

## ESTIMATIVA DA NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO MILHO SAFRINHA EM SORRISO-MT POR MÉTODOS AGROCLIMATOLÓGICOS

LUIZ RICARDO SOBENKO<sup>1</sup>, EDER DUARTE FANAYA JÚNIOR<sup>1</sup>,  
OTÁVIO NETO ALMEIDA SANTOS<sup>1</sup> e PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP)

Avenida Pádua Dias, 11 – CEP 13418-900 – Piracicaba-SP,

luizsobenko@usp.br, eder.fanayajr@usp.br, otaneto@usp.br, paamarques@usp.br

---

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.15, n.3, p. 543-556, 2016*

**RESUMO** - O milho “safrinha” é considerado uma cultura de alto risco devido à baixa disponibilidade hídrica no período em que é cultivado. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o desempenho de dois modelos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), visando realizar o manejo da irrigação, via balanço hídrico, em três cenários com índices pluviométricos distintos no município de Sorriso-MT. O estudo foi realizado para uma área de 9,3 ha, utilizando-se dados climatológicos diários dos anos considerados médio, seco e úmido para estimativa da ET<sub>o</sub> pelos modelos de Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor. Realizou-se o balanço hídrico para a cultura em sistema de irrigação por aspersão convencional com turno de rega fixo de três dias. Consideraram-se os coeficientes de correlação (r), determinação (r<sup>2</sup>), concordância de Willmott (d), desempenho (c) e estimativa do erro padrão (EEP) avaliando os modelos comparando-os com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith (PM). Os modelos estudados apresentaram desempenhos “ótimo” e “muito bom” para os três cenários, porém não se mostraram sustentáveis. Geraram-se equações para validar o uso dos modelos estudados para as lâminas que superestimaram PM. O cenário seco apresentou a maior lâmina total (irrigação e precipitação efetiva), enquanto que o chuvoso demandou menores lâminas de irrigação.

**Palavras-chave:** balanço hídrico, evapotranspiração, simulação, aspersão, *Zea mays* L.

## ESTIMATION OF FERTILIZATION REQUIREMENTS IN THE OFF-SEASON MAIZE THROUGH AGROCLIMATOLOGICAL METHODS

**ABSTRACT** - Off-season maize is considered a high-risk culture due to the low water availability in the growth period. The objective of this study was to evaluate the performance of two reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) estimation models, in order to carry out irrigation management by water balance, in three scenarios with different rainfall in Sorriso-MT. The study was conducted in an area of 9.3 ha, using daily climatological data for the years considered medium, dry and wet to estimate the ET<sub>o</sub> by the models of Hargreaves-Samani and Priestley-Taylor. The water balance was made for crop grown under conventional sprinkler irrigation system with fixed irrigation interval of three days. To evaluate the performance, models were considered: the correlation (r) and determination (r<sup>2</sup>) coefficients, Willmott agreement (d), performance (c) and standard error estimate (EEP), taking Penman-Monteith (PM) as reference. The studied models presented performances classified as “great” and “very good” for the three scenarios, but they aren’t sustainable as the correct use of water. Equations were generated to validate the use of the studied models for the water depths that overestimated the PM values. The dry year demanded greater total water depths (irrigation and effective precipitation), while the rainy year demanded lower irrigation depths.

**Keywords:** water balance, evapotranspiration, simulation, sprinkler irrigation, *Zea mays* L.

A cultura do milho (*Zea mays* L.), quando cultivada em sucessão à soja (*Glycine max* L.), representa o principal sistema de produção de grãos das regiões agrícolas do Brasil. No estado do Mato Grosso, a semeadura do milho safrinha tem obtido importância nos últimos anos devido às poucas alternativas no período de outono/inverno. Entretanto, o cultivo é considerado de alto risco, em função da baixa disponibilidade hídrica neste período, resultando em diferentes respostas de produtividades em função do estágio fenológico e da intensidade em que o déficit hídrico ocorre (Cunha & Bergamaschi, 1992; Souza et al., 2013).

O estado do Mato Grosso, na safra 2015, representou 36% da produção nacional de milho safrinha, em uma área plantada de 3,3 milhões de hectares (1,4% a mais em relação ao período anterior), ocupando lugar de destaque na produção de grãos, decorrente da adoção de novas tecnologias e expansão de novas áreas agrícolas (Conab, 2015). O milho é uma cultura de grande exigência hídrica, demandando uma quantidade média de 500 a 800 mm de água durante o seu ciclo (Doorenbos & Kassan, 1994). Matzenauer et al. (2002) e Caseiro et al. (1997) observaram uma demanda hídrica acumulada de 572 e 668 mm ao longo do ciclo do milho para localidades no estado do Rio Grande do Sul e para Leverger, MT, respectivamente.

Bergamaschi et al. (2004) observaram que, mesmo em anos com climas favoráveis, houve redução de rendimento com a ocorrência de déficit hídrico no período crítico, da pré-floração ao início do enchimento de grãos. Nessa fase fenológica, o milho possui elevada sensibilidade ao déficit hídrico em função da elevada transpiração, bem como dos processos fisiológicos relacionados à formação do zigoto e ao início do enchimento de grãos (Bergamaschi et al., 2006; Zinselmeier et al., 1995).

O fornecimento de água adequado à cultura, em qualquer de suas fases fenológicas, é um pro-

cesso de fundamental importância para o sucesso da agricultura irrigada, sendo determinado pelo conhecimento da evapotranspiração da cultura (ETc). Este parâmetro pode ser calculado por meio da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) corrigida pelo coeficiente de cultura (Kc).

A estimativa da ETo pode ser feita por meio de modelos baseados em variáveis climatológicas medidas em estações meteorológicas (Pereira et al., 1997). Dentre estes modelos, a FAO recomenda o uso do método de Penman-Monteith (PM) como padrão. Entretanto, Camargo e Camargo (2000) comentam que o método PM demanda um grande número de variáveis que nem sempre estão disponíveis em certas regiões, o que leva à utilização de modelos mais simples, cujas verificações de desempenhos e calibrações devem ser feitas na tentativa de minimizar os erros de estimativa em relação ao método padrão.

