

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM CULTURA DE SOJA

Edemo João Fernandes
José Eduardo Pitelli Turco

Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP. CEP 14870-900, E-mail: ejfernan@fcav.unesp.br

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar os métodos do tanque Classe A e de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração de referência, com o intuito de obter a evapotranspiração da cultura e determinar as quantidades de água a serem utilizadas e épocas das irrigações. O experimento foi realizado na área demonstrativa e experimental de irrigação pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. Foram utilizados quatro tratamentos, com o manejo da água sendo determinado pela evapotranspiração da cultura e por leituras de tensiômetros. Foram instaladas baterias de tensiômetros em todas as parcelas para acompanhamento do esgotamento de água no solo. A ET_c calculada pelo método de Penman-Monteith conduz à um menor gasto de água. A quantidade de água aplicada não foi determinante para maior produtividade e sim a frequência de irrigação. O tratamento mais produtivo foi o que recebeu maior número de irrigações e com as irrigações efetuadas quando o potencial de água no solo atingia – 31,0 kPa.

UNITERMOS: evapotranspiração da cultura, tanque Classe A, Penman-Monteith, irrigação, *Glycine max* (L.) Merrill.

TURCO, J. E. P.; FERNANDES, E. J. REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR IRRIGATION MANAGEMENT IN SOYBEAN CROP

2. ABSTRACT

The aim of this work was to compare Class A pan and Penman-Monteith methods to estimate the reference evapotranspiration aiming to obtain the crop evapotranspiration, determine the water amount as well as the irrigation time to be used. The experiment was carried out in the experimental and demonstrative irrigation area at the Rural Engineering Department, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. Four treatments were applied and the water management was determined through the crop evapotranspiration and tensiometer readings. A set of tensiometers were installed in all the plots in order to follow the soil water depletion. ET_c estimated by Penman-Monteith method presented less water expense. The irrigation frequency led to a higher yield but the later was not observed in relation to the applied amount of water. The most productive treatment was the one which received the greater irrigation number and when the water potential in the soil reached –31.0 kPa.

KEYWORDS: Crop evapotranspiration, Class A pan evaporation, Penman-Monteith, irrigation, *Glycine max* (L.) Merrill.

3 INTRODUÇÃO

Na agricultura irrigada, a decisão sobre o momento apropriado e a quantidade adequada de água a ser aplicada são baseadas em conceito prático do agricultor, conduzindo a falta ou excesso desse elemento para a cultura. O consumo crescente de água em razão do aumento populacional conduz a sua diminuição, exigindo procedimentos para a racionalização, principalmente no uso agrícola. Portanto, o conhecimento da evapotranspiração é fundamental para se determinarem as reais necessidades de água para a cultura, a fim de preservar esse líquido tão importante para a vida terrestre.

O conhecimento do consumo de água nos diversos sub-períodos ou etapas de desenvolvimento das plantas cultivadas permite a administração de uma irrigação mais racional de acordo com a exigência da cultura. Esse conhecimento é ainda útil, mesmo na agricultura de sequeiro, pois permite ajustamentos de épocas de semeadura, dentro da estação de crescimento, em função da disponibilidade hídrica média da região considerada, determinando maior eficiência no aproveitamento das precipitações.

A irrigação para dar resultados positivos deve ser bem quantificada, pois aplicações de lâminas de água insuficientes repõem água apenas nas camadas superficiais do solo, não umedecendo toda a zona das raízes. Por isso, elas se tornam superficiais e incapazes de explorar o volume de solo disponível. Em consequência diminui consideravelmente a reserva hídrica útil do solo, prejudicando as plantas, desperdiçando recursos valiosos e aumentando os custos da água aplicada. Irrigações excessivas acarretam perdas de água e de nutrientes, pela percolação abaixo da zona das raízes, além de favorecer a proliferação de microorganismos patogênicos. Em casos de solos mal drenados, com impedimentos à percolação, o solo ficará saturado prejudicando as raízes que poderão perecer por falta de arejamento.

