

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DO GERGELIM POR MANEJO DE IRRIGAÇÃO

JOSÉ AMÉRICO BORDINI DO AMARAL¹ e MADSON TAVARES SILVA²

RESUMO: As informações sobre a evapotranspiração e os valores de coeficientes de cultivo do gergelim (*Sesamum indicum* L.) que possam subsidiar o seu manejo da irrigação são escassas. O presente estudo foi conduzido com o objetivo de estimar a evapotranspiração e os coeficientes de cultivo nas fases de crescimento vegetativo e de produção, do gergelim na região do cariri do Estado do Ceará. Foram utilizadas plantas de gergelim cv. CNPA G4, plantadas no espaçamento de 0,5 m x 0,5 m, em quadrante e irrigadas por aspersão. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada utilizando-se o método do balanço hídrico no solo, no período de 100 dias após o plantio (DAP), usando leituras do tensiômetro de água; a evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método FAO Penman-Monteith. Nas condições do estudo, a evapotranspiração do gergelim variou de um valor mínimo de 2,5 mm.d⁻¹, aos 5 dias após o plantio, até um valor máximo de 11,6 mm.d⁻¹, aos 30 dias de idade. Durante a fase de florescimento e desenvolvimento dos frutos, o Kc médio observado foi 0,8.

Termos para indexação: Balanço hídrico, *Sesamum indicum* L., tensiometria

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENTS FOR SESAME IRRIGATED

ABSTRACT: There is little information about evapotranspiration and crop coefficient values for sesame (*Sesamum indicum* L.) irrigation scheduling. The study was carried out aiming to estimate crop evapotranspiration (ETc) and crop coefficients (Kc) during the sesame crop development and mid-season stages, in the cariri region of Ceará, Brazil. Plants of the CNPA G4 sesame variety were used, which were planted on a 0.5 x 0.5 m quadrant spacing, and irrigated using sprinklers. ETc was estimated using the soil water balance method from the period 100 days after planting, using water tensiometer readings. ETo was estimated using the FAO Penman-Monteith equation. For the conditions where the study was performed, the sesame ETc varied from a minimum of 2.5 mm.d⁻¹ to the 5 (DAP), to a maximum value of 11.6 mm.d⁻¹, to the 30 (DAP). During the mid-season stage (flowering and fruit development stage) the average Kc value was 0.8.

Index terms: water balance, *Sesamum indicum* L., tensiometric.

INTRODUÇÃO

Para quantificar o reservatório de água no solo é preciso conhecer alguns conceitos que auxiliam o seu dimensionamento. Um desses

conceitos denomina-se água disponível, representa a água existente no perfil de solo onde se encontram as raízes e é retida com uma energia tal que possa ser vencida e absorvida pela planta. É, portanto, aquela água retida no solo entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente, em uma espessura de solo onde exista a maior parte das raízes da planta, ou seja, a camada de irrigação. A

¹Embrapa Agroindústria Tropical. Rua dra. Sara Mesquita 2270 Pici, 60511-110 - Fortaleza, CE, bordini@cnpat.embrapa.br

²Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58.109-970, Campina Grande, PB, E-mail: madson_tavares@hotmail.com.br

capacidade de campo é conhecida como o limite superior de disponibilidade de água para a planta; representa a umidade atingida pelo solo no final do processo de redistribuição da água de um perfil de solo saturado. O ponto de murchamento permanente é o limite inferior de disponibilidade de água para a planta. Essa é uma situação em que há uma certa quantidade de água nos poros do solo, porém, devido à elevada força de retenção existente entre as partículas sólidas do solo e a água, esta não se disponibiliza para o movimento em direção ao sistema radicular da planta. Nessa situação, a planta com seus mecanismos de defesa fecha as células responsáveis pela transpiração (estômatos), deixando nula a atividade fotossintética, o que resulta em estresse hídrico com conseqüente perda de rendimento. Estes conceitos de capacidade de campo, ponto de murchamento permanente e água disponível, apesar de polêmicos no que diz respeito à sua conceituação teórica, são indispensáveis, do ponto de vista prático, para o correto controle da irrigação.