O balanço hídrico é uma ferramenta essencial para auxiliar no planejamento agrícola, principalmente nas práticas que se referem aos recursos hídricos, atuando na tomada de decisão de se optar ou não por sistemas de irrigação, de quando e quanto irrigar, e na estimativa do consumo de água pelas culturas. Como exemplos da aplicação do balanço hídrico, podem-se citar Nied et al. (2005), em que esta ferramenta auxiliou na escolha da época de semeadura que apresentasse o menor risco ao déficit hídrico do milho em Santa Maria, RS, e Carvalho et al. (2009), indicando, precisamente, o momento da irrigação e o volume de água a ser aplicado.

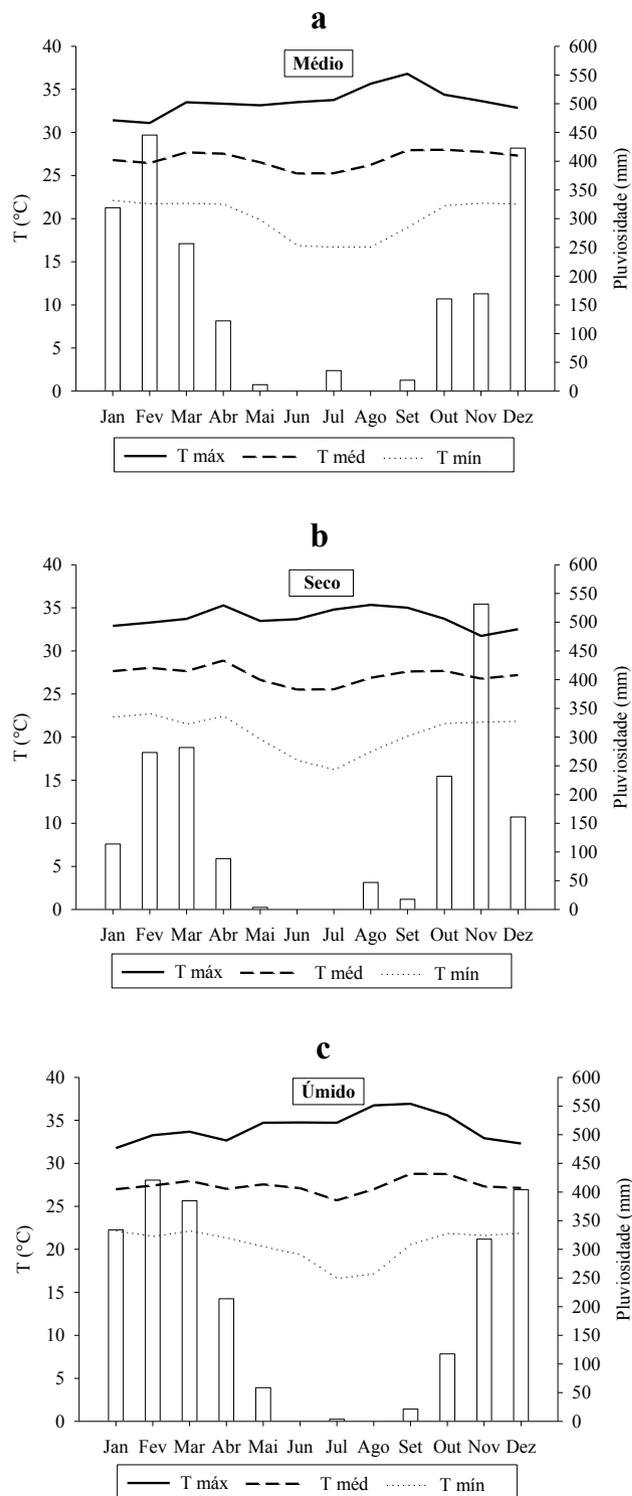
Ao ser considerado um reservatório de água, o solo, de forma genérica, pode ter suas variáveis de entrada e saída contabilizadas pelo balanço hídrico. De acordo com Portilho et al. (2011), a precipitação pluvial, a irrigação e a ascensão capilar representam a entrada de água no solo, enquanto a evapotranspiração e a percolação, a saída.

O presente trabalho teve por objetivo verificar os desempenhos de dois modelos de estimativa de ETo para o município de Sorriso, MT e, com estes, estimar a necessidade da irrigação na cultura do milho “safrinha” visando a realizar o manejo da irrigação por aspersão convencional, via balanço hídrico, em três cenários com distintas intensidades de precipitação.

### Material e Métodos

O estudo foi realizado em uma área de 9,3 ha pertencente à Fazenda Piva, localizada no município de Sorriso, MT, situada nas coordenadas 12°13'33”S e 55°39'28”W, altitude de 355 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima local é caracterizado como clima tropical, com uma estação seca bem definida no inverno (Aw). A textura do solo da área é predominantemente franco-arenosa, com teores médios de areia, silte e argila de 700, 140 e 160 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A densidade média do solo é de 1.347,2 kg m<sup>-3</sup>, enquanto que a das partículas é de 2.603,2 kg m<sup>-3</sup>. Os valores correspondentes ao ponto de murchamento permanente e à capacidade de campo são 0,0864 e 0,2179 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os dados climatológicos pertencem a uma série histórica de 30 anos da estação meteorológica do Inmet, localizada na Gleba Celeste, no município de Sinop, MT. Em função da distribuição da precipitação ocorrida durante o período de cultivo do milho “safrinha” na região (janeiro a junho), selecionaram-se os anos de 2004, 1998 e 2013, classificados como médio (1167,8 mm), seco (761,0 mm) e úmido (1411,9 mm), respectivamente, para observar a diferença na necessidade da aplicação de lâminas de irrigação (Figura 1). Ressalta-se que o período mais seco da região situa-se entre os meses de maio e agosto (Souza et al., 2013).



**Figura 1.** Temperaturas média, máxima e mínima e pluviosidade acumulada ao longo dos meses dos anos médio (2004), seco (1998) e úmido (2013). Sinop, MT.

A estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) foi realizada por meio do produto entre a evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc). Em cada fase de desenvolvimento do milho, utilizaram-se os valores de Kc apresentados na Tabela 1. Os incrementos de Kc foram simulados em função dos dias de duração de cada fase.

**Tabela 1.** Valores de coeficiente de cultura (Kc) em função das fases de desenvolvimento da cultura do milho.

Fase	Dias após a emergência	Kc
F1 - inicial	0 – 24	0,30
F2 - vegetativa	25 – 65	0,30 – 1,20
F3 - produção	66 – 113	1,20
F4 - maturação	114 – 135	1,20 – 0,35
F5 - colheita	135 – 145	0,35

Fonte: Allen et al. (2006).

Para a estimativa da ETo, foram utilizados o método padrão de Penman-Monteith (PM) (Allen et al., 2006) e os modelos empíricos de Hargreaves-Samani (HS) e Priestley-Taylor (PT) (Pereira et al., 1997), através das equações 1, 2 e 3, respectivamente. Vale ressaltar que o modelo de HS é recomendado para regiões semiáridas e o de PT é uma aproximação do método padrão, permanecendo o saldo de radiação corrigido por um coeficiente empírico “ $\alpha$ ”.

$$ETo_{(PM)} = \frac{0,408.s.(Rn - G) + \gamma \cdot \left[ \frac{900}{(T+273,16)} \right] \cdot U_2 \cdot (es - ea)}{s + \gamma(1+0,34.U_2)} \quad (1)$$

$$ETo_{(HS)} = 0,0023 \cdot Q_0 \cdot (Tmax - Tmin)^{0,5} \cdot (T + 17,8) \quad (2)$$

$$ETo_{(PT)} = \frac{\alpha \cdot \left( \frac{s + \gamma}{\gamma} \right) \cdot (Rn - G)}{2,45} \quad (3)$$

em que: ETo - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>); s - declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>); Rn - saldo de radiação na superfície (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); G - fluxo de calor no solo (MJ

m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);  $\gamma$  - coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>); U<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>); (es-ea) - déficit de pressão de vapor (kPa); T - temperatura média do ar (°C); Q<sub>0</sub> - radiação solar extraterrestre (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); (Tmax-Tmin) - diferença entre as temperaturas máxima e mínima do ar (°C);  $\alpha$  - parâmetro de Priestley & Taylor (1,26).

O Inmet disponibiliza em suas estações convencionais somente dados de insolação em unidade de horas e velocidade do vento medida a 10 m de altura. Desta maneira, o saldo de radiação na superfície (Rn) foi determinado pela equação 4 e a velocidade do vento a 2 m foi convertida conforme equação 5, ambas descritas por Allen et al. (1998). A radiação solar global (Qg) foi estimada pelo modelo de Angström-Prescott (equação 6) e a radiação para dias sem coberturas de nuvens (Qg<sub>cs</sub>) calculada por meio da equação 7 (Allet et al., 1998; Pereira et al., 2002).

$$Rn = (Qg \cdot 0,75) - \left[ \sigma \cdot \left( \frac{Tmax + Tmin}{2} \right)^4 \right] \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{ea}) \cdot \left( 1,35 \frac{Qg}{Qg_{cs}} - 0,35 \right) \quad (4)$$

$$U_2 = U_{10} \cdot \frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot h - 5,42)} \quad (5)$$

$$Qg = Q_0 \cdot \left( a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (6)$$

$$Qg_{cs} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Alt) \cdot Q_0 \quad (7)$$

em que: Qg - radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); - constante de Stefan-Boltzmann (4,903.10<sup>-9</sup> MJ K<sup>-4</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); Qg<sub>cs</sub> - radiação solar para dias sem coberturas de nuvens (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); U<sub>10</sub> - velocidade do vento a 10 m de altura (m s<sup>-1</sup>); h - altura de medição acima da superfície do solo (m); a e b - parâmetros de regressão do modelo que caracterizam a transmitância atmosférica (adimensionais); n - insolação (h); N - fotoperíodo (h); Alt - altitude local (m).

A análise de desempenho foi feita comparando-se os valores de ETo, estimados pelos dois modelos empíricos, com o de PM. Análises de regressão linear foram feitas para obtenção dos coeficientes da equa-

ção ( $Y = ax + b$ ) e dos coeficientes de correlação ( $r$ ) e determinação ( $r^2$ ). Para exatidão dos métodos empíricos, foi realizada a análise para determinações do índice de concordância ( $d$ ) de Willmott et al. (1985), do índice de desempenho ( $c$ ) de Camargo e Sentelhas (1997) e da estimativa do erro padrão (EEP) descrita por Allen et al. (1998), obtidos pelas equações 8, 9 e 10, respectivamente.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (8)$$

$$c = r \cdot d \quad (9)$$

$$EEP = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n - 1}} \quad (10)$$

em que:  $d$  - índice de concordância (adimensional);  $P_i$  - valores estimados pelos métodos ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $O_i$  - valores estimados pelo método padrão - PM ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $\bar{O}$  - média dos valores estimados pelo método padrão ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $c$  - índice de desempenho (adimensional);  $r$  - coeficiente de correlação (adimensional); EEP - Estimativa do Erro Padrão ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $n$  - número de observações.

O grau de correlação foi interpretado, segundo Devore (2006), como: “muito forte” ( $r > 0,90$ ); “forte” ( $0,70 < r < 0,89$ ); “moderada” ( $0,40 < r < 0,69$ ); “fraca” ( $0,20 < r < 0,39$ ); e “bem fraca” ( $r < 0,19$ ). E a interpretação do índice “ $c$ ” foi realizada de acordo com Camargo e Sentelhas (1997): “ótimo” ( $c > 0,85$ ); “muito bom” ( $0,76 < c < 0,84$ ); “bom” ( $0,66 < c < 0,75$ ); “mediano” ( $0,61 < c < 0,65$ ); “sofrível” ( $0,51 < c < 0,60$ ); “mau” ( $0,41 < c < 0,50$ ); e “péssimo” ( $c \leq 0,40$ ).

Para a realização do balanço hídrico, a cultura estudada foi o milho (*Zea mays* L.), implantada na segunda safra da região, no dia 25 de janeiro com um ciclo de 145 dias e com uma profundidade máxima

do sistema radicular ( $z$ ) de 0,45 m. O cultivo foi conduzido sob sistema de irrigação por aspersão do tipo convencional dotado de três linhas laterais que irrigavam 15 posições por dia. Para comparação, foram realizadas as estimativas das irrigações com turno de rega fixo de três dias.

Os aspersores utilizados operam em uma pressão de 40 m.c.a.; vazão de 3,16  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ; intensidade de aplicação de 17,6  $\text{mm h}^{-1}$ ; raio de alcance de 36 m; espaçados 12 m entre si e 15 m entre as linhas; instalados a 2 m do solo; e com uma eficiência de 85%.

Após a estimativa diária da ETC, foram calculadas a capacidade de água disponível (CAD), cujos incrementos foram estimados ao longo do ciclo da cultura, em função da simulação do aprofundamento do seu sistema radicular, bem como a disponibilidade real de água (DRA), adotando-se um fator de depleção de água no solo ( $f$ ) de 0,7 (Allen et al., 2006). Diante disso, deu-se início ao cálculo do balanço hídrico com DRA inicial constante de 6,2 mm para os primeiros 0,05 m de profundidade do solo, chegando a atingir um valor máximo de 55,6 mm para “ $z$ ”. O balanço hídrico foi calculado para os três anos selecionados utilizando-se os três modelos de estimativa de ETo (PM, HS e PT).

## Resultados e Discussão

Na Figura 2, estão apresentadas para os anos médio (2004), seco (1998) e úmido (2013), respectivamente, as análises de regressão linear entre os valores estimados de ETo pelos modelos empíricos de Hargreaves-Samani (HS) e Priestley-Taylor (PT), bem como os índices de correlação ( $r$ ), concordância ( $d$ ), desempenho ( $c$ ) e estimativa do erro padrão (EEP).

Os dois modelos estudados apresentaram correlações acima de 0,90, considerados “muito forte”. Tratando-se do índice “d”, que avalia a concordância dos valores estimados de ETo pelos dois modelos estudados, quando comparados ao padrão (PM), apresentaram valores que variaram de 0,80 a 0,91 para as três condições climáticas estudadas, sendo que nos cenários seco e chuvoso foram acima de 0,89, considerados como de ótima concordância.

Para o ano médio, os modelos de HS e PT, de acordo com o índice “c”, obtiveram desempenhos “muito bons” e apresentaram ajustes ao método padrão de 81,7% e 81,1%, respectivamente, ao longo do ciclo do milho safrinha. Entretanto, HS e PT superestimaram os valores de ETo por PM em 55%, sendo que a partir de 2,85 mm d<sup>-1</sup> todos foram superestimados (Figuras 2a e 2b).

Para o ano seco, em Sorriso, MT, os modelos de HS e PT apresentaram ajustes ao método PM de 91,4% e 93,3%, respectivamente, com desempenhos classificados como “ótimos” (Figuras 2c e 2d). Além disso, os mesmos tendem a subestimar os menores valores de ETo estimados por PM e superestimar as ETos acima de 2,42 mm d<sup>-1</sup>, conforme as Figuras 3a e 3b. Para este cenário, 63% dos valores estimados por PM foram superestimados pelos modelos.

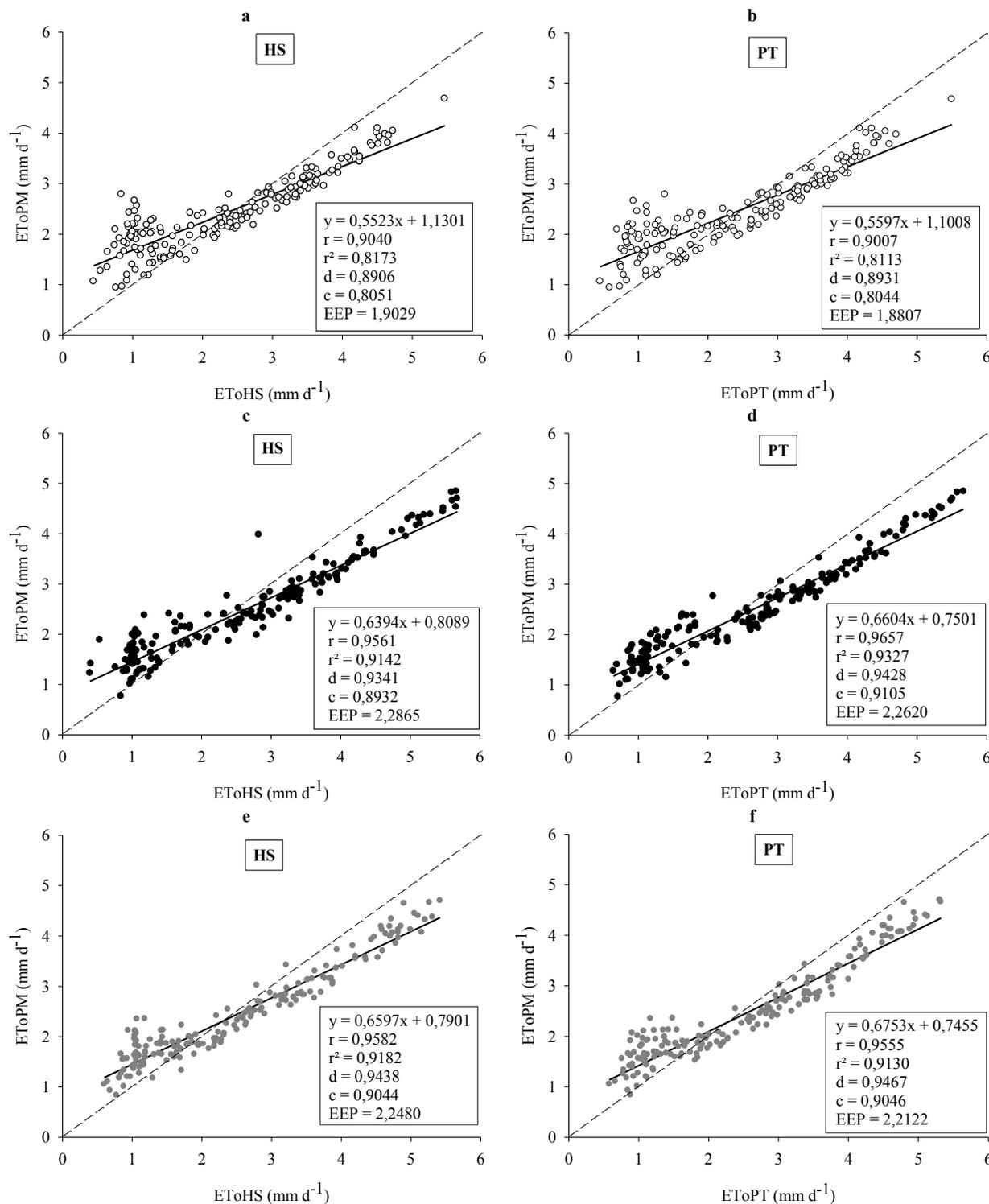
Tratando-se do ano úmido, os modelos de HS e PT apresentaram ajustes de 91,8% e 91,3% ao método padrão PM, respectivamente (Figuras 2e e 2f). Assim como para o ano seco, os dois modelos apresentaram desempenhos classificados como “ótimos”. No entanto, exibiram tendências em subestimar os menores e superestimar os maiores valores de ETo por PM, como já observado para o ano seco.

Junges et al. (2012), ao estudarem o modelo de PT para um período de 28 anos com os dados da mesma estação meteorológica do município de Sinop, MT, também obtiveram correlações maiores que 90% ao método padrão de PM e um desempenho classificado como “ótimo” do modelo para a região para estimativa de valores mensais e decendiais de ETo.

Fanaya Júnior et al. (2012), ao avaliarem os modelos de HS e PT para Aquidauana, MS, região com as mesmas características climáticas de Sinop, observaram que os modelos apresentaram correlações acima de 85% em relação ao método PM. Os mesmos autores obtiveram desempenhos “muito bom” e “ótimo” para os modelos HS e PT, respectivamente.

Resultados diferentes foram obtidos por Pereira et al. (2009) ao avaliarem o desempenho de modelos para estimativa de ETo para a região da Serra da Mantiqueira, MG nos anos de 2007 e 2008. Os autores verificaram que o modelo de HS apresentou desempenho “sofável” (0,58) para os períodos chuvoso e seco. Já o modelo PT apresentou desempenho “bom” (0,79) para o período chuvoso e “péssimo” (0,52) para o seco.

Como os modelos de HS e PT tendem a superestimar todos os valores de PM a partir de um determinado ponto em todos os cenários, foram geradas equações para esses intervalos de valores a fim de validar o uso de tais modelos para fins de manejo da irrigação (Tabela 2). Ressalta-se a importância da aplicabilidade do modelo de HS em regiões que não são dotadas das demais variáveis meteorológicas, pois o mesmo utiliza somente valores da temperatura do ar. Na Tabela 2, estão dispostas as menores ETos que os modelos começam a superestimar PM e as respectivas equações a serem usadas para valores acima destas.



**Figura 2.** Regressão linear entre os valores diários da evapotranspiração de referência (ETo) estimados pela comparação dos métodos de Hargreaves-Samani (HS) e Priestley-Taylor (PT) com o método padrão de Penman-Monteith (PM) para os anos médio (2a e 2b), seco (2c e 2d) e úmido (2e e 2f). Sorriso, MT.

**Tabela 2.** Evapotranspirações de referência (ET<sub>o</sub>) mínimas, equações geradas e coeficientes de correlação (r) e determinação (r<sup>2</sup>) para os valores superestimados pelos modelos de Hargreaves-Samani (HS) e Priestley-Taylor (PT) para os anos médio (2000), seco (2004) e úmido (2009) em Sorriso, MT.

Ano	ET <sub>o</sub> (mm d <sup>-1</sup> )	Modelo	Equação	r	r <sup>2</sup>
Médio	2,85	HS	$ET_{o(PT)} = (0,7611 \cdot ET_{o(HS)}) + 0,4114$	0,9296	0,8642
		PT	$ET_{o(PT)} = (0,7962 \cdot ET_{o(PT)}) + 0,8275$	0,9097	0,8275
Seco	2,42	HS	$ET_{o(PT)} = (0,7265 \cdot ET_{o(HS)}) + 0,4890$	0,9399	0,8835
		PT	$ET_{o(PT)} = (0,7705 \cdot ET_{o(PT)}) + 0,3288$	0,9617	0,9249
Úmido	2,36	HS	$ET_{o(PT)} = (0,7620 \cdot ET_{o(HS)}) + 0,4104$	0,9568	0,9154
		PT	$ET_{o(PT)} = (0,8677 \cdot ET_{o(PT)}) + 0,0159$	0,9570	0,9160

**Tabela 3.** Evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), lâmina de irrigação (LI) e lâmina total (LT), ao longo das fases fenológicas do milho “safrinha”, sob três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para o ano médio (2004). Sorriso, MT.

	PM			HS			PT		
	ET <sub>c</sub> (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)	ET <sub>c</sub> (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)	ET <sub>c</sub> (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)
F1	0,87	2,89	39,78	1,02	3,66	47,34	1,03	3,85	47,39
F2	2,12	133,34	257,40	2,32	129,67	273,73	2,32	130,06	274,69
F3	2,29	345,55	394,92	2,10	288,01	352,39	2,12	291,04	355,18
F4	1,41	97,40	97,40	0,86	55,54	55,54	0,86	55,99	55,99
F5	0,72	22,25	22,25	0,33	9,16	9,16	0,34	9,63	9,63
Total	-	601,43	811,75	-	486,03	738,15	-	490,57	742,87

Observando a Tabela 3, houve uma maior lâmina de irrigação (LI), no ano médio, na fase F1 pelos modelos de HS e PT em relação ao de PM. Nas fases F4 e F5, suas lâminas foram cerca de 43% e 58% menores, respectivamente, quando comparadas ao método padrão (PM). A somatória de toda LI aplicada nos modelos de HS e PT foi 19,2% (115,4 mm) e 18,4%

(110,9 mm) a menos, respectivamente, que a LI de todo o ciclo do milho “safrinha” estimada por PM.