Dentro deste contexto, como a produção agrícola é dependente de vários fatores, tais como água, nutrientes e luz, onde a água é o fator mais limitante da produtividade, torna-se necessário, portanto, satisfazer às necessidades hídricas das culturas. Isto pode ser conseguido na medida em que a dotação hídrica seja função somente das necessidades da planta, ou seja, o solo deve receber a mesma quantidade que perdeu pela evaporação de sua superfície livre e pela transpiração do vegetal.

Pesquisadores vêm demonstrando interesse, há muito tempo, nas questões relativas às medidas ou estimativas da evapotranspiração potencial, atualmente denominada na literatura de evapotranspiração de referência (ET_o), (TURC, 1961, BOUCHET, 1963, BROCHET & GERBIER, 1975, ALLEN, 1986, FLINT & CHILDS, 1991) e da medida da evapotranspiração real (TANNER, 1960, SINCLAIR et al., 1975, SPITTLEHOUSE & BLANK, 1980, PIERI & FUCHS, 1990, UNLAND et al., 1996, PRUEGER et al., 1997).

Segundo Prueger et al. (1997), técnicas utilizando dados meteorológicos fornecem um meio de comparar valores de evapotranspiração entre diferentes sistemas de cultivo e podem ser facilmente colocadas em múltiplas culturas, para estimar evaporação de diferentes sistemas de cultivo.

A evapotranspiração de referência (ET_o) é uma técnica indireta que conduz a uma estimativa das necessidades de água pelas plantas, uma vez utilizado um coeficiente de cultura (na condição de que ele seja conhecido para a vegetação estudada), possibilitando a determinação da quantidade de água realmente perdida pela cultura, ou seja, a evapotranspiração da cultura.

Recentemente, consultores da FAO (ALLEN et al., 1998), revisando os métodos de estimativa da ET_o, deliberaram que a fórmula de Penman-Monteith deve ser utilizada como método padrão para a estimativa da ET_o, porque é baseado em processos físicos e incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos.

Allen (1986) relatou que a equação de Penman-Monteith forneceu razoável estimativa

diária da evapotranspiração para todos os locais estudados, embora as estimativas fossem um pouco altas em dois locais em comparação aos valores obtidos com lisímetros.

Para a utilização da equação de Penman-Monteith há necessidade de se obter algumas variáveis meteorológicas que podem não estar disponíveis no local de sua aplicação. Uma alternativa é estimar a E_{To} pelo método do tanque Classe A (ALLEN et al., 1998), o qual, se bem manejado, pode fornecer bons resultados.

Na produção de soja, como qualquer outra cultura, Mota et. al (1996) indicaram que a disponibilidade de água é o principal fator limitante ao rendimento de soja e que a precipitação natural não atende a demanda potencial de água para essa cultura, em todas as regiões do estado do Rio Grande do Sul.

O objetivo desse trabalho foi comparar as quantidades de água de irrigação aplicadas nas parcelas dos tratamentos do experimento, utilizando a evapotranspiração de referência estimada pelo método do tanque Classe A, com as que seriam obtidas se a E_{To} fosse calculada pelo método de Penman-Monteith.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi instalado na Área Demonstrativa e Experimental de Irrigação (ADEI), da FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal, SP. As coordenadas geográficas são 21°15" S, 48°18' W e altitude média de 570 m, apresentando clima tipo Cwa (subtropical) de acordo com a classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférrico (EMBRAPA, 1999) horizonte A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado.

O preparo do solo da área experimental foi o convencional, constando de uma subsolagem e duas gradagens, sendo uma com grade pesada, efetuada logo após a subsolagem e a outra com grade leve, antes da semeadura. A adubação da cultura constou de 300 kg ha⁻¹ dos elementos N-P-K na

formulação 2-20-20. Utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão convencional com espaçamento de 18 x 18 m, sendo semeada a cultivar IAS-5 em 06/5/93, com espaçamento de 0,63 m entre linhas. A emergência de 70% das plântulas ocorreu em 10/5/93. A área total do experimento constou de 1,0 ha sendo 0,1 ha (50 x 20 m) a área útil de cada parcela. As parcelas estavam orientadas no sentido Leste-Oeste.

