



Coeficientes de cultura da cenoura nas condições edafoclimáticas do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais¹



Rubens A. Oliveira², Ismael de B. Rocha³, Gilberto C. Sedyama⁴, Mário Puiatti⁴, Paulo R. Cecon⁴ & Suely de F. R. Silveira⁴

¹ Projeto financiado pela FAPEMIG

² DEA/UFV. CEP 36571-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-1909. E-mail: rubens@ufv.br (Foto)

³ Engenheiro Agrícola, Doutorando, UFV. E-mail: ismaelbr@vicosa.ufv.br

⁴ DEA/UFV. E-mail: sediyama@ufv.br, mpuiatti@ufv.br, cecon@dpi.ufv.br e sramos@ufv.br

Protocolo 94 - 9/7/2002 - Aprovado em 24/4/2003

Resumo: A quantidade de água requerida em cada irrigação e o momento de sua aplicação, dependem das características físico-hídricas do solo e das condições climáticas locais e da cultura, considerando-se o seu estágio de desenvolvimento e a configuração de plantio. Neste trabalho, obtiveram-se coeficientes de cultura (K_c) da cenoura, variedade Nantes, explorada nas condições edafoclimáticas da região do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, seguindo-se a metodologia proposta no Boletim FAO 56, objetivando-se o manejo racional da água em áreas irrigadas por pivô central. Os valores de K_c foram 1,15, 1,12, 1,12 e 1,10 para os estádios de desenvolvimento inicial, crescimento da cultura, intermediário e final, respectivamente. Nos estádios inicial e de crescimento, os valores de K_c foram expressivamente maiores que aqueles obtidos com a metodologia FAO 24.

Palavras-chave: *Daucus carota* L., evapotranspiração, manejo de irrigação

Crop coefficients of carrot for the 'Alto Paranaíba' region in the Minas Gerais State, Brazil

Abstract: The amount of water required in each irrigation and the moment of its application depends on crop, soil type and the local climatic conditions. In this study crop coefficients (K_c) were adjusted with the methodology proposed by FAO Irrigation and Drainage Paper 56, for irrigation scheduling of a carrot in the region of 'Alto Paranaíba', in the State of Minas Gerais, Brazil. The K_c values for carrot grown in that region, irrigated by center pivot system, were 1.15, 1.12, 1.12 and 1.10 for beginning, initial, middle and final growth stages, respectively. In the beginning, initial and final growth stages, the obtained values of K_c were larger than those obtained by the methodology proposed in the FAO Irrigation and Drainage Paper 24.

Key words: *Daucus carota* L., evapotranspiration, irrigation management

INTRODUÇÃO

A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma hortaliça da família Apiácea, do grupo das raízes tuberosas, cultivada em larga escala nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. Os maiores produtores são os municípios de Carandaí, Maria da Fé, São Gotardo e Rio Paranaíba, MG/ Piedade, Ibiúna e Mogi das Cruzes, SP/ Ponta Grossa, PR, e Irecê, BA.

As hortaliças são espécies vegetais de ciclo curto, sendo seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do ambiente (Silva & Marouelli, 1998).

Em agricultura irrigada, o manejo da água deve ser adequado para cada espécie vegetal, sendo importante se conhecer alguns parâmetros básicos a respeito da necessidade de água das plantas. A determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c)

requer o conhecimento da magnitude dos elementos meteorológicos e de vários parâmetros caracterizadores da superfície evaporante, que permitam estimar-se as resistências de superfície e aerodinâmica e os fluxos de calor sensível e latente.

O coeficiente de cultura (K_c) representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a ET_c da evapotranspiração de referência (ET_o): a altura da cultura, a resistência de superfície e o albedo da superfície cultura-solo. Durante o período vegetativo, o valor de K_c varia com o desenvolvimento da cultura e com a fração de cobertura da superfície do solo, pela vegetação.

Doorenbos & Pruitt (1977) apresentaram coeficientes de cultura para várias espécies de interesse agrônomo e recomendaram que sejam realizados estudos regionais visando ajustar-se coeficientes de cultura para as condições edafoclimáticas locais e as características varietais.

Aragão Júnior (1983) obteve, em experimento conduzido em Guarimiranga, CE, valores de K_c para a cultura da cenoura, variedade Brasília, iguais a 0,77, 0,99 e 0,86, para os três últimos estádios de desenvolvimento. Carvalho (1994) encontrou, em experimento conduzido em Viçosa, MG, com a mesma variedade, os seguintes valores de K_c para os quatro estádios de desenvolvimento: 1,03, 0,80, 1,16 e 1,61. Em experimento conduzido em lisímetros com lençol freático constante, em Viçosa, MG, Giacoia Neto (1996) obteve os seguintes valores de K_c também para essa variedade, com profundidade do lençol freático mantida em 35 cm: 0,48, 0,77, 1,47 e 1,56. Silva & Marouelli (1998) apresentam valores de K_c para cenoura variando entre 0,70 e 0,90 no estádio inicial, com irrigações diárias, entre 0,70 e 0,85 no estádio de crescimento rápido; entre 1,00 e 1,15 no estádio intermediário, e entre 0,70 e 0,85 no estádio final. As diferenças entre os valores dos coeficientes de cultura devem-se, provavelmente, ao uso de métodos diferentes para se estimar a ET_o . Carvalho (1994) usou a equação de Penman modificada pela FAO 24, enquanto Giacoia Neto (1996) utilizou o tanque Classe A, e Silva & Marouelli (1998) adaptaram dados da FAO 24. A equação de Penman-Monteith é recomendada pela FAO como padrão de estimativa da evapotranspiração de referência (Pereira & Allen, 1997).

Os coeficientes de cultura podem ser determinados de duas formas: os K_c duplos e médios. Os K_c duplos são obtidos pela expressão (Pereira & Allen, 1997):

$$K_c = K_s K_{cb} + K_e \quad (1)$$

em que:

K_s - coeficiente de déficit de umidade do solo, adimensional

K_{cb} - coeficiente basal de cultura, adimensional

K_e - coeficiente de evaporação na superfície do solo, adimensional

O coeficiente basal de cultura é a razão entre a ET_c e a ET_o quando a camada superficial do solo se encontra seca, