

COEFICIENTES DE CULTURA PARA O TOMATEIRO IRRIGADO

Márcio José de Santana¹; Uander da Costa Pereira²; José Daniel Cambraia Beirigo²; Stefany Silva de Souza³; Talita Melo Campos⁴; Thiago Assumpção Vieira⁴

¹Prof. Dr. Irrigação e Drenagem, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba, MG; marciosantana@iftm.edu.br

²Estudantes Tecnologia Irrigação e Drenagem, IFTM, Campus Uberaba, MG

³Estudante Agronomia, IFTM, Campus Uberaba, MG, Bolsista PET Agronomia (MEC)

⁴Estudantes Agronomia, IFTM, Campus Uberaba, MG, Bolsistas FAPEMIG

1 RESUMO

Um dos métodos de manejo da irrigação mais utilizado é o tanque classe A, necessitando dos valores dos coeficientes de cultura para cálculo da evapotranspiração. O objetivo deste trabalho foi determinar os coeficientes de cultura (Kc) do tomateiro irrigado para a região de Uberaba, MG. Os dados do balanço de água no solo foram obtidos em uma área experimental com a cultura em tratamentos envolvendo níveis de reposição de água no solo (40%, 70%, 100%, 130%, 160% e 190% da lâmina necessária para elevar a umidade do solo para a condição equivalente à capacidade de campo). Os dados de tensão de água no solo foram coletados nas parcelas de 100% de reposição. A evapotranspiração de referência foi obtida pelo método do tanque classe A e a evapotranspiração da cultura por meio do balanço da água no solo. Concluiu-se que os valores de Kc para as fases inicial, desenvolvimento, intermediário, final e colheita foram, respectivamente, de 0,37; 0,72; 1,03; 1,10 e 0,75.

UNITERMOS: *Lycopersicon esculentum* L., coeficiente de cultura, déficit hídrico.

SANTANA, M.J.; PEREIRA, U.C.; BEIRIGO, J.D.C.; SOUZA, S.S.; CAMPOS, T.M.; VIEIRA, T.A. CROP COEFFICIENT FOR IRRIGATED TOMATO

2 ABSTRACT

One of the most utilized irrigation management methods is the class A Pan, which requires crop coefficients to estimate crop evapotranspiration. The objective of this work was to determine crop coefficients (Kc) of irrigated tomato in the region of Uberaba, MG. Soil water balance data were obtained in an experimental area with the culture under six levels of soil water replacement (40%, 70%, 100%, 130%, 160% and 190% of the depth necessary to raise the soil moisture to the field capacity condition). The soil water tension data were collected in plots of 100% replacement. The reference evapotranspiration was obtained by the class A Pan method and culture evapotranspiration was obtained utilizing soil water balance. Kc values for the initial, development, intermediate, final, and harvest phases were respectively of 0.37; 0.72; 1.03; 1.10 and 0.75.

KEY- WORDS: *Lycopersicon esculentum* L., crop coefficient, water deficit.

3 INTRODUÇÃO

Em geral, as hortaliças têm seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência de água é, normalmente, o fator mais limitante à obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial. A reposição de água ao solo por irrigação, na quantidade e no momento oportuno, é decisiva para o sucesso da horticultura (Marouelli et al., 1996).

O tomateiro é uma das hortaliças mais exigentes em água, com consumo acima da média. No fruto maduro do tomateiro, a água participa com 93% a 95% de sua constituição. Alvarenga (2004) relata que o ciclo do tomateiro pode ser dividido em três fases distintas. A primeira fase que tem duração de quatro a cinco semanas aproximadamente, indo do transplante das mudas até o início do florescimento. A segunda fase tem duração de cinco a seis semanas, iniciando-se por ocasião do florescimento e terminando no início da colheita dos frutos. A terceira fase vai do início ao final da colheita. É importante conhecer o início e término das fases possibilitando uma melhor programação das adubações, a indicação de cada nutriente, bem como a quantidade de água a aplicar.

As necessidades hídricas totais, após o transplantio, para a cultura do tomate são de 400 a 600 mm, dependendo do clima (Silva et al., 2000). Ainda conforme os mesmos autores a quantidade de água aplicada por irrigação deve ser suficiente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, na camada correspondente a profundidade efetiva do sistema radicular que, de modo geral, é de 40 cm.