Os tratamentos foram designados da seguinte maneira:

Tratamento T1 - Efetuou-se a irrigação dessa parcela quando a soma dos valores diários da evapotranspiração da cultura (E_{Tc}), obtida pelo produto da evapotranspiração de referência E_{To} e do coeficiente da cultura, atingia 35,0 mm (40% da água disponível na camada do solo até 1,0 m de profundidade) como sugerido por Allen et al. (1998). A evapotranspiração da cultura pelo método do tanque Classe A (E_{Tca}) foi calculada por intermédio das seguintes equações:

$$E_{To} = E_{ca} \cdot k_p \quad (1)$$

$$E_{Tca} = E_{To} \cdot k_c \quad (2)$$

nas quais E_{To} é a evapotranspiração de referência (mm), E_{ca} a evaporação medida no tanque Classe A (mm), k_p (DOORENBOS & KASSAN, 1979) o coeficiente do tanque Classe A e k_c (ALLEN et al., 1998) o coeficiente da cultura da soja.

Tratamentos T2 e T3 – As irrigações das parcelas desses tratamentos foram baseadas em leituras de tensiômetros, os quais estavam instalados nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m. A metodologia adotada para a irrigação constou em, inicialmente, acompanhar os valores dos potenciais de água no solo nos tensiômetros instalados a 0,20 m de profundidade até que atingissem -60 e -80 kPa, respectivamente, para os tratamentos T2 e T3 (KATERJI & HALLAIRE, 1984). Nessas ocasiões, as médias dos potenciais nos tensiômetros a 0,40 m de profundidade foram -47,1 (T2) e -81,4 kPa (T3). A partir desses momentos, as irrigações nas parcelas desses tratamentos foram sempre realizadas quando as médias

dos potenciais de água no solo na profundidade de 0,40 m atingissem os valores citados. A lâmina de água aplicada foi baseada na somatória da ETca diária ocorrida no intervalo entre as irrigações.

Tratamento T4 - Essa parcela foi irrigada após a semeadura para favorecer a emergência das plântulas e aos 29 dias após a emergência (d.a.e.), para iniciar o experimento com todos os tratamentos na mesma condição hídrica do solo e, posteriormente, nenhum aporte de água foi efetuado, até o final do ciclo da cultura, ocorrendo apenas precipitações pluviais.

A reserva utilizável de água no solo (RU, em mm) foi determinada por meio da seguinte equação:

$$RU = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) z \quad (3)$$

na qual θ_{cc} e θ_{pmp} são as umidades volumétricas na capacidade de campo e ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), respectivamente, e z (0,4 m) a profundidade efetiva das raízes (mm).

Nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m foram determinados os potenciais de água no solo, por meio do método da câmara de pressão de Richards (RICHARDS, 1941), até -100 kPa, sendo a capacidade de campo determinada com o uso da curva de retenção de água no solo, ajustada pela expressão matemática desenvolvida por Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\Psi/\alpha)^n]^m} \quad (4)$$

na qual θ é a umidade a base de volume ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Ψ o potencial de água no solo (cm de coluna de água), θ_r a umidade residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_s a umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), α , m e n os parâmetros empíricos do modelo matemático.

Em cada parcela foram instaladas três baterias de tensiômetros nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m com a finalidade de acompanhar a variação do conteúdo de água no solo.

O valor da lâmina de água aplicada em cada irrigação foi determinado pela média das quantidades de água recebidas em oito pluviômetros equidistantemente distribuídos dentro de cada parcela.

Para calcular a ETo pelo método de Penman-Monteith foi utilizada a seguinte expressão (ALLEN et al., 1998):

$$ETo = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - a_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (5)$$

na qual Rn é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), G o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), γ a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), T a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$), u_2 a velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s^{-1}), e_s e e_a déficit de pressão de vapor do ar saturado e do ar ambiente (kPa), respectivamente e Δ a inclinação da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$). ETcp foi determinada multiplicando o coeficiente de cultura (kc) por ETo.

A produção de grãos foi avaliada colhendo-se as vagens de soja de uma área útil de 100 m^2 . A colheita foi realizada manualmente, determinando-se a umidade dos grãos e corrigindo-se o peso final para 13% de umidade. A parcela do tratamento T4 foi colhida em 02/9/93, ao passo que as dos outros tratamentos em 20/9/93.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os três tratamentos receberam durante todo o desenvolvimento da cultura, por intermédio de irrigações, lâminas totais de água de 178,4; 171,2; 183,2 e 26 mm, distribuídas em seis, cinco, três e uma aplicação, respectivamente para T1, T2, T3 e T4. A irrigação inicial aplicada a cada tratamento, correspondente a 26,0 mm, cuja finalidade foi iniciar o experimento com a mesma condição hídrica do solo em todos os tratamentos, está incluída nesse total. As precipitações pluviométricas ocorridas durante o experimento somaram 146,9 mm distribuídas em onze ocorrências.

A Figura 1 apresenta os dados de potencial de água no solo na profundidade de 0,40 m para todos os tratamentos. Essa camada foi utilizada porque a maior parte do sistema radicular da cultura de soja encontra-se nessa região e também porque as metodologias para irrigar as parcelas T2 e T3 foram baseadas no potencial de água do solo nessa profundidade. Observa-se que a primeira irrigação no T1 foi realizada no dia 175 quando os valores de potencial de água no solo em todos os tratamentos eram aproximadamente -31 kPa, o que correspondia a uma reserva de água utilizável de 9,1 mm (camada de 0,20 m do solo). Como o total da reserva utilizável nessa camada é 12,6 mm, esse potencial de água no solo correspondia a um esgotamento dessa reserva de 28%.

A primeira irrigação do tratamento T2 (Ir T2) foi realizada no dia 183, quando o potencial de água no solo a 0,40 m de profundidade era -47,1 kPa. Esse valor corresponde a uma reserva utilizável de 7,6 mm, significando um esgotamento de água do solo de 40%. O início da irrigação em T3 (Ir T3) ocorreu no dia 194, quando o potencial de água no solo a 0,40 m de profundidade era de -81,4 kPa, indicando uma reserva

utilizável de água no solo de 5,8 mm e um esgotamento de água do solo nessa camada de 54%.

Percebe-se ainda na Figura 1 que, para todos os tratamentos, o potencial de água no solo a 0,40 m de profundidade apresentou valores próximos até o dia 195 e a partir dessa data os tratamentos se diferenciaram. Os tratamentos T1 e T2 mostraram durante todo o período tendências semelhantes. As irrigações efetuadas nas parcelas dos tratamentos não foram suficientes para repor a água perdida por evapotranspiração, com exceção da segunda e terceira irrigação do T3, em que o potencial de água no solo se aproximou do valor da capacidade de campo (-10,1 kPa). O problema pôde estar relacionado ao uso de valor errado da eficiência de irrigação (0,75) ou ocorrência de ventos na ocasião das irrigações.

Considerando que a reserva utilizável de água no solo da área experimental (capacidade de campo – ponto de murcha permanente) até a profundidade de 1,00 m é 87,0 mm, deveria então, segundo os resultados obtidos, irrigar as parcelas de T1 quando a somatória da ETc atingir 24,4 mm, de T2 quando essa soma chegar a 35 mm e T3 quando for 47 mm.

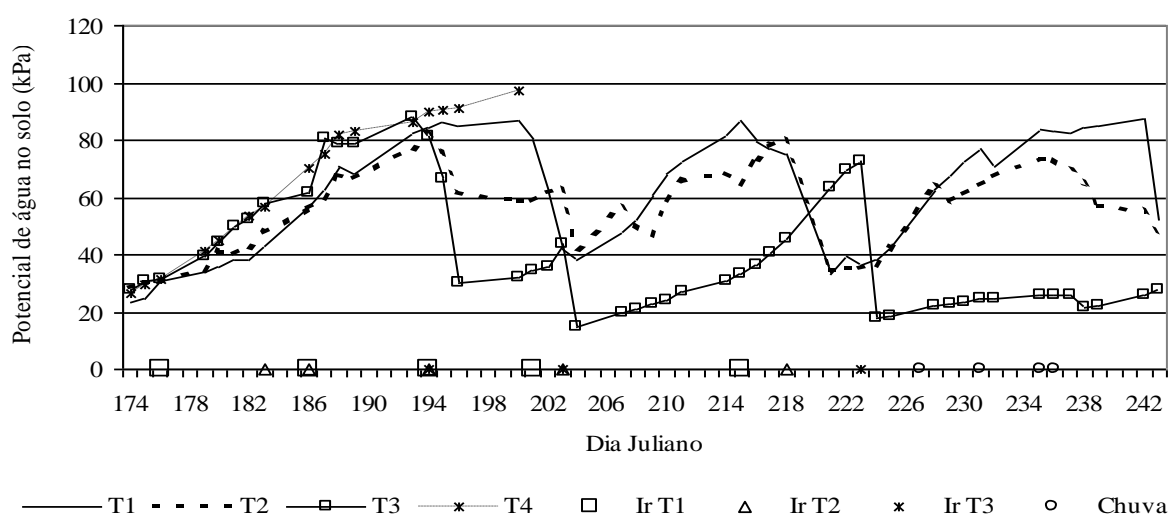


Figura 1. Valores absolutos médios do potencial de água no solo (kPa) a 0,40 m de profundidade, para todos os tratamentos, conforme descritos na Tabela 1, datas das irrigações e das precipitações pluviométricas, ocorridos durante o período de amostragem.

Na Figura 2 encontra-se a simulação das irrigações que os tratamentos deveriam ter recebido, determinada pelo método do tanque Classe A. Essas condições teriam ocorrido se a quantidade de água realmente aplicada correspondesse à soma da ETc do período. O total de água por meio de irrigações para T1 deveria ter sido 205,9 mm distribuídos em oito aplicações, mostrando uma diferença de 27,5 mm com o realmente utilizado. Para T2 e T3 seria de 189,3 e 209,0 mm, respectivamente, com cinco e quatro irrigações, resultando em 18,1 e 25,8 mm de diferença. Essas diferenças resultaram das quantidades efetivamente recolhidas pelos pluviômetros instalados nas parcelas e aquelas que realmente deveriam ser aplicadas. Portanto, T2 foi o tratamento que mais se aproximou da quantidade real de água a ser recebida por meio de irrigações.

Na Figura 3 encontram-se os dados diários da ETc calculados pelos métodos de Penman-Monteith e tanque Classe A. Os valores da ETca foram superiores na maior parte do período aos da ETcp. A soma da ETc de todo o período de amostragem (não considerando as precipitações ocorridas) foi 182,6 e 226,4 mm, respectivamente, para Penman-Monteith e tanque, resultando em uma diferença de 0,6 mm dia⁻¹ e os valores médios 2,3±0,74 e 2,9±0,84 mm dia⁻¹. O maior valor de ETca obtido durante o período de amostragem foi 4,7 mm e para ETcp 3,7 mm. Os maiores valores de ETc nos dois métodos ocorreram no período compreendido entre o início do florescimento (dia 180) até o enchimento de grãos (dia 225). No período de desenvolvimento vegetativo e maturação os valores de evapotranspiração foram menores.

O planejamento da irrigação, para todos os tratamentos, utilizando o método de Penman-Monteith seria o mostrado na Figura 4. Observa-se que se se utilizasse a ETca para o manejo de água de T1 a cultura receberia oito irrigações, ao passo que com ETcp, sete. A diminuição dos valores de ETc nos dias 227 e 231 foi consequência das precipitações ocorridas nesses dias. Nota-se que a primeira irrigação do experimento seria realizada dia 167 pelo método do tanque Classe A e 175 pelo de Penman-Monteith. A Tabela 1 apresenta as datas e quantidades de água que seriam aplicadas aos tratamentos pelos dois métodos. Utilizando o método de Penman-Monteith, todos os tratamentos receberiam uma irrigação a menos

do que com o do tanque Classe A. Os totais seriam 187,0; 162,8 e 159,7 mm, respectivamente para T1, T2 e T3, considerando a irrigação inicial de 26 mm. A diferença entre a quantidade de água realmente aplicada via irrigação e a simulada seria de -8,6; 8,4 e 23,5 mm, respectivamente, para T1, T2 e T3. Portanto, para T1 deveria aplicar 8,6 mm a mais, ao passo que para T2 e T3 as lâminas totais de água realmente utilizadas foram maiores. T3 seria o tratamento que apresentaria maior diferença.

A Figura 5 apresenta a simulação das irrigações utilizando-se o método de Penman-Monteith, com as quantidades de água que foram utilizadas nas parcelas dos tratamentos. Nota-se que nas datas das irrigações efetuadas em T3 a ETc acumulada atingiria 73,1; 49,7 e 57,7 mm, correspondendo a 84%, 57% e 66% da reserva utilizável, denotando que a cultura estaria em estresse hídrico de acordo com Allen et al. (1998), os quais recomendam um esgotamento máximo da reserva de água no solo de 50% para a cultura da soja. Os maiores valores de ETc acumulados para T2 e T3 foram 41,1 e 39,6 mm, que significaria 47% e 46% da água disponível no solo para a cultura, respectivamente.

Na Tabela 2 encontram-se as lâminas totais de água recebidas por cada tratamento, a produtividade de grãos e a porcentagem em relação ao tratamento mais produtivo. Verifica-se que T1 foi o mais produtivo, ao passo que os rendimentos de T2, T3 e T4 corresponderam a 92%, 72% e 22% em relação a T1. A diferença de produtividade entre T1 e T2 foi 8,2% indicando que a diferença de 7,2 mm na lâmina total de água recebida produziu decréscimo na produtividade. Observa-se uma pequena diferença entre T1 e T2, mas grandes diferenças entre esses tratamentos e os outros dois. Embora T3 tenha recebido praticamente a mesma quantidade de água do que T1, apresentou 28% a menos na produção de grãos, indicando que a quantidade de água não foi limitante para a maior produtividade, mas sim a frequência de irrigação. O esgotamento de água no solo em T3 foi superior a 50% da reserva utilizável, indicando, de acordo com Allen et al. (1998), que a cultura nesses períodos não estava evapotranspirando em sua taxa potencial. A relação entre produção de grãos e lâmina de água aplicada foi 6,5 kg mm⁻¹ para T1, 6,1 kg mm⁻¹ para T2 e 2,7 kg mm⁻¹ para T3.

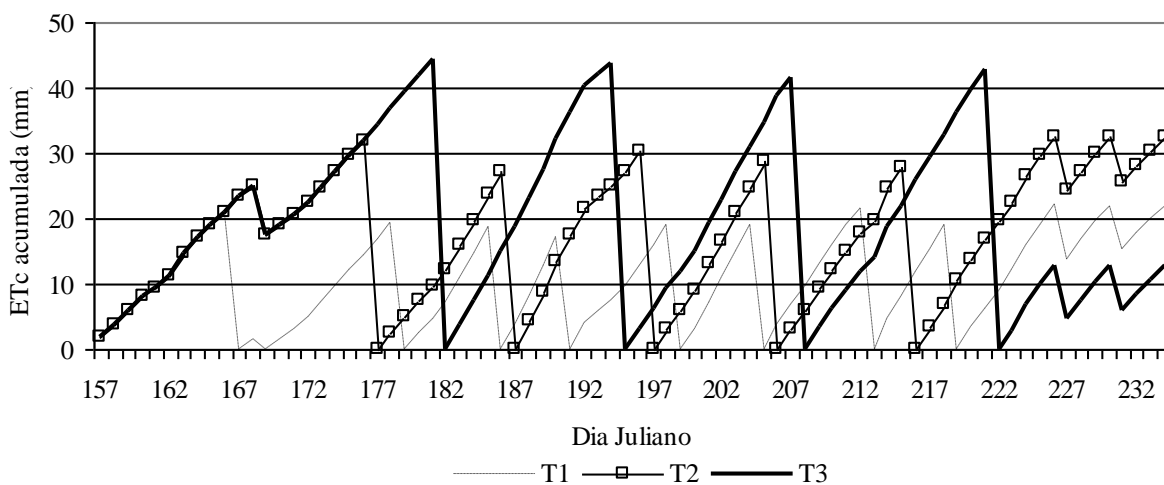


Figura 3. Valores diários da evapotranspiração da cultura (ETc) calculados pelo método de Penman-Monteith e tanque Classe A, obtidos durante o período de amostragem.

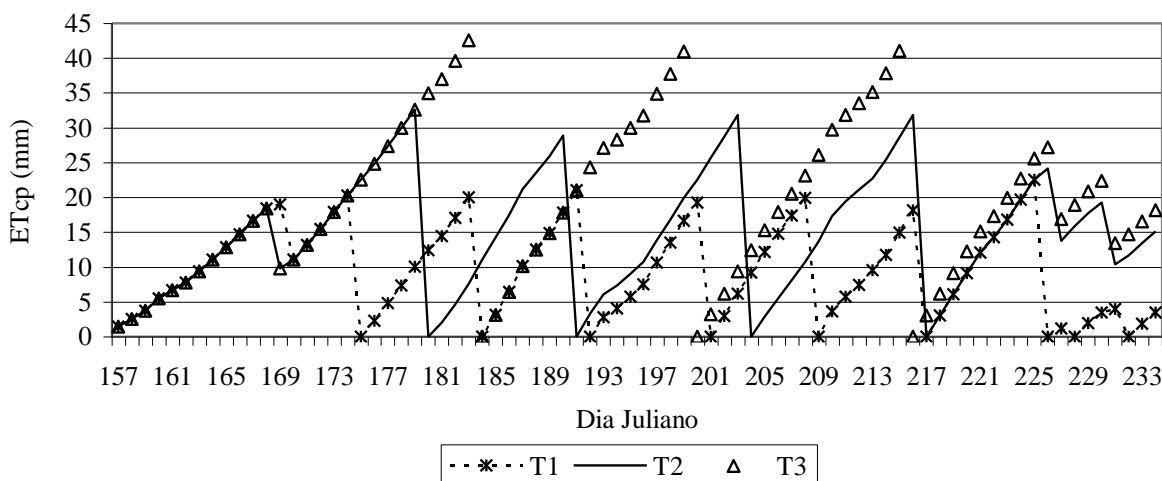


Figura 4. Planejamento da irrigação utilizando o método de Penman-Monteith, para todos os tratamentos, conforme descritos na Tabela 1.

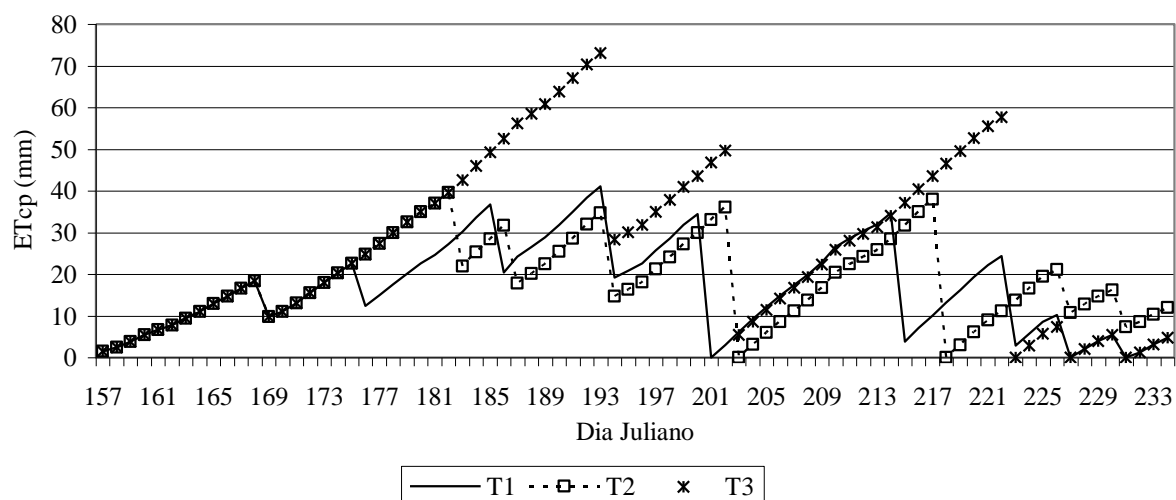


Figura 5. Simulação das irrigações considerando a evapotranspiração da cultura (ETcp) calculada pelo método de Penman-Monteith, para os tratamentos conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Lâminas de água (mm) que deveriam ser aplicadas por intermédios de irrigações e suas respectivas datas, para todos os tratamentos, calculadas pelos métodos de Penman-Monteith (ETcp) e tanque Classe A (ETca).

