¹), e_s é a pressão de vapor de saturação (KPa), e_a é a pressão real de vapor (KPa), Δ é a tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água (KPa.°C⁻¹), e γ é a constante psicrométrica (KPa.°C⁻¹). Foram desconsiderados os valores do fluxo de calor no solo (G), para períodos de um a dez dias, segundo Allen *et al.* (2006).

Os demais métodos de estimativas de ET₀ calculados são:

a) Penman (Equação 2), com cálculos descritos por Machado e Mattos (2000).

$$ET_0 = \left[\left(\frac{\Delta}{\gamma} \right) H + Re_a \right] \left[\left(\frac{\Delta}{\gamma} \right) + 1 \right]^{-1} \quad (2)$$

em que: ET₀ - evapotranspiração de referência para a grama em mm.dia⁻¹, Δ - tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água à temperatura média do ar (KPa.°C⁻¹), γ - a constante psicrométrica (KPa.°C⁻¹), H - radiação global líquida (mm.dia⁻¹), Re_a - poder evaporante do ar atmosférico, função da velocidade do vento medido a 2 m de altura, em m.s⁻¹, e do déficit de saturação de vapor d'água no ar, em mm.dia⁻¹.

b) Makkink (Equação 3) com cálculos descritos por Cunha e Bergamaschi (1994), sendo que o coeficiente 0,87 empregado neste método foi o proposto por estes autores para estimativas diárias.

$$ET0 = 0,87.W.Rg - 0,12 \quad (3)$$

em que: ET0 - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), W - índice que depende do coeficiente psicrométrico γ (KPa.K⁻¹) e da tangente à curva de pressão de vapor em relação à temperatura (KPa.K⁻¹), Rg - radiação global (mm.dia⁻¹).

c) Blaney-Criddle (Equações 4, 5, 6, e 7), com cálculos descritos por Fernandes (2006).

$$ET0 = a + b.f \quad (4)$$

$$f = p.(0,46.T + 8,13) \quad (5)$$

$$a = 0,0043.UR_m - S - 1,41 \quad (6)$$

$$b = 0,82 - 0,041.UR_m + 1,07.S + 0,066.U_2 - 0,06.S.U_2.UR_m - 0,0006.U_2.UR_m \quad (7)$$

em que: ET0 - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), p - porcentagem mensal do fotoperíodo anual da região, T - temperatura do ar média diária (°C), U₂ - velocidade do vento a 2 m (m.s⁻¹), S - razão de insolação (n/N), UR_m - umidade relativa mínima diária no período considerado.

d) Jensen-Haise (Equação 8).

$$ET0 = (0,0252.T + 0,078).Rg \quad (8)$$

em que: ET0 - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), T - temperatura média (°C), e Rg - radiação global (mm.dia⁻¹).

e) Priestley-Taylor (Equação 9).

$$ET0 = 1,26.W.(Rn - G) \quad (9)$$

em que: ET0 - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), W - índice expresso na Equação 3, Rn - radiação líquida (mm.dia⁻¹), G - fluxo de calor para o

solo em mm.dia⁻¹.

f) Hargreaves (Equação 10).

$$ET0 = 0,0135.Rg.(T + 1,78) \quad (10)$$

em que: ET0 - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), Rg - radiação global (mm.dia⁻¹), T - temperatura média (°C).

g) Hargreaves-Samani (Equações 11 e 12).

$$ET0 = 0,0023.Ra.(Am)^{1/2}.(T + 1,78) \quad (11)$$

$$Am = T_{max} - T_{min} \quad (12)$$

em que: ET0 - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), Ra - radiação extraterrestre (mm.dia⁻¹), T - temperatura média (°C), Am - amplitude térmica (°C), T_{max} - temperatura máxima (°C), T_{min} - temperatura mínima (°C).

h) Tanque Classe A (Equação 13), com cálculos descritos por Vescove e Turco (2005).

$$ET0 = K_p.ECA \quad (13)$$

em que: ET0 - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), K_p - coeficiente do tanque, ECA - evaporação do Tanque Classe A (mm.dia⁻¹).

A análise dos resultados foi feita para valores diários da ET0, em mm.dia⁻¹, utilizando-se da análise de regressão, considerando o modelo linear $y = bx + a$, na qual a variável dependente foi o método de Penman-Monteith-FAO 56, e a estimativa da ET0 pelos demais métodos foi a variável independente. Foram analisados os ajustes dos modelos de regressão por meio do teste “t”, a 1% e 5% de probabilidade. Além disso, a análise dos resultados baseou-se em erro médio padrão da estimativa (RMSE), erro aleatório (MSEu), erro sistemático (MSEs), precisão - coeficiente de correlação (r), exatidão - índice de Willmott (d), e o índice de confiança ou desempenho (c) e sua classificação,

conforme descrito em Sentelhas *et al.* (1997); Andrade Júnior *et al.* (2003).

Resultados e Discussão

Nas Figuras 1 e 2, podem ser observadas as relações entre os métodos estudados e o padrão (Penman-

Monteith-FAO 56), com valores diários da ET₀, em mm.dia⁻¹. Os resultados foram analisados separadamente para as quatro estações do ano.

Pela análise das Figuras 1 e 2, observa-se que o ajuste dos diferentes métodos foi bastante variável na mesma estação, bem como entre as diferentes estações do ano, para o local de estudo.