Existem diversos métodos para estimativa do consumo de água pelas culturas. Dentre eles destaca-se o tanque classe A, por sua simplicidade e facilidade de instalação em campo. Com os valores de evaporação pode-se estimar a evapotranspiração da cultura.

Evapotranspiração é a perda de água para atmosfera, em forma de vapor, pelos processos de evaporação das superfícies e transpiração das plantas. A transpiração aumenta com o desenvolvimento da cultura, atingindo valores máximos no estágio de floração, quando as plantas cobrem totalmente o solo; a evapotranspiração apresenta comportamento semelhante, pois a transpiração é seu componente mais importante, uma vez que a evaporação do solo diminui com o desenvolvimento da cultura. Na agricultura irrigada, o conhecimento da evapotranspiração máxima nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas cultivadas é fundamental para o planejamento e manejo da irrigação (Bernardo, 1996).

Segundo Pavani (1985) a determinação da evapotranspiração é de grande importância para o planejamento e dimensionamento de projetos e do manejo de água em áreas irrigadas, não só no aspecto físico e biológico como também no de engenharia. Isso porque as obras e os equipamentos hidráulicos são dimensionados em função da vazão que, por sua vez, depende da evapotranspiração.

O planejamento e a operação de um projeto de irrigação que vise à máxima produção e boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requerem conhecimento das inter-relações entre solo-água-planta-atmosfera. O ponto chave no manejo da irrigação é decidir quando e quanto aplicar a água. A quantidade a ser aplicada pode ser calculada como sendo a água consumida pela cultura dividida pela eficiência do sistema, enquanto a quantidade de água consumida pode ser estimada pela evapotranspiração real (ET_r) (Bernardo, 1996).

A evapotranspiração de referência refere-se à evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual as medições meteorológicas são realizadas para a obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura (K_c) a serem utilizados na determinação da evapotranspiração de outras culturas agrícolas. A Organização das Nações

Unidas, por intermédio da FAO, estabeleceu o conceito de evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) em publicação mundialmente conhecida como “Guidelines for Crop Water Requirements” (Boletim FAO-24). No Brasil, ele tem sido amplamente adotado e utilizado por engenheiros, pesquisadores e extensionistas (Sediyama et al., 1998).

Com base principalmente no boletim FAO 24, a partir dos anos 1980, a terminologia evapotranspiração de referência (ET_o) é preferida à evapotranspiração potencial (ET_p) (Andrade et al., 1998).

Desde o plantio até a colheita, uma cultura vai progressivamente crescendo e ocupando a área disponível. Evidentemente, nessas condições, ocorre a ER que, na prática, é denominada de evapotranspiração da cultura (ET_c). O conhecimento de ET_c representa a quantidade de água a ser adicionada ao solo, para manter o crescimento e a produção em condições ideais (Oliveira, 2003).

O coeficiente de cultura, proposto por Van Wijk e Vries, é adimensional e representa a razão entre a evapotranspiração da cultura, ET_c, e a evapotranspiração de referência, ET_o (Sediyama et al., 1998).

A distribuição temporal do K_c para cada cultura irrigada constitui a curva da cultura. As curvas de cultura são corretamente obtidas de forma experimental e representam o efeito integrado da mudança na área da folha, da altura da planta, do grau de cobertura e da resistência do dossel da planta sobre a ET_c (Oliveira, 2003).

O objetivo deste trabalho foi determinar os coeficientes de cultura do tomateiro irrigado e cultivado na região de Uberaba, MG.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do setor de Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, campus Uberaba, MG, no período de maio a setembro de 2009. O mesmo se localiza a 800 m de altitude, com latitude de 19° 39' 19”S e longitude de 47° 57' 27”W. O clima do local, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido, com inverno frio e seco (Aw), com precipitação e temperatura média anual de 1500 mm e 21°C, respectivamente.