T1			T2			T3		
Data	ETcp Lâmina de água (mm)	ETca	Data	ETcp Lâmina de água (mm)	ETca	Data	ETcp Lâmina de água (mm)	ETca
167		23,4	177		34,5	182		46,7
175	22,6		180	34,9		184	46,0	
179		22,0	187		31,0	195		46,1
184	23,5		191	32,1		200	43,5	
186		22,2	197		33,5	208		44,6
191		21,4	204	34,9		216	44,2	
192	24,3		206		32,5	222		45,6
199		21,8	216		31,8			
201	22,4		217	34,9				
205		22,9						
209	22,9							
213		23,7						
217	21,2							
219		22,5						
226	24,1							
Total	161,0	179,9		136,8	163,3		133,7	183,0

T1- irrigado quando a Etc atingia 35 mm; T2 – irrigado quando potencial de água no solo a 40 cm de profundidade atingia -47 kPa; T3- irrigado quando o potencial de água no solo atingia -81 kPa.

Tabela 2. Produtividade média de grãos de soja, porcentagem em relação ao tratamento mais produtivo e lâmina total de água recebida pelos tratamentos, conforme descrição na Tabela 1.

Data da Colheita	Tratamento	Lâmina total de água (mm)	Produtividade (kg.ha ⁻¹)	Porcentagem (%)
20/9/93	T1	325,3	2120	100,0
20/9/93	T2	318,1	1946	91,8
20/9/93	T3	330,1	1516	71,5
02/9/93	T4	172,9	474	22,4

6 CONCLUSÕES

A utilização do método do tanque Classe A para planejamento de irrigação superestima a quantidade de água a ser aplicada e o número de irrigações em relação ao método de Penman-Monteith. A maior frequência de irrigação foi mais importante na produtividade de grãos do que a quantidade de água aplicada. Os tratamentos que tiveram esgotamento de água no solo inferior a 50% da reserva utilizável foram os mais produtivos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements.** FAO, Irrigation and Drainage n° 56, Roma, 1998. 301 p.
- ALLEN, R.G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.112, n.4, p.348-369, 1986.
- BOUCHET, R.J., Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. **Annuaire Agronomique**, Paris, v.14, p.743-824, 1963.
- BROCHET, P., GERBIER, N. **L'évapotranspiration: aspect agrométéorologique. Evaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle.** Monographie Météorologique, Paris, 1975. 89 p.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Yield response to water.** United Nations, Rome: FAO, 1979. p.193, (Irrigation and Drainage, Paper 33).
- EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FLINT, A.L.; CHILDS, S.W. Use of the Priestley-Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clearcut. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.56, n.2, p.247-260, 1991.
- GENÜCHTEN, M. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, n.3, p.892-898, 1980.
- KATERJI, N.; HALLAIRE, M. Les grandeurs de reference utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. **Agronomie**, Paris, v.4, n.10, p.999-1008, 1984.
- MOTA, F. S. et al. Análise agroclimática da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 133- 138, 1996.
- PIERI, P.; FUCHS, M. Comparison of Bowen ratio and aerodynamic estimates of evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.49, n.2, p.243-256, 1990.
- PRUEGER, J.H. et al. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.3, p.730-736, 1997.
- RICHARDS, L.A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, Baltimore, v.51, n.1, p.377, 1941.

SINCLAIR, T.R.; ALLEN, L.H.; LEMON, E.R. An analysis of errors in the calculation of energy flux densities above vegetation by a Bowen ratio profile method. **Boundary-Layer Meteorology**, Kluwer, v.8, n.1, p.129-139, 1975.

SPITTLEHOUSE, D.A.; BLANCK, T.A. Evaluation of the Bowen ratio/energy balance method for determining forest evapotranspiration. **Atmosphere-Ocean**, Downsview, v.18, n.1, p.98-116, 1980.

TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science**

Society of America Proceedings, Madison, v.24, n.1, p.1-9, 1960.

TURC, L. Evaluation des besoins en eau d'irrigation: évapotranspiration potentielle. **Annuaire Agronomique**, Paris, v.12, n.1, p.13-49, 1961.

UNLAND, H.E. et al. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid Sonoran desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.82, n.1, p.119-153, 1996.