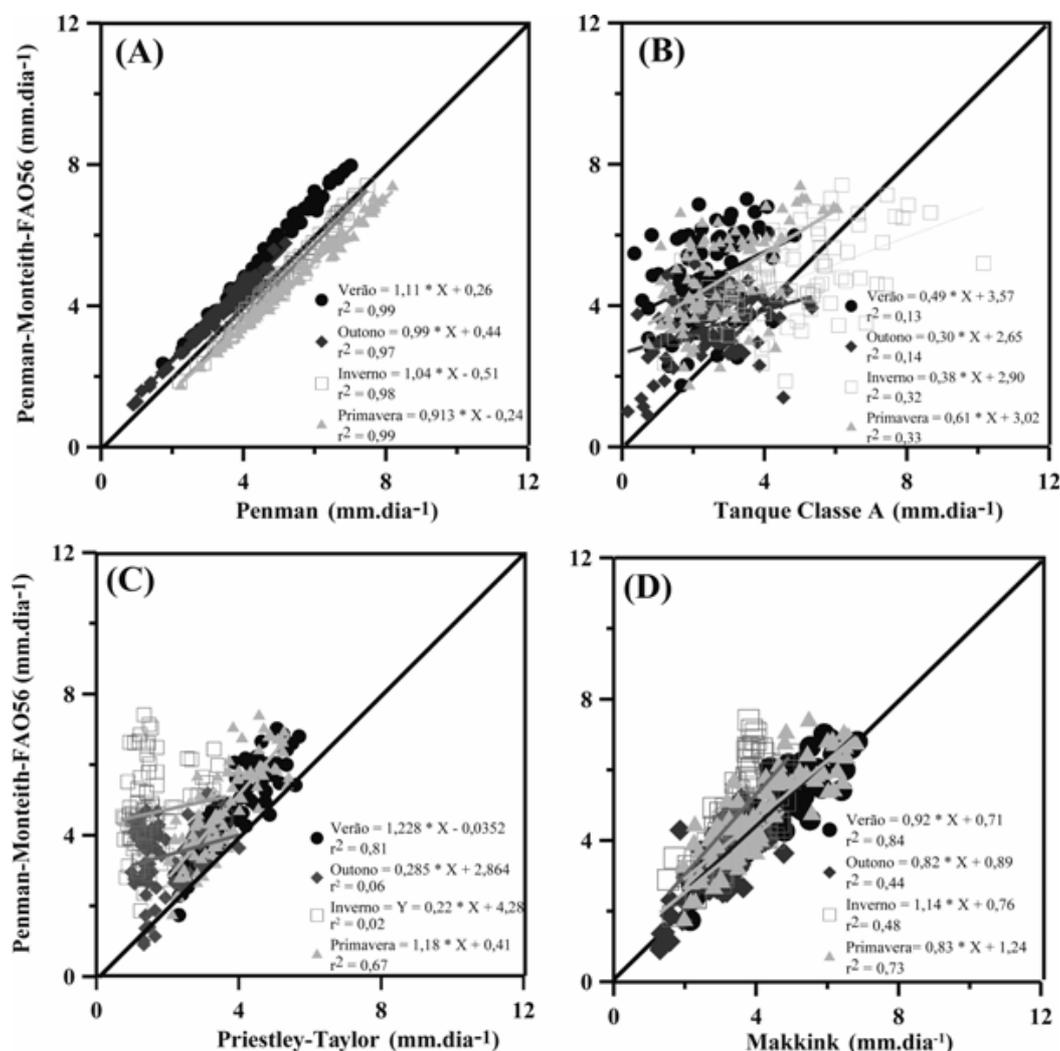


Figura 1. Relações entre valores diários da evapotranspiração de referência estimados pelos métodos de Penman (A), Makkink (B), Blaney-Cridde (C) e Jensen-Haise (D), contra os valores obtidos pelo método padrão, Penman-Monteith-FAO 56, para as quatro estações do ano de 2006, Santo Antônio do Leveger-MT.

Apenas o método de Penman (Figura 1A) apresentou, independentemente das estações do ano, os maiores valores de coeficiente de determinação ($r^2 > 0,97$). Por outro lado, o método do Tanque Classe A (Figura 1B) proporcionou valores baixos em todas as estações, concordando com o resultado do trabalho de Silva *et al.* (2005), que observaram

valores do coeficiente de determinação inferiores a 0,4. Dantas Neto (1999), avaliando métodos de estimativa da ET₀ para Mossoró - RN, observou que os valores médios da ET₀ obtidos pelo método do tanque Classe A não apresentaram ajuste em relação ao método de Penman-Monteith-FAO 56.

Alguns métodos analisados neste trabalho

fundamentam-se no modelo original de Penman, sendo que a mais conhecida simplificação do método combinado de Penman é a equação de Priestley-Taylor, na qual a evapotranspiração pode ser equacionada como dependente apenas do termo energético da equação de Penman e da temperatura do ar. O coeficiente empírico 1,26 (parâmetro α de Priestley-Taylor) da Eq. 9, é um valor médio que substitui o termo aerodinâmico, mas que, quando empregado indistintamente entre as estações do ano, promoveu grande variação no ajuste ao método padrão, com o coeficiente de determinação variando de 0,02 a 0,81 (Figura 1C).

Pereira *et al.* (1997) encontraram grande variação do valor do parâmetro α nas condições climáticas de São Paulo. A variação ficou ainda mais evidente na avaliação da influência dos períodos chuvosos e secos, o que indica forte dependência sazonal desse parâmetro. O estudo de Sentelhas *et al.* (2000), sobre a sazonalidade do parâmetro α de Priestley-Taylor, resultou na variação de acordo com as condições de umidade regional. Os autores consideram que, para o uso adequado do método, é conveniente a adoção de valores distintos desse parâmetro para a condição de advecção.

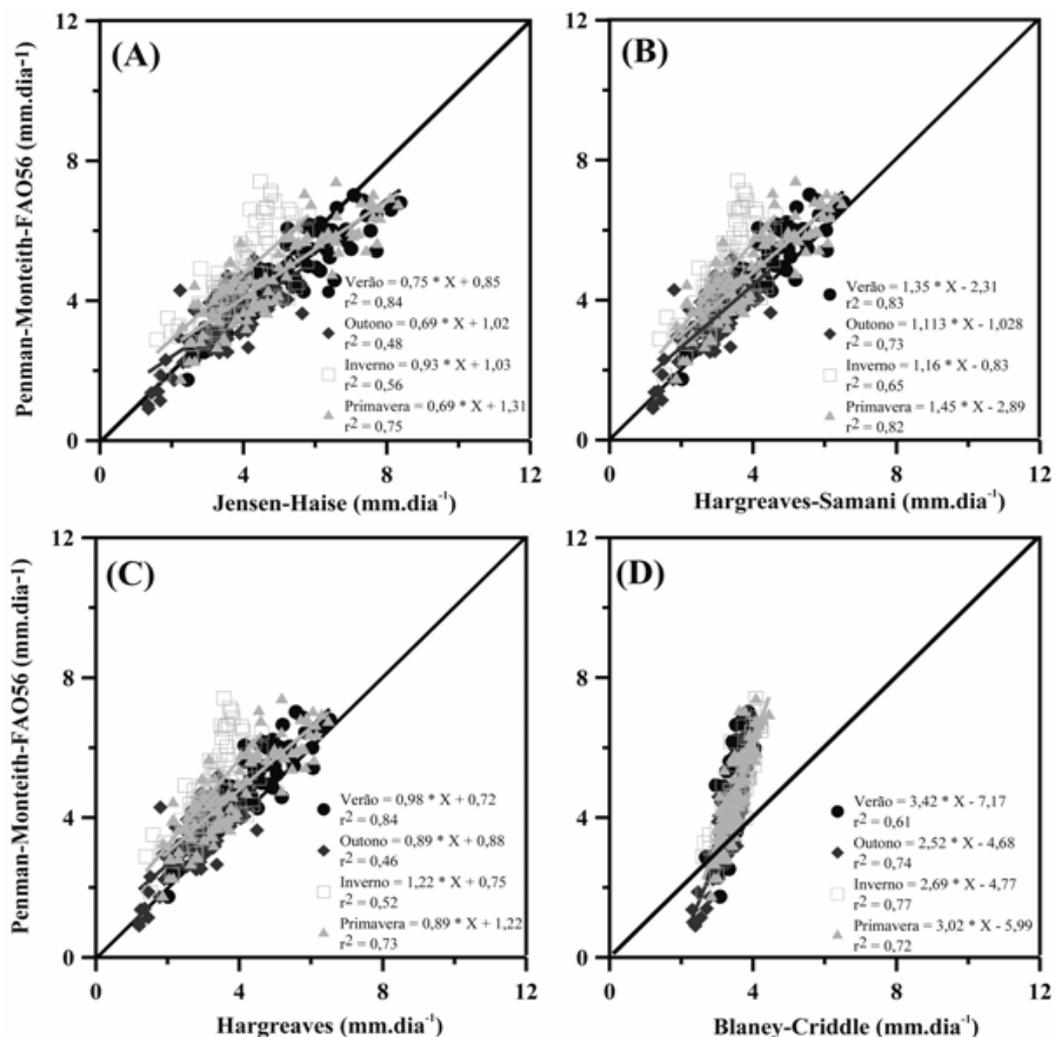


Figura 2. Relações entre valores diários da evapotranspiração de referência estimados pelos métodos de Priestley-Taylor (A), Hargreaves (B), Hargreaves-Samani (C) e Tanque Classe A (D), contra os valores obtidos pelo método padrão, Penman-Monteith-FAO 56, para as quatro estações do ano de 2006, Santo Antônio do Leveger-MT.

O método de Makkink subestima ligeiramente a ET_0 em relação ao método padrão, em termos médios, apresentando ajuste significativo apenas para as estações da primavera e verão (Figura 1D). Resultado semelhante foi encontrado por Vescove e Turco (2005) na escala diária para períodos de verão-outono e inverno-primavera. De forma similar ao método de Makkink, os métodos de Jensen-Haise (Figura 2A) e Hargreaves (Figura 2C) apresentaram relação significativa com o método padrão também para as estações da primavera e verão, com ligeira superestimava média da ET_0 ajustada.