A cultivar utilizada foi San Marzano do grupo italiano conduzida em um área de aproximadamente 100 m². As plantas foram submetidas a seis níveis de reposição de água no solo (40%, 70%, 100%, 130%, 160% e 190% da lâmina para elevar o solo diariamente à capacidade de campo). Os dados para os coeficientes de cultura foram obtidos nas parcelas referentes ao tratamento 100% de reposição (sem déficit hídrico).

A adubação foi realizada conforme CFSEMG (1999) com seis coberturas. Demais tratamentos culturais seguiram recomendações de Filgueira (2000). O espaçamento utilizado foi 0,75 m x 1,0 m

Foi instalado na área experimental um termo-higrômetro e um tanque classe A. Os demais dados climáticos foram obtidos por meio uma estação meteorológica (a aproximadamente 200 m do local experimental).

A curva de retenção de água no solo foi determinada após coleta de amostras deformadas, das camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, sendo enviadas para o Laboratório de Relação Solo-Água-Planta da Universidade Federal de Lavras, MG. Para tensões de 2, 4, 6, 8 e 10 kPa foi utilizada uma mesa de tensão modificada, e, para as tensões de 33, 100, 500 e 1500 kPa, a câmara de pressão de Richards. Com o aplicativo SWRC, desenvolvido por

Dourado Neto et al. (1995), foi obtida relação do potencial matricial com a umidade do solo, ajustada segundo o modelo de Genutchen (1980).

A densidade média do solo para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, obtida pelo método do cilindro de Umland, forneceu valores de $1,05 \text{ g cm}^{-1}$ e $1,0 \text{ g cm}^{-1}$, respectivamente.

A capacidade de campo média do solo, conforme metodologia de Bernardo (1996), foi de 21,2% (7 kPa) e 21,1% (8 kPa), respectivamente, para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm.

Para aplicação dos tratamentos foi adotado um sistema de irrigação por gotejamento, sendo emissores do tipo in-line inseridos no tubo no momento da extrusão e distanciados entre si de 0,75 m (um emissor por planta). As leituras dos tensiômetros foram feitas com um vacuômetro digital de punção.

Com as tensões observadas, foram calculadas as umidades correspondentes, a partir das curvas características a 0,10 e 0,30 m. De posse dessas umidades e daquela correspondente à capacidade de campo e, ainda, considerando a profundidade do sistema radicular estratificada em duas subcamadas (0-20 cm e 20-40 cm), foram calculadas as lâminas de reposição (Equações 1, 2 e 3).

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{\text{atual}}) * z \quad (1)$$

$$LB = LL / Ea \quad (2)$$

$$LB_{\text{média}} = LB_{\text{média}10\text{cm}} + LB_{\text{média}30\text{cm}} \quad (3)$$

Em que:

LL = lâmina líquida de irrigação em cada subcamada (mm);

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{atual} = umidade no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

z = profundidade do sistema radicular (mm);

LB = lâmina bruta de irrigação (mm);

Ea = eficiência de aplicação do sistema (0,9);

$LB_{\text{média}10\text{cm}}$ = lâmina obtida pela média das leituras dos sensores instalados a 0,10 m;

$LB_{\text{média}30\text{cm}}$ = lâmina obtida pela média das leituras dos sensores instalados a 0,30 m.

Os coeficientes de cultura Kc foram determinados pela relação:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (4)$$

Em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

O balanço de água no solo foi realizado nas parcelas do tratamento 100%, nas quais foram obtidos os dados da equação e, posteriormente, os valores do coeficiente de cultura (Kc).

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de um pluviômetro localizado na estação de coleta de dados climáticos. As lâminas de irrigação foram estimadas pelas Equações 1, 2 e 3.

Para o cálculo do deflúvio superficial (E), foram confrontadas as lâminas precipitadas com a lâmina infiltrada potencial, fornecida pela equação de infiltração acumulada do solo, a

qual foi estimada com dados obtidos pelo método do infiltrômetro de anel, com base no modelo do tipo potencial:

$$I = 2,63T^{0,53} \quad (5)$$

Em que:

I = infiltração acumulada (mm);

T = tempo de infiltração (min);

O movimento de água no contorno inferior foi determinado pela Equação de Darcy-Buckingham:

$$q = -K(\theta) \frac{d\psi_t}{dx} \quad (6)$$

Em que:

q = densidade de fluxo da água no solo (mm h^{-1});

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo (mm h^{-1});

$\frac{d\psi_t}{dx}$ = gradiente de potencial total (mm mm^{-1}).

A condutividade hidráulica do solo não saturado foi determinada pelo método de Mualem (1976), conforme:

$$K(\theta) = K_0 w^L \left[1 - \left(1 - w^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (7)$$

Em que:

$$w = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (8)$$

Em que:

w = saturação relativa;

K_0 = condutividade hidráulica do solo saturado;

L = parâmetro empírico, que foi estimado por Mualem (1976) como sendo, aproximadamente 0,5, para a maioria dos solos (Libardi, 1999);

θ = umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_r = umidade residual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s = umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Para a obtenção da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) foi utilizado o Permeômetro de Guelph.

A variação do armazenamento foi calculada com base na Equação 9, considerando-se a profundidade igual a 0,4 m.

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1).z \quad (9)$$

Em que:

Δh = variação de armazenamento no intervalo de tempo considerado (mm);

θ_2 = umidade média no tempo final ($m^3 m^{-3}$);

θ_1 = umidade média no tempo inicial ($m^3 m^{-3}$);

z = profundidade considerada para o balanço (400 mm).

A evapotranspiração de referência foi determinada pelo método do tanque Classe A, sendo:

$$ET_o = K_t \cdot EV \quad (10)$$

Em que:

K_t = coeficiente do tanque (conforme Doorenbos & Kassam, 1994);

EV = evaporação do tanque ($mm \text{ dia}^{-1}$).

A evapotranspiração da cultura foi obtida promovendo-se o balanço hídrico num volume de controle correspondente à profundidade de 0,4 m.

$$\Delta h = P + I \pm Q - ET_c - E \quad (11)$$

Em que:

Δh = variação do armazenamento (mm);

P = lâmina precipitada (mm);

I = irrigação (mm);

Q = lâmina de entrada ou saída do contorno inferior (mm);

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm);

E = deflúvio superficial (mm).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 estão os valores de lâminas irrigadas e precipitadas durante a condução experimental. A lâmina total aplicada foi de 578 mm. Os valores de evapotranspiração de referência são mostrados na Figura 2.

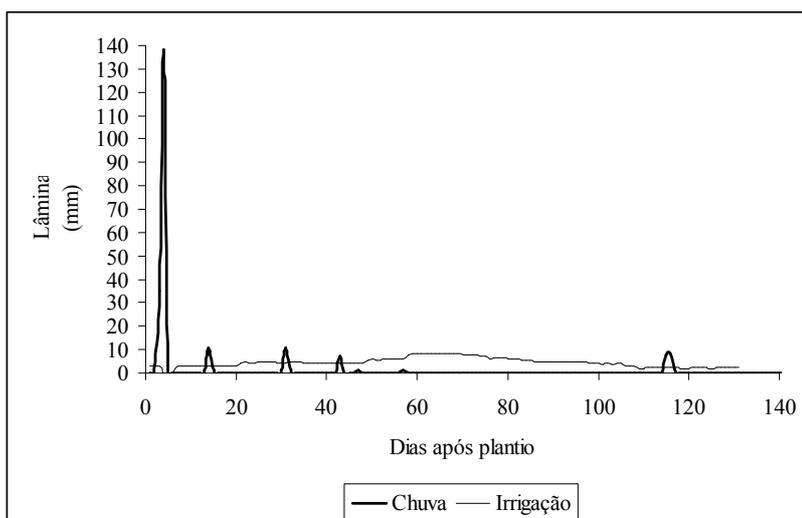


Figura 1. Precipitação e lâmina de água aplicada durante a condução do experimento

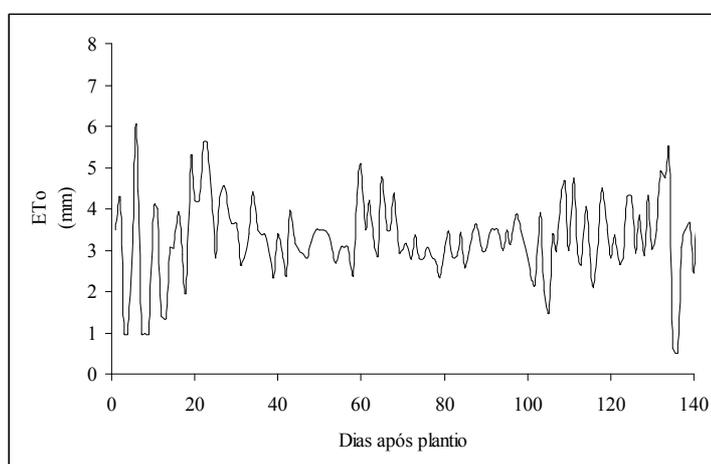


Figura 2. Evapotranspiração de referência observada durante a condução do experimento

A evapotranspiração diária do tomateiro cultivar San Marzano, cultivado em Uberaba, MG, consta na Figura 3, observando-se claramente a tendência de aumento na fase floração/frutificação (60 DAT) posterior diminuição até o final do ciclo. Esses resultados concordam com os obtidos por Azevedo (1984), Encarnação (1980), Reis et al. (2009) e Reichardt et al. (1974).

Os valores de K_c diários são apresentados na Figura 4 e a média observada em períodos de 10 dias na Figura 5. Esses valores apresentaram tendência semelhante à observada na evapotranspiração da cultura.

Na Tabela 1 estão os valores médios de coeficientes de cultura para diferentes fases do tomateiro. Nota-se que as fases intermediária e final foram as que apresentaram maiores valores de coeficiente de cultura.

Quando comparados com valores encontrados por Doorenbos & Kassam (1994) nota-se que apenas nos dois últimos estágios os coeficientes de cultura foram maiores que os apresentados por estes autores.

Já Reis et al. (2009) concluíram que os valores de coeficientes de cultura do tomateiro caqui foram de 0,7; 0,74 e 0,53 para as fases vegetativo, reprodutivo e maturação,

respectivamente. Neste caso o experimento foi conduzido em casa-de-vegetação e a evapotranspiração de referência foi obtida utilizando a equação de Penman-Monteith.

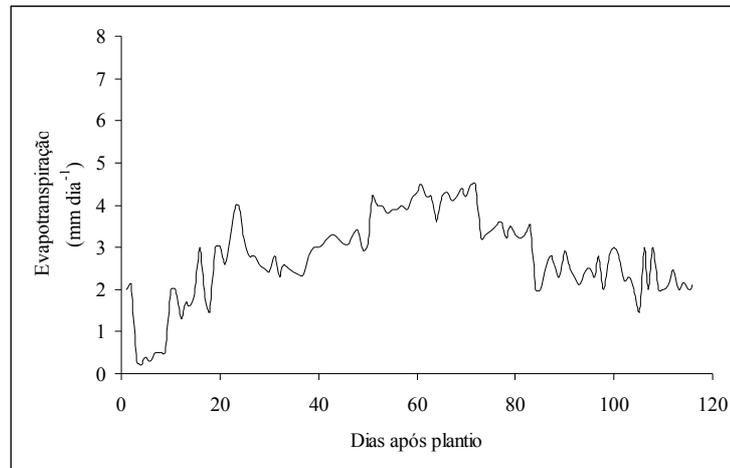


Figura 3. Evapotranspiração diária da cultura, observada durante a condução do experimento

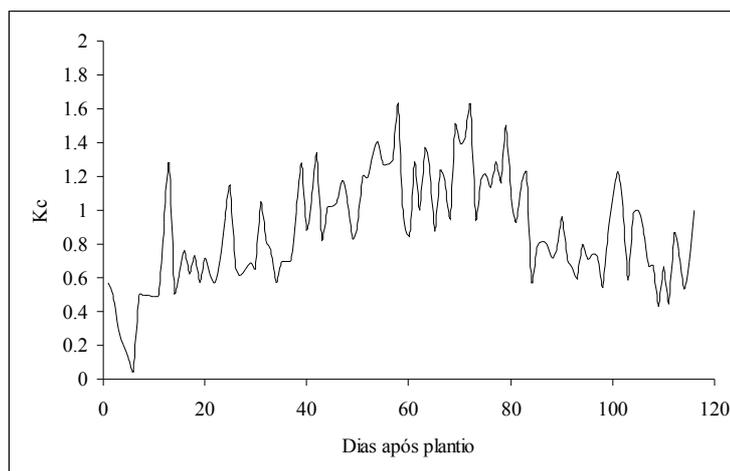


Figura 4. Coeficiente da cultura diário observado durante a condução do experimento

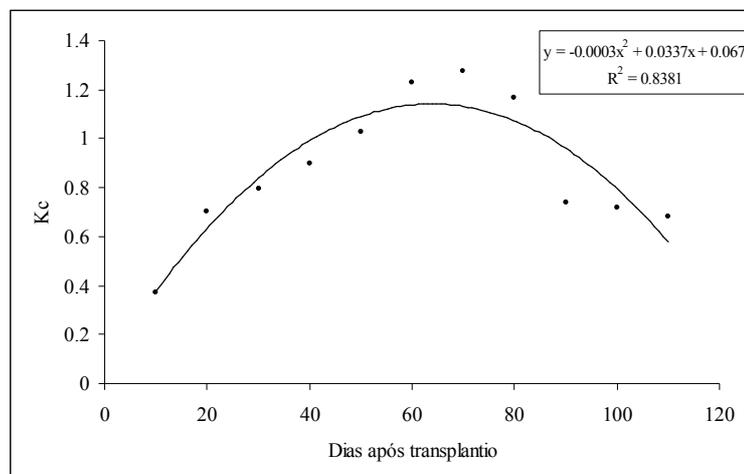


Figura 5. Coeficiente da cultura médio (decenal) observado durante a condução do experimento

Tabela 1. Coeficientes da cultura médios, para diferentes estágios de desenvolvimento do tomate.

Estágios	Duração (DAT*)	Doorenbos & Kassam (1994)	Atual experimento
Inicial	1 a 10	0,4-0,5	0,37
Desenvolvimento	11 a 30	0,7-0,8	0,72
Intermediário	31 a 60	1,05-1,25	1,03
Final	61 a 90	0,8-0,9	1,10
Colheita	90 ao final	0,6-0,65	0,75

* dias após transplântio das mudas.

6 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os valores de Kc para as fases inicial, desenvolvimento, intermediário, final e colheita foram, respectivamente, de 0,37; 0,72; 1,03; 1,10 e 0,75.

Os coeficientes de cultura encontrados para a fase final e fase de colheita foram superiores aos encontrados na literatura.

Os valores de evapotranspiração e coeficiente da cultura seguiram uma tendência de aumento próximo à fase de frutificação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. L. T. et al. Parâmetros de solo-água para engenharia de irrigação e ambiental, Poços de Caldas-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 1-39.

ALVARENGA, M.A.R. **Tomate:** produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras:UFLA, 2004. 400 p.

AZEVEDO, H. J. **Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).** 1984. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1984.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1996. 596 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Lavras, MG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: (5ª aproximação).** Viçosa, Imprensa Universitária UFV, 1999. 359p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO, Estudos de irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO. 1979. 193 p. (Technical note, 33).

DOURADO NETO, D. et al. **Programa SWRC** (Version 1. 00): Soil-Water Retention Curve (Software). Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995. 2 disquetes.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Goiano Precoce**. 1980. 62 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

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. 4, p. 892-898, sept./oct. 1980.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Editora EDUSP, 1999. 497 p.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5 ed. Brasília: EMBRAPA, 1996. 72 p.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, Washington, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

OLIVEIRA, P. M. **Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PAVANI, L. C. **Evapotranspiração e produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sob três níveis de potencial da água no solo**. 1985. 171 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; SANTOS, J. M. **An analysis of soil-water movement in the field: II. Water balance in a snap bean crop**. Piracicaba: CENA/ESALQ. 1974. 19 p. (Boletim científico, 22).

REIS, L. S.; SOUZA, J. L.; AZEVEDO, C.A.V. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 13, n. 3, p. 289-296. 2009.

SEDIYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relações clima-água-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2. Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-85.

SILVA, E.L. et al. **Manejo de irrigação das principais culturas**. UFLA: FAEPE, 2000. 85p.