O coeficiente de cultura (K_c) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura (ET_c), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência (ET_o). Este coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e também representa o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico, necessário para tanto o dimensionamento do sistema de irrigação quanto para a operacionalização de perímetros irrigados (CLARK et al. 1996; MOHAN; ARUMUGAM, 1994).

O coeficiente de cultivo é um fator importante no indicativo do consumo de água ideal para a planta durante todo o seu ciclo, constituindo-se, portanto, num elemento imprescindível para um escalonamento mais racional de projeto e manejo de irrigação. Este parâmetro, depende do estágio de

desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes. Segundo Doorembos e Pruitt (1977), o coeficiente de cultura relaciona a evapotranspiração de uma cultura que cresce sob condições ótimas, produzindo rendimentos máximos, com a de uma cultura de referência, com a grama.

Dessa forma, o estudo teve como objetivo estimar a evapotranspiração do gergelim, na região do cariri do estado do Ceará, durante as fases fenológicas, utilizando a metodologia do balanço hídrico do solo com aferição de tensiômetros de vácuo de água, e os coeficientes de cultivo do gergelim ao longo do ciclo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Barbalha/Missão Velha / Embrapa - Algodão, localizada em Barbalha, CE (7° 18' 45" de Latitude Sul e 39° 18' 45" de Longitude Oeste de Greenwich, com altitude de aproximadamente 415 m). O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Aw' - Tropical chuvoso, com estação chuvosa no outono. A precipitação média anual do município de Barbalha é de 986 mm, com evaporação anual de 2.625 mm, umidade relativa média de 86% e temperatura média anual de 27,1 °C.

O solo é classificado como Latossolo eutrófico, de textura argilosa, cuja análise física, realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para obtenção das características físico-hídricas, encontra-se apresentada na Tabela 1.

A cultivar utilizada no experimento foi a CNPA G4, a qual apresenta haste de cor verde, ausência de pêlos nas folhas e nas hastes, crescimento ramificado, sementes de cor creme, predominantemente um fruto por axila foliar,

TABELA 1. Resultados da análise física do Latossolo Eutrófico, unidade da Embrapa Algodão - Barbalha/ Missão Velha, Barbalha, CE.

Características Físicas	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,3	0,3 – 0,6
Granulometria (%)		
Areia	26,32	31,30
Silte	24	22,98
Argila	49,68	45,72
Classificação Textural	Argilosa	Argilosa
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,30	1,29
Densidade de partículas (g cm ⁻³)	2,53	2,66
Porosidade total (%)	48,62	51,40
Água disponível (%)	14,92	14,01

teor de óleo da semente entre 48 e 50%, peso médio de sementes de 3.10^{-3} Kg (EMBRAPA ALGODÃO, 2000) e ciclo de aproximadamente 100 dias entre emergência e maturação dos frutos. A cultura foi mantida livre das plantas daninhas, pragas e doenças durante todo o ciclo e conduzida sob regime de irrigação por aspersão.

Irrigou-se pelo sistema de aspersão convencional, utilizando-se dez tubos de 1 m de altura, dispostos no espaçamento de 12 m x 12 m, tendo sido o fornecimento de água realizado considerando-se uma eficiência de aplicação do sistema aspersivo de 70%, cujos aspersores aplicavam, em média, lâmina de 24,9 mm.dia⁻¹, funcionando simultaneamente, visando-se obter uma sobreposição de 100% da lâmina aplicada, os quais eram deslocados ao longo das posições, de forma que todas as parcelas ficassem a uma mesma distância dos emissores por ocasião da irrigação. Após a semeadura, aplicou-se uma lâmina em todas as parcelas, visando-se uniformizar a germinação. Para cada repetição foram instaladas 4 baterias de três tensiômetros de vácuo de água nas profundidades de 0,10; 0,25 e 0,40 m, totalizando 12, na área experimental, das quais se obtinham leituras diárias.