O método de Jensen-Haise foi desenvolvido na região semi-árida norte americana, e seu uso é recomendado para a escala mensal ou superior (Fernandes, 2006). Contudo no trabalho desenvolvido na região de estudo foi observado um ajuste satisfatório com o método padrão na escala diária no período de primavera e verão, evidenciando a possibilidade de ajustar os coeficientes empíricos da Equação 8 para se obter melhores ajustes, na mesma escala, para as estações do outono e inverno.

Para Fernandes (2006), o método de Hargreaves apresenta bons resultados na escala diária, contudo o resultado de sua relação com o método padrão evidenciou a necessidade de calibração do método para as estações do outono e inverno para a área de estudo.

A Figura 2D apresenta a relação entre o método de Blaney-Criddle e o padrão, com ajustes significativos em todas as estações do ano. Porém foi observada uma elevada subestimativa da ET_0 , resultado que não corrobora com o observado por Fernandes (2006).

Camargo e Camargo (2000) apresentaram dados da literatura e dos próprios autores informando uma superestimativa maior no período do inverno. Ao contrário, este estudo obteve maiores superestimativas para as estações da primavera e verão com o emprego do método de Blaney-Criddle, ajustado ao método padrão neste trabalho.

Outro método que apresentou ajustes significativos com o método padrão para todas as estações do ano foi o de Hargreaves-Samani (Figura

2B), apresentando ligeira superestimativa da ET_0 . Borges e Mendiondo (2007) encontraram superestimativas menores na escala mensal do que as encontradas neste trabalho. Os autores propuseram ajustes no coeficiente 0,0023 da Eq. 11, para valores de 0,00224 (período de setembro a abril) e 0,00202 (período de maio a agosto), encontrando assim estimativas muito próximas da proporção 1:1 em relação ao eixo de 45° (Figura 1 e 2), bem como uma melhoria do desempenho do método em relação ao padrão.

Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se os resultados obtidos para a significância dos estimadores da regressão linear obtidos pelas relações entre os métodos de estimativa da ET_0 e o método padrão, bem como o erro médio (RMSE), os erros sistemático (MSEs) e aleatório (MSEu), a exatidão, a precisão, o desempenho e a classificação do desempenho dos métodos nas estações do verão, primavera, outono e inverno, respectivamente.

O erro médio observado entre os métodos variou de 0,355 (Penman para o inverno, Tabela 2) a 3,255 (Priestley-Taylor para o inverno, Tabela 2). A estação do ano que apresentou maior número de métodos com erro médio inferior à unidade foi o outono (seis métodos), contra a estação do inverno, que apresentou seis métodos com erro médio superior à unidade. Independentemente da estação do ano, o método que apresentou o menor erro médio, em média, foi o de Penman, ao contrário do método do Tanque Classe A que apresentou o maior erro médio.

O erro sistemático é um erro que varia de forma previsível, podendo ser corrigido por ajustes, sendo que este tipo de erro não tem impacto adverso na confiança de um determinado resultado. Já o erro não sistemático ou aleatório varia de forma imprevisível, produzindo inconsistência nos resultados, o que leva a baixo nível de confiança.

Em todas as estações do ano para Santo Antônio do Leveger-MT, houve predominância de erros não sistemáticos entre os métodos em relação ao padrão, variando de 21,7% a 78,1% no verão e 19,2% a 80,4% na primavera (Tabela 1); 13,7% a 84,0% no outono e 4,2% a 88,5% no inverno (Tabela 2).

Tabela 1. Análise de regressão e índices de desempenho estatístico da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 (PNMT) em relação ao método de Penman (PN), Makkink (MAK), Blaney-Criddle (BC), Jensen-Haise (JH), Priestley-Taylor (PT), Hargreaves (H), Hargreaves-Samani (HS) e o Tanque Classe A (TCA) para a primavera e verão de 2006 em Santo Antônio do Leverger-MT.