Os baixos valores de LI observados na Tabela 3, para as fases F1 e F5, podem ser explicados pelos baixos evapotranspirações (ET<sub>c</sub>) e coeficientes da cultura (K<sub>cs</sub>) apresentados durante o seu ciclo. Entretanto, LIs máximas foram demandadas nas fases

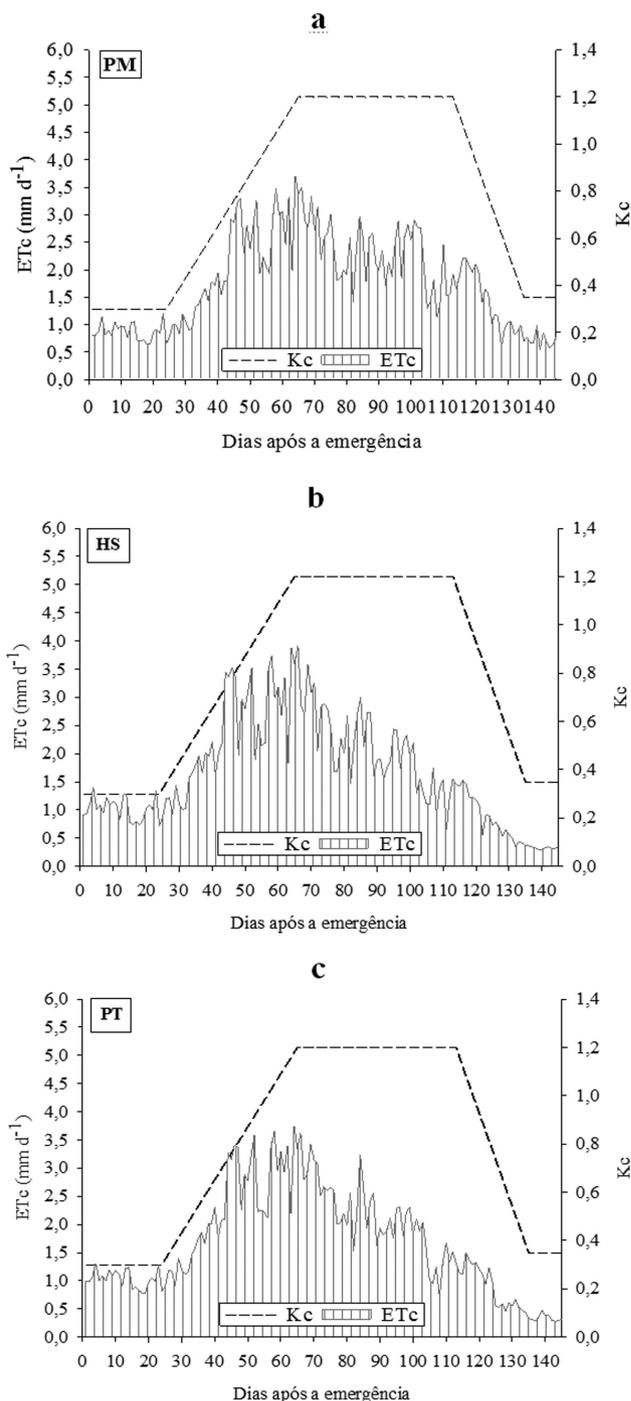
F2 e F3, com valores diários de 3,70, 3,92 e 3,74 mm para os modelos de PM, HS e PT, respectivamente (Figura 3). Isso ocorreu por serem estas as fases em que a planta necessita de maior quantidade de água (demanda de pico), principalmente na fase F3 que, segundo Andrade et al. (2006), compreende o florescimento e o enchimento de grãos.

É possível observar na Figura 3 que a relação  $ETc/Kc$  é mais equilibrada segundo o método padrão PM, ao longo do ciclo da cultura, evidenciando que o mesmo estima melhor o consumo de água pelo milho “safrinha”.

No ano seco, ocorreram as maiores LIs nas fases F1, F3, F4 e F5 para os modelos estudados e a maior lâmina total (LT) demandada pela cultura na fase F3. Os modelos de HS e PT também estimaram maiores LIs até a fase F2 e menores a partir de F4 (Tabela 4).

Com relação à LI total estimada no final do ciclo do milho “safrinha”, esta foi aproximadamente 4,4% (25 mm) menor pelos modelos de HS e PT comparando-se ao de PM. Observou-se também que no ano seco ocorreu menor LI total e maior LT, comparando-se ao ano médio, pois durante F3, que compreende os meses de abril e maio, houve precipitações suficientes para suprir a demanda hídrica da cultura. Tal ocorrência reforça a recomendação de não considerar a precipitação como um todo e sim avaliar o balanço hídrico diário, permitindo assim localizar pontos de excesso e de déficit hídrico durante o ciclo. Ressalta-se também que o manejo adequado da irrigação em situações climáticas como essa acarreta uma economia de água significativa (Tabela 4).

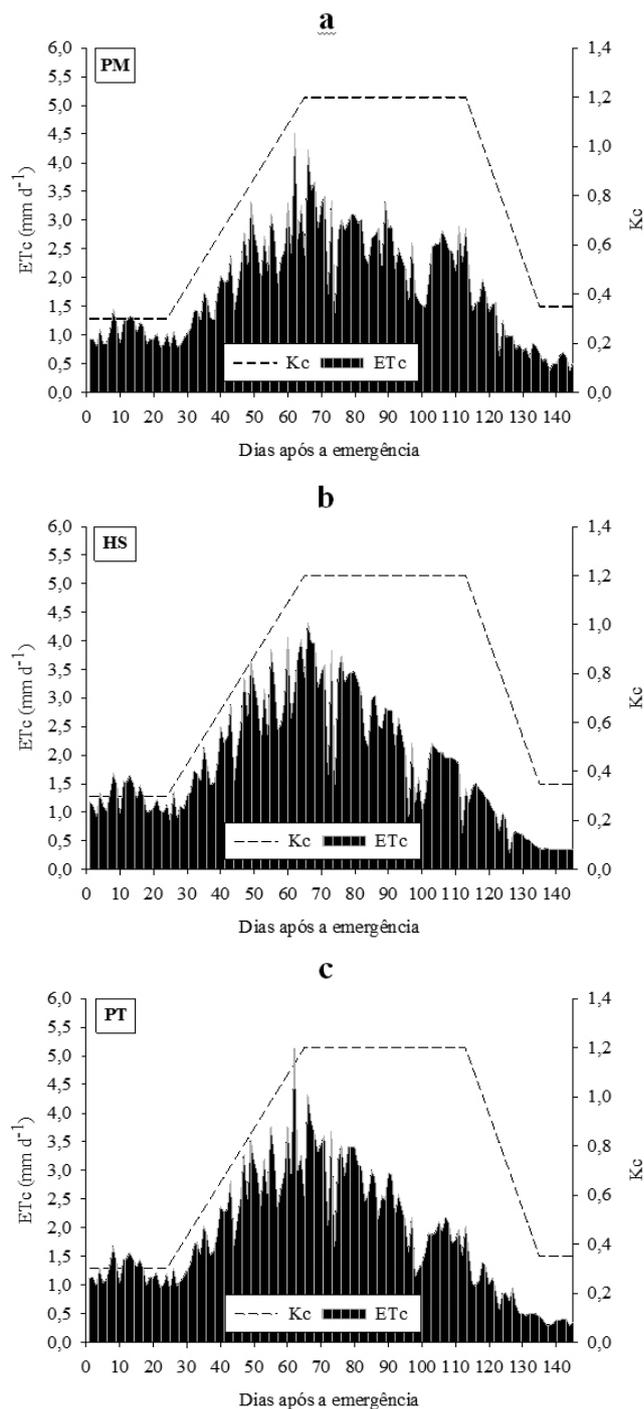
As maiores  $ETc$ s nesse ano ocorreram na fase F2, com valores estimados em 4,51, 4,32 e 5,14 mm  $d^{-1}$  para os modelos de PM, HS e PT, respectivamente. Na Figura 4, pode ser observada a variação da  $ETc$  do milho “safrinha” no ano seco para os três modelos estudados.



**Figura 3.** Variações da evapotranspiração da cultura ( $ETc$ ) e do coeficiente de cultura ( $Kc$ ) ao longo do ciclo de cultivo do milho “safrinha” observadas em três métodos de estimativas da evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) para o ano médio (2004). Sorriso, MT.

**Tabela 4.** Evapotranspiração da cultura (ETc), lâmina de irrigação (LI) e lâmina total (LT), ao longo das fases fenológicas do milho “safriinha”, sob três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para o ano seco (1998). Sorriso, MT.

	PM			HS			PT		
	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)
<b>F1</b>	1,04	12,51	42,41	1,25	16,77	53,36	1,24	16,58	52,55
<b>F2</b>	2,04	75,36	241,40	2,38	84,53	277,05	2,37	89,21	280,55
<b>F3</b>	2,61	356,63	436,44	2,50	352,35	434,18	2,52	345,28	429,36
<b>F4</b>	1,17	90,09	90,09	0,86	63,44	63,44	0,84	65,07	65,07
<b>F5</b>	0,54	17,68	17,68	0,35	10,83	10,83	0,36	11,49	11,49
<b>Total</b>	-	552,28	828,03	-	527,92	838,86	-	527,63	839,02



**Figura 4.** Variações da evapotranspiração da cultura (ETc) e do coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo de cultivo do milho “safriinha” observadas em três métodos de estimativas da evapotranspiração de referência (ETo) para o ano seco (1998). Sorriso, MT.

Para o ano úmido, os modelos de HS e PT apresentaram maiores LIs na fase F2, em relação a PM, na ordem de 14%. Em F5, a cultura demandou aproximadamente 38% (7 mm) a menos de água nos modelos HS e PT, comparando-os ao padrão (Tabela 5). Pode-se observar também que houve, no ano úmido, uma necessidade de menores LIs nos modelos em estudo, quando comparado aos anos médio e seco, pois as precipitações bem distribuídas foram suficientes para suprir a necessidade hídrica da cultura.

Entre os 35 e 75 dias após a emergência, foram observadas as maiores ETcs, chegando a 3,49, 3,80 e 3,70 mm d<sup>-1</sup> para PM, HS e PT, respectivamente (Figura 5).

Para os três cenários estudados, as maiores demandas hídricas da cultura ocorreram no final da fase F3, e a lâmina total (LT) das fases F4 e F5, com exceção do ano úmido, quando foram exclusivamente de irrigação, não havendo precipitação efetiva. Observou-se também, para os três cenários, que os modelos de HS e PT estimaram menores LIs quando comparados ao método padrão de PM.

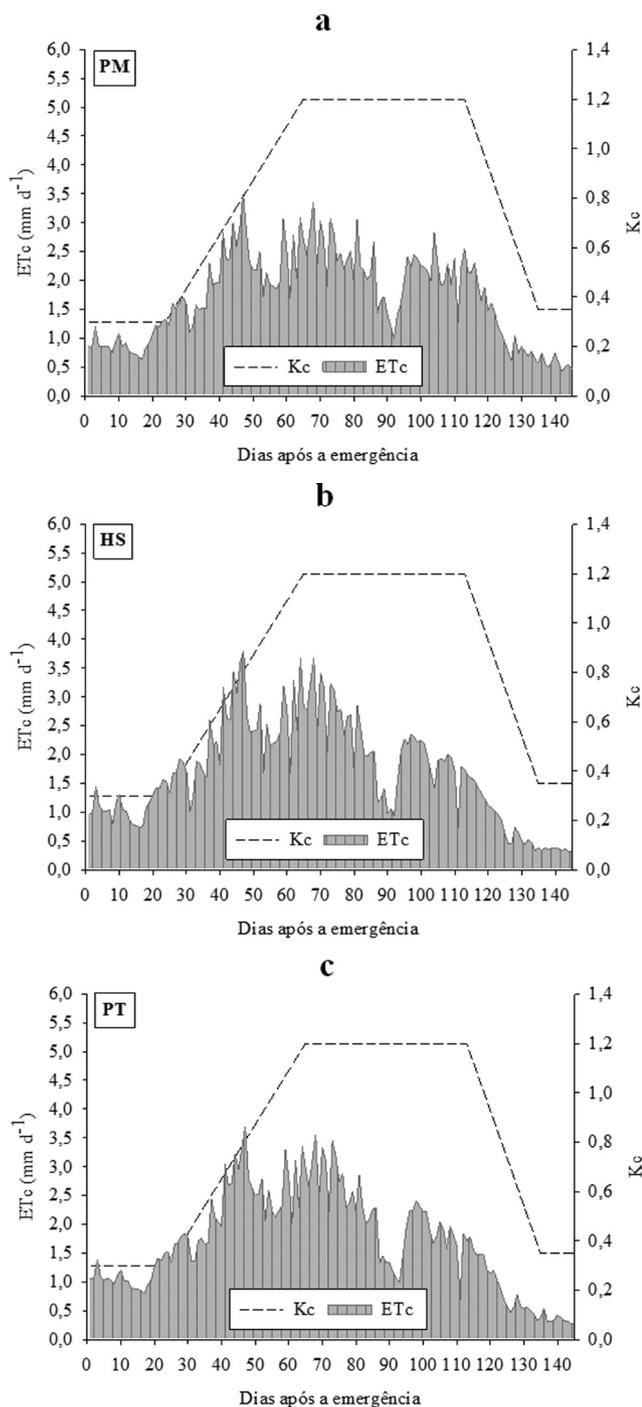
A irrigação suplementar na cultura do milho “safrinha” na região de Dourados, MS foi estudada por Pegorare et al. (2009), que concluíram que a prática é viável economicamente, havendo incremento de 130% na produtividade com uma lâmina aplicada de 510 mm e uma maior renda líquida, de R\$ 837,89 ha<sup>-1</sup>, para uma lâmina simulada de 570 mm.

Detomini et al. (2009), ao estudarem o consumo hídrico e o Kc para um híbrido de milho de ciclo de 110 dias, sob condições de irrigação, observaram que foram requeridos por volta de 600 mm de água para obtenção de elevadas produções, corroborando com as lâminas obtidas em todos os anos analisados neste trabalho. Os maiores valores de Kc foram encontrados pelos autores dos 37 aos 77 dias após a emergência, compreendendo as fases F2 e F3.

**Tabela 5.** Evapotranspiração da cultura (ETc), lâmina de irrigação (LI) e lâmina total (LT) ao longo das fases fenológicas do milho “safrinha” sob três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para o ano úmido (2013). Sorriso, MT.

	PM			HS			PT		
	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)	ETc (mm d <sup>-1</sup> )	LI (mm)	LT (mm)
<b>F1</b>	0,92	1,20	45,19	1,10	1,41	54,30	1,10	1,36	53,91
<b>F2</b>	2,11	68,63	268,82	2,35	80,24	293,99	2,35	78,54	294,80
<b>F3</b>	2,20	237,61	384,60	2,12	230,63	379,53	2,13	229,80	379,77
<b>F4</b>	1,24	87,68	92,12	0,88	63,19	65,85	0,89	64,51	66,96
<b>F5</b>	0,57	17,71	17,71	0,35	10,80	10,80	0,35	11,00	11,00
<b>Total</b>	-	412,82	808,43	-	386,27	804,48	-	385,22	806,44

Entre os 35 e 75 dias após a emergência, foram observadas as maiores ETcs, chegando a 3,49, 3,80 e 3,70 mm d<sup>-1</sup> para PM, HS e PT, respectivamente (Figura 5).



**Figura 5.** Variações da evapotranspiração da cultura (ETc) e do coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo de cultivo do milho “safrinha” observadas em três métodos de estimativas da evapotranspiração de referência (ETo) para o ano úmido (2013). Sorriso, MT.

## Conclusões

1. Os modelos de Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor nos três cenários estudados são adequados para estimar a evapotranspiração de referência na região de Sorriso, MT, porém não são sustentáveis para o uso da água, pois tendem a superestimar os valores da evapotranspiração de referência do método padrão de Penman-Montheit.

2. As equações geradas evidenciam a superestimativa de ETo, porém validam a utilização dos dois modelos para evapotranspirações acima de 2,85, 2,42 e 2,36 mm dia<sup>-1</sup> para os cenários médio, seco e úmido, respectivamente.

3. O momento da irrigação e as lâminas a serem aplicadas, em cada fase do ciclo do milho “safrinha” em Sorriso, MT, foram estimadas com precisão para os três cenários estudados. A lâmina total, que contempla irrigação e precipitação efetiva, foi maior no ano seco (828 mm) e a lâmina de irrigação acumulada aplicada foi menor no ano úmido (412 mm).

## Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements.** Roma: FAO, 1998. 300 p.
- 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, 2006. 323p. (Riego y Drenaje, Paper 56).
- ANDRADE, C. de L. T. de; ALBUQUERQUE, P. E. P.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. **Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 85). Disponível em: <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19629/1/Circ\\_85.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19629/1/Circ_85.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2016.

- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 831-839, 2004.  
[DOI: 10.1590/S0100-204X2004000900001](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900001).
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006.  
[DOI: 10.1590/S0100-204X2006000200008](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200008).
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.  
[DOI: 10.1590/S0006-87052000000200002](https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200002).
- 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**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, M. A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; SCHARDONG, A.; PORTO, R. L. L. Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 10-17, 2009.  
[DOI: 10.1590/S1415-43662009000100002](https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000100002).
- CASEIRO, F. T.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; PRIANTE FILHO, N. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.), no período seco em Santo Antônio do Leverger-MT. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 177-182, 1997.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2014/15**. Brasília, DF, 2015. 104 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso: 6 ago. 2015.
- CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. Efeito da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p. 85-97.
- DETOMINI, E. R.; MASSIGNAN, L. F. D.; LIBARDI, P. L.; DOURADO NETO, D. Consumo hídrico e coeficiente de cultura para o híbrido DKB 390. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 31, n. 3, p. 445-452, 2009.  
[DOI: 10.4025/actasciagron.v31i3.379](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.379).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).
- 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, out./dez. 2012.  
[DOI: 10.15809/irriga.2012v17n4p418](https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n4p418).
- JUNGES, T. S. C.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; MODOLO, A. J.; RAMOS, H. C. Estimativa da evapotranspiração de referência por diferentes métodos para a região de Sino-MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 516-529, 2012.
- MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).
- NIED, A. H.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J. C.; ALBERTO, C. M. *Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, out. 2005.  
[DOI: 10.1590/S0103-84782005000500003](https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500003).
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Radiação solar. In: PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.

- R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. cap. 5, p. 75-103.
- PEREIRA, D. R.; YANAGI, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. Desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para a região de Serra da Mantiqueira-MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, dez. 2009.  
[DOI: 10.1590/S0103-84782009000900016](https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000900016).
- PORTILHO, A. P.; CASTRO, M. C.; ALVES, G. S.; AGUIAR, N. F.; SILVA, M. S. Balanço hídrico para Pinheiral, Rio de Janeiro. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 3, n. 2, p. 21-28, ago. 2011.  
[DOI: 10.18406/2316-1817v3n22011328](https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n22011328).
- PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 262-271, 2009.  
[DOI: 10.1590/S1415-43662009000300007](https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300007).
- SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 34-43, out./dez. 2013.  
[DOI: 10.14583/2318-7670.v01n01a07](https://doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07).
- WILLMOT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.  
[DOI: 10.1029/JC090iC05p08995](https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995).
- ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M. E.; JONES, R. J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 158-163, 1995.  
[DOI: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500010029x](https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500010029x).