Na Figura 1 são apresentados os parâmetros climáticos ocorridos durante o período do ensaio com gergelim irrigado, observados em Barbalha, CE, no período de 1 de setembro a 1 de dezembro de 2006.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi estimada utilizando-se o método do balanço hídrico do solo, realizado de acordo com a metodologia apresentada por Reichardt, (1985), equação 1, para a profundidade de 0 a 0,4 m. Foram utilizados dados de três baterias de tensiômetros de vácuo de água, instalados nas profundidades de 0,10; 0,25 e 0,40 m.

$$ET_c = P + I \pm F_v - \Delta h \quad (1)$$

em que:

ET_c - evapotranspiração da cultura (mm);

P - precipitação pluvial (mm);

I - irrigação (mm);

F_v - drenagem profunda ou ascensão capilar (mm);

Δh - variação da armazenagem (mm) da água do solo na camada de profundidade de 0 a 0,6 m.

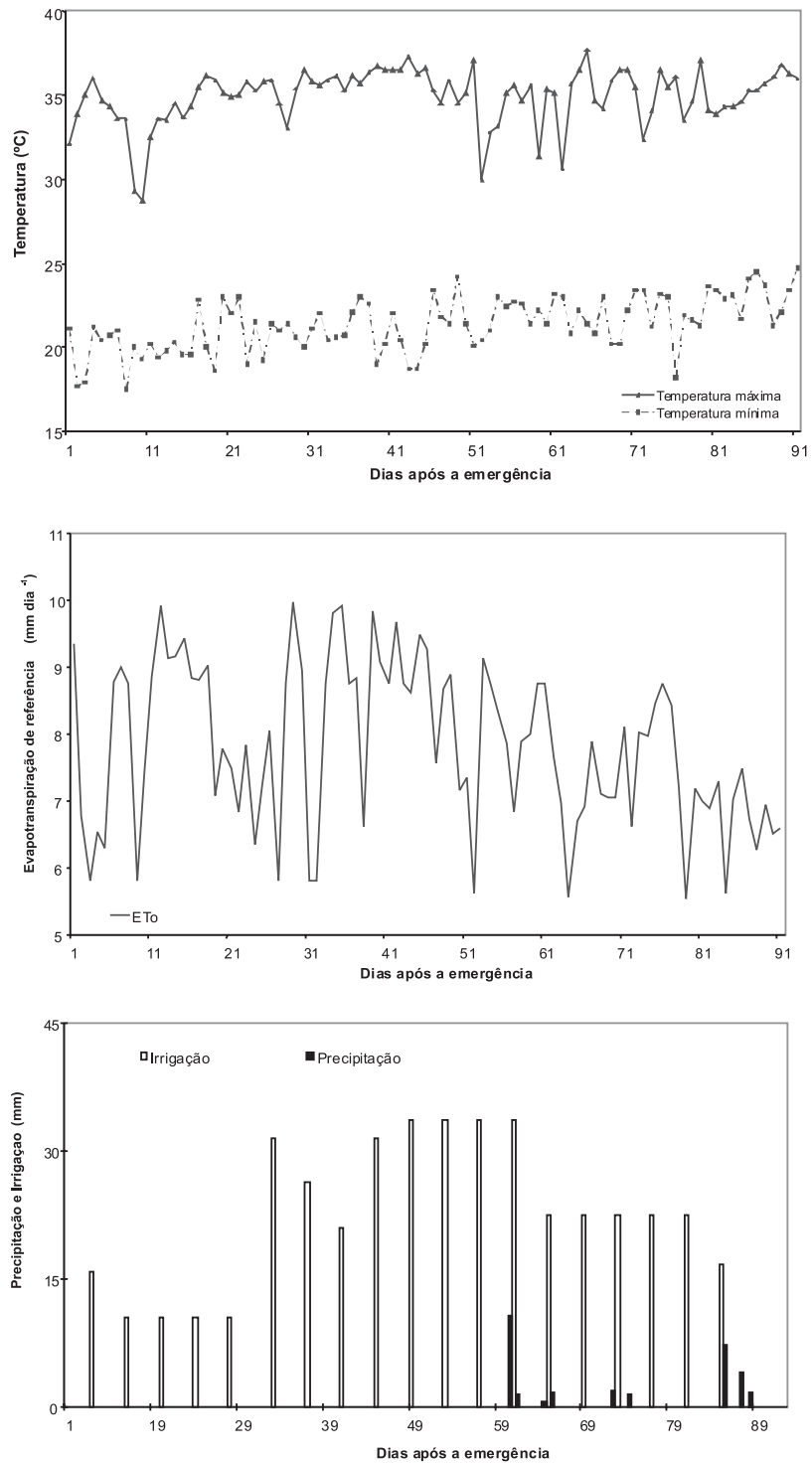


FIG. 1 - Condições climáticas no período do ensaio com gergelim irrigado. Barbalha,CE, setembro-dezembro de 2006

Os dados de precipitação pluviométrica (P) utilizados no estudo foram obtidos em um pluviômetro instalado em uma estação meteorológica localizada a 500 m do experimento. Foi considerada como precipitação efetiva, 75% da precipitação total no período. O escoamento superficial não foi considerado no balanço hídrico, por tratar-se de um terreno de topografia plana.

O controle da irrigação foi realizado com o auxílio de tensiômetros de vácuo de água, com aferição por tanque Classe A, localizado a cerca de 500 metros de distância da área experimental, em posto agrometeorológico. A leitura de ambos foi feita diariamente e o momento de irrigar foi determinado através da medição da tensão da água no solo. Para determinar a lâmina de água a ser aplicada em cada irrigação, conhecendo-se a tensão da água no solo, aplicou-se a equação (2) para determinar a umidade volumétrica atual ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O} / \text{cm}^3$ solo). Estabelecendo-se os níveis mínimo e máximo de umidade volumétrica em cada camada, a camada de água foi obtida mediante a expressão descrita por Martinez-Beltrán, (1986) através da equação (2):

$$h_t = \frac{1}{E_a} \left(\frac{\theta_{cc} - \theta_{pmp} \cdot D_s \cdot Z \cdot Fr}{100} \right) \quad (2)$$

em que:

h_t - altura total de água a ser aplicada (mm);

θ_{cc} - capacidade de campo (%);

θ_{pmp} - ponto de murcha permanente (%);

D_s - densidade do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$);

Z - profundidade para reposição de água até à capacidade de campo (mm);

E_a - eficiência de aplicação de água do sistema (em decimal), Fr - fator de reposição ou de disponibilidade de água (decimal < 1).

Os componentes de drenagem profunda ou ascensão capilar da água no solo foram

calculados diariamente para a profundidade de 0,6 m, utilizando-se as leituras dos tensiômetros de vácuo de água nas profundidades de 0,25 m e 0,4 m e a equação de Buckingham - Darcy, escrita de uma maneira simplificada por Reichardt (1985), equação (3):

$$F_v = -\bar{K}(\theta) \frac{\Delta\Psi}{\Delta Z} \quad (3)$$

em que:

- $\bar{K}(\theta)$ condutividade hidráulica do solo, em função da umidade do solo ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$);

$\frac{\Delta\Psi}{\Delta Z}$ gradiente do potencial hidráulico da água no solo ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-1}$).

A condutividade hidráulica média do solo não-saturado $\bar{K}(\theta)$ foi determinada pela equação (4) segundo Van Genuchten, (1980).

$$K(\theta) = K_{\omega} \left[\ell - \left(\ell - \omega^{-\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (4)$$

em que:

$k(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo saturado (mm dia^{-1}), $\omega = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$, $m = 1 - 1/n$, ℓ é um parâmetro empírico com valor igual a 0,5 para maioria dos solos (MUALEM, 1976), θ_r e θ_s são umidades volumétricas residual e de saturação, respectivamente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); α , m , n - coeficientes empíricos obtidos por regressão polinomial, determinados pelo software SWRC (Soil Water Retention Curve - versão Beta 3.0) para ajuste de curvas, que emprega o método iterativo de Newton - Raphson, estimando os cinco parâmetros θ_s , θ_r , α , m e n independentemente, observando-se as seguintes condições: $0 < \alpha < 1$, $0 < m < 1$ e $n > 1$.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelo método de FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), equação (5). Os dados

(temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento) utilizados para se estimar a evapotranspiração de referência (ET₀) foram medidos em uma estação meteorológica automática instalada próximo à área experimental.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \left(\frac{900U_2}{T + 237}\right)(e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (5)$$

em que :

ET₀ evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_n saldo de radiação (MJm⁻² dia⁻¹); G fluxo de calor no solo (MJm⁻² dia⁻¹); T Temperatura média diária do ar (°C); U₂ velocidade do vento média diária a 2 m de altura (ms⁻¹); e_s pressão da saturação do vapor média diária (kPa); e_a pressão atual de vapor média diária (kPa); S declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T_{med} (kPa °C⁻¹); γ coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

Os coeficientes decendiais do cultivo (K_c) correspondem à relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET₀); os K_c's são determinados por médias decendiais para cada fase e gerados pela interpolação dos dados para o período semanal e para as fases fenológicas definidas por Doorenbos e Kassam (1979). Equação (6):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (6)$$

em que:

ET_c é a evapotranspiração da cultura em mm dia⁻¹; ET₀ é a evapotranspiração de referência em mm dia⁻¹, obtida pelo método de Penman-Monteith.

RESULTADOS

Os tensiômetros de vácuo de água apresentaram-se como uma ferramenta de grande utilidade para monitorar a quantidade de

água no solo, como ainda pôde ser observado ao final do ciclo da cultura, quando ocorrem precipitações pluviais. Observou-se que nas profundidades de 0,25 e 0,40 m houve uma maior armazenamento de água. Os valores diários da lâmina de irrigação aplicada variaram de um mínimo de 10,0 mm dia⁻¹ até um máximo de 52,0 mm dia⁻¹, Figura 2.

A ET_c e o K_c do gergelim foram estimados no período de setembro a dezembro de 2006, quando as plantas apresentavam-se com 10 dias após o plantio (DAP) até 90 DAP. Para a determinação dos coeficientes de cultivo médios, dividiu-se o ciclo da cultura em duas fases: (I) fase de crescimento vegetativo, do início do estudo, aos 25 DAP, até 40 DAP, quando aproximadamente 100% das plantas estavam em florescimento e (II) fase intermediária ou de produção (florescimento e desenvolvimento dos frutos), a partir de 41 DAP. A partir de 70 DAP aproximadamente 100% das plantas estavam em produção.

DISCUSSÃO

Na Figura 2, observaram-se as lâminas de irrigação e a precipitação pluvial diária ocorrida durante o período de estudo, como também a variação das leituras dos tensiômetros de vácuo de água, que monitoravam a água no perfil de solo de 0,25 a 0,40 m, para uma lavoura de gergelim irrigada. Nota-se, no gráfico, que no tensiômetro localizado a 0,40 m ocorreram as menores variações até o 25º dia após a germinação, isto é, na fase de desenvolvimento vegetativo, na qual o consumo de água pela cultura foi baixo. No período reprodutivo, após o 40º dia, o valor máximo ocorreu entre o 55º e o 70º dia após a germinação. Observou-se ainda que os tensiômetros de vácuo de água localizados a maiores profundidades (0,25 e 0,40 m), começavam a acusar maior extração de água nessa camada de solo (secamento do solo), devido às maiores taxas de evapotranspiração da cultura no período reprodutivo.

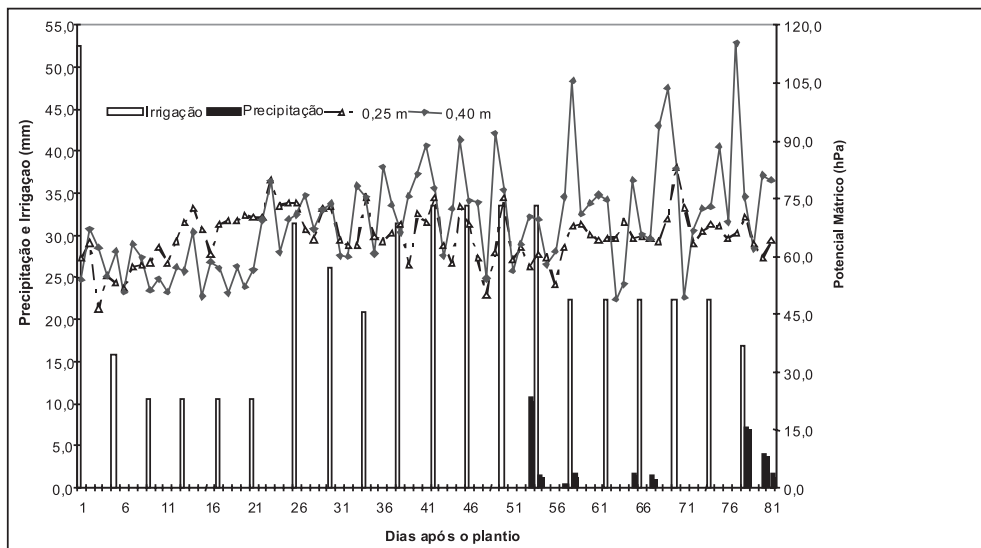


FIG. 2. Potencial mátrico, precipitação diária e lâminas de irrigação aplicadas durante a condução do experimento. Barbalha, CE, setembro-dezembro de 2006

As variações diárias da evapotranspiração (ETc), estimada no balanço hídrico, e da evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método FAO Penman-Monteith, são mostradas na Figura 3. Nota-se um aumento contínuo da evapotranspiração do gergelim em relação à ETo durante todo o período do estudo.

Na Figura 4, está representada a curva do coeficiente de cultivo do gergelim, observada nas condições da região do cariri do Ceará. Durante a fase de crescimento vegetativo (25 até 45 DAP), o Kc aumentou de 0,6 até 0,8. Durante a fase intermediária (florescimento e desenvolvimento dos frutos, a partir de 45 DAP)

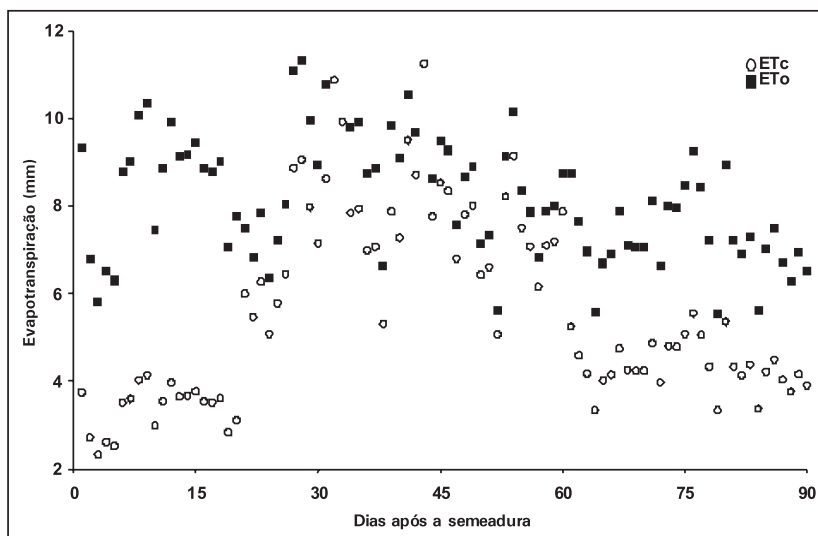


FIG. 3. Variação da evapotranspiração do gergelim (ETc) e da evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método FAO Penman-Monteith. Barbalha, CE, setembro-dezembro de 2006

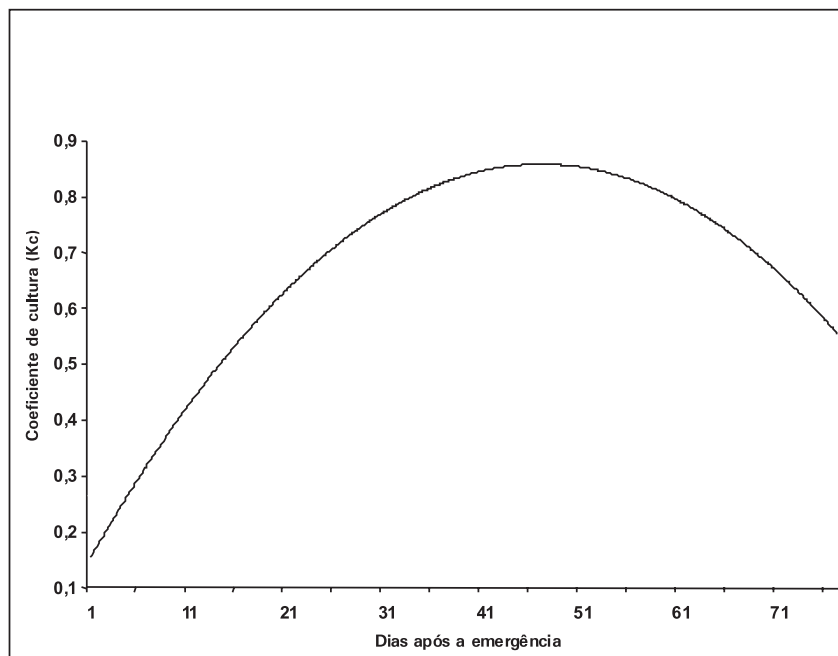


FIG. 4. Curva do coeficiente de cultivo (Kc) do gergelim. Barbalha, CE, setembro-dezembro de 2006

o Kc estabilizou-se e apresentou um valor médio de 0,80; observando-se os valores de Kc representativo de cada estágio fenológico, constata-se que são similares aos encontrados na literatura, como os apresentados por Doorembos e Kassam (1979).

No estágio I (estabelecimento da cultura), os valores médios de Kc obtidos usando o método de Penman-Monteith para estimativa de ET_o foram iguais ao da FAO; para os estágios II (período vegetativo) e III (floração e formação das vagens), os valores de Kc encontram-se dentro dos intervalos de variação de Kc apresentados por Doorembos & Kassam (1979) e, no estágio IV (maturação), os valores de Kc obtidos nesta pesquisa foram ligeiramente superiores aos valores de Kc apresentados por Doorembos & Kassam (1979).

CONCLUSÕES

Nas condições edafoclimáticas de Barbalha, CE, a evapotranspiração do gergelim variou de

um valor mínimo de $2,5 \text{ mm d}^{-1}$, aos 5 dias após o plantio, até um valor máximo de $11,6 \text{ mm d}^{-1}$, aos 30 dias de idade. A fase de crescimento vegetativo estendeu-se até 45 dias após o plantio, ao longo da qual os valores de Kc observados aumentaram de 0,6 até 0,8. Durante a fase de florescimento e desenvolvimento dos frutos, o Kc médio observado foi de 0,8.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

CLARK, P. B.; ALBREGTS, E. E.; STANLEY, C. D. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 3, p. 905-912, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield**

- response to water.** Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Roma: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper 24).
- EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB). **BRS 196 (CNPA G4):** nova cultivar de gergelim e seu sistema de cultivo. Campina Grande, 2000. 1 Folder.
- GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n.1, p. 898-982, 1980.
- MARTINEZ BELTRÁN, J. **Drenaje agrícola:** Madrid; Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986. v.1.
- MOHAN, S.; ARUMUGAM, N. Crop coefficients of major crops in south India. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, p. 67-80, 1994.
- MUALEM, Y. A. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Washington, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466 p.