Comparações	A	b	RMSE	MSE _S	MSE _U	D	r	c	Classificação
PRIMAVERA									
PNMT x PN	-0,237**	0,913**	0,731	0,808	0,192	0,994	0,995	0,99	<i>Ótimo</i>
PNMT x MAK	1,245**	0,836**	0,910	0,324	0,676	0,986	0,854	0,84	<i>Muito Bom</i>
PNMT x BC	-5,996**	3,024**	1,552	0,196	0,804	0,834	0,850	0,71	<i>Bom</i>
PNMT x JH	1,306**	0,693**	0,850	0,250	0,750	0,990	0,864	0,86	<i>Muito Bom</i>
PNMT x PT	0,408 ^{NS}	1,182**	1,319	0,473	0,527	0,939	0,819	0,77	<i>Muito Bom</i>
PNMT x H	1,219**	0,893**	1,050	0,480	0,520	0,977	0,860	0,84	<i>Muito Bom</i>
PNMT x HS	-2,891**	1,449**	0,846	0,415	0,584	0,991	0,908	0,90	<i>Ótimo</i>
PNMT x TCA	3,025**	0,614**	2,281	0,327	0,672	0,660	0,578	0,38	<i>Péssimo</i>
VERÃO									
PNMT x PN	-0,203**	0,891**	0,820	0,783	0,217	0,907	0,996	0,90	<i>Ótimo</i>
PNMT x MAK	0,711**	0,925**	0,623	0,349	0,651	0,932	0,916	0,85	<i>Muito Bom</i>
PNMT x BC	-7,170**	3,424**	1,596	0,219	0,781	0,545	0,784	0,42	<i>Mau</i>
PNMT x JH	0,848**	0,754**	0,726	0,419	0,581	0,925	0,916	0,85	<i>Muito Bom</i>
PNMT x PT	-0,035 ^{NS}	1,227**	1,015	0,443	0,557	0,801	0,899	0,72	<i>Muito Bom</i>
PNMT x H	0,720**	0,979**	0,798	0,612	0,388	0,889	0,917	0,81	<i>Muito Bom</i>
PNMT x HS	-2,311**	1,349**	0,751	0,430	0,570	0,868	0,912	0,79	<i>Muito Bom</i>
PNMT x TCA	3,573**	0,486**	2,659	0,241	0,759	0,424	0,366	0,15	<i>Péssimo</i>

** significativo a 1%; ^{NS} não significativo; a = coeficiente linear; b = coeficiente angular; RMSE = erro médio; MSE_S = erro sistemático; MSE_U = erro não sistemático; d = exatidão - índice de Willmott; r = precisão - coeficiente de correlação e c = confiança ou desempenho.

Tabela 2. Análise de regressão e índices de desempenho estatístico da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 (1998) (PNMT) em relação ao método Penman (PN), Makkink (MAK), Blaney-Criddle (BC), Jensen-Haise (JH), Priestley-Taylor (PT), Hargreaves (H), Hargreaves-Samani (HS) e Tanque Classe A (TCA) para o outono e inverno de 2006 em Santo Antônio do Leverger-MT.

Comparações	a	b	RMSE	MSE _S	MSE _U	D	r	c	Classificação
OUTONO									
PNMT x PN	-0,338**	0,975**	0,457	0,863	0,137	0,933	0,987	0,92	<i>Ótimo</i>
PNMT x MAK	0,890**	0,821**	0,745	0,182	0,818	0,788	0,663	0,52	<i>Sofrível</i>
PNMT x BC	-4,683**	2,520**	0,668	0,445	0,554	0,707	0,859	0,61	<i>Mediano</i>
PNMT x JH	1,024**	0,688**	0,689	0,159	0,840	0,819	0,690	0,56	<i>Sofrível</i>
PNMT x PT	2,864**	0,285*	1,765	0,170	0,830	0,455	0,247	0,11	<i>Péssimo</i>
PNMT x H	0,876**	0,889**	0,853	0,353	0,647	0,757	0,678	0,51	<i>Sofrível</i>
PNMT x HS	-1,028**	1,113**	0,735	0,778	0,221	0,793	0,856	0,68	<i>Bom</i>
PNMT x TCA	2,651**	0,301**	1,400	0,222	0,777	0,603	0,377	0,23	<i>Péssimo</i>
INVERNO									
PNMT x PN	-0,512**	1,040**	0,355	0,850	150	0,976	0,990	0,97	<i>Ótimo</i>
PNMT x MAK	0,758 ^{NS}	1,137**	1,493	0,886	0,113	0,616	0,693	0,43	<i>Mau</i>
PNMT x BC	-4,774**	2,687**	1,430	0,156	0,844	0,582	0,876	0,51	<i>Sofrível</i>
PNMT x JH	1,031**	0,931**	1,091	0,427	0,573	0,752	0,746	0,56	<i>Sofrível</i>
PNMT x PT	4,283**	0,222 ^{NS}	3,255	0,114	0,885	0,354	0,147	0,05	<i>Péssimo</i>
PNMT x H	0,754 ^{NS}	1,226**	1,687	0,229	0,771	0,582	0,724	0,42	<i>Mau</i>
PNMT x HS	-0,828 ^{NS}	1,164**	0,702	0,958	0,042	0,866	0,809	0,70	<i>Bom</i>
PNMT x TCA	2,904**	0,379**	1,452	0,250	0,750	0,717	0,568	0,41	<i>Mau</i>

* significativo a 5%; ** significativo a 1%; ^{NS} não significativo; a = coeficiente linear; b = coeficiente angular; RMSE = erro médio; MSE_S = erro sistemático; MSE_U = erro não sistemático; d = exatidão - índice de Willmott; r = precisão - coeficiente de correlação e c = confiança ou desempenho.

O método do Tanque Classe A apresentou erros não sistemáticos acima de 67,2% em todas as estações do ano, seguido pelos métodos de Jensen-Haise (MSEu>57,3%), Blaney-Criddle (MSEu>55,4%), Priestley-Taylor (MSEu>52,7%), sendo que os métodos que apresentaram MSEu>50% em uma ou outra estação do ano foram: Hargreaves (outono, inverno e primavera), Hargreaves-Samani (primavera e verão) e Makkink (primavera, verão e outono).

A confiança ou desempenho das relações estudadas neste trabalho apresentou significativa variação entre os métodos e entre as estações do ano, sendo que o método de Penman apresentou desempenho acima de 0,9 em todas as estações, ao contrário do Tanque Classe A, que apresentou péssimo desempenho em praticamente todas as estações.

No verão, os métodos que apresentaram desempenho muito bom ou superior tenderam a estimar a ET₀ em relação ao padrão com maior precisão e menor exatidão, exceto para os métodos de Makkink e Jensen-Haise.

Verificou-se que na estação da primavera, com exceção do método do Tanque Classe A, métodos com bom desempenho ou superior, onde o índice "c" variou de 0,71 a 0,99. Ao contrário do observado no verão, naquela estação os métodos tenderam a estimar a ET₀ em relação ao padrão com maior exatidão e menor precisão, exceto os métodos de Penman e Blaney-Criddle.

O desempenho dos métodos na estação do outono, apresentado na Tabela 2, variou predominantemente de mediano a péssimo, com exceção do método de Penman. Os métodos que tiveram índice "c" inferior a 0,61 apresentaram maior exatidão e menor precisão, por outro lado, aqueles que apresentaram desempenho superior ao mediano tiveram maior precisão e menor exatidão na estimativa da ET₀.

Na estação do inverno, conforme se observa na Tabela 2, os métodos apresentaram maior exatidão e menor precisão, independentemente do desempenho, que, com exceção do método de

Penman e Hargreaves-Samani, variou de sofrível a péssimo.

Conclusões

Na região de Santo Antônio do Leverger, em Mato Grosso, o método do Tanque Classe A não apresentou desempenho satisfatório para a estimativa da ET₀ nas quatro estações do ano;

As equações de Penman e de Hargreaves-Samani atendem satisfatoriamente à estimativa da ET₀ na região estudada, independentemente da estação do ano;

Considerando apenas o período mais úmido (Primavera/Verão), as estimativas da ET₀ pelos métodos de Makkink, Jensen-Haise, Priestley-Taylor e o de Hargreaves apresentaram desempenho satisfatório.

Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M., **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 298p, 2006. (Estúdio FAO: Riego y Drenage, 56).
- ALVES SOBRINHO, T.; BONOMO, R.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C., Estimativa da evapotranspiração de referência para Dourados e Ponta Porá, MS, Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, v.1, n.1, 1998. p.32-34.
- ANDRADE JR., A.S. de; BASTOS, E.A.; SENTELHAS, P.C.; SILVA, A.A.G. da. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, 2003. p.63-68.
- 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**, v.11, n.3, 2007. p.293-300.
- CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Brantia**, v.59, n.2, 2000. p.125-137.
- CUNHA, G.R. da; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.2, n.1, 1994. p.9-16.
- DANTAS NETO, F.S. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Mossoró - RN. **Engenharia na Agricultura**, v.7, n.1, 1999. p.46-55.

- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.D. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome : FAO, 179 p. 1975.(Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FERNANDES, L.C. Avaliação de diversas equações empíricas de evapotranspiração. Estudo de Caso: Campos dos Goytacazes e Ilha do Fundão-RJ. **Dissertação de Mestrado**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 142p. 2006.
- MACHADO, R.W.; MATTOS, A. Avaliação do desempenho de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.2, 2000. p.193-197.
- OLIVEIRA, A.D. de; VOLPE, C.A. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando dados de estações meteorológicas convencional e automática, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n.2, 2003. p.253-260-54.
- OLIVEIRA, L.F.C. de; CARVALHO, D.F. de; ROMÃO, P. de A.; CORTÊS, F.C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 31(2): 121-126, 2001.
- OLIVEIRA, M.A.A. de; CARVALHO, D.F. de. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, 1998. p.132-135.
- ORTEGA-FARÍAS, S.; OLIOSO, A.; ANTONIOLETTI, R.; BRISSON, N. Evaluation of the Penman-Monteith model for estimating soybean evapotranspiration. **Irrig. Sci.** 2004. 23:1-9.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; Pereira, A.S et al. Model for the class a Pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 76. 1995. p. 75-88.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. O parâmetro de Priestley-Taylor para estimativa da evapotranspiração de referência na escala mensal. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, 1997. p.83-87.
- SENTELHAS, P.C.; MORAES, S.O.; PIEDADE, S.M.S.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, 1997. p.215-21.
- SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, F.A.C.; VILLA NOVA, N.A.; MAGGIOTTO, S.R. Variação sazonal do parâmetro de Priestley-Taylor para estimativa diária da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.1, 2000. p.49-53.
- SILVA, V. de P.R. da; BELO FILHO, A.F.; SILVA, B.B. da; CAMPOS, J.H.B. da C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, 2005. p.547-553.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO. 54 p. 1991.
- STANHILL, G. A comparison of methods of calculating potential evapotranspiration from climatic data. **Israel Journal Agricultural Research**, v. 11, 1961. p. 159-171.
- TURCO, J.E.P.; FARIA, M.T. de; FERNANDES, E.J. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.3, 2005. p.215-228.
- VENTURA, E.; SPANO, D.; DUCE, P.; SNYDER, R.L. An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrig. Sci.**, v.18, 1999. p.163-170.
- VESCOVE, H.V.; TURCO, J.E.P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.3, 2005. p.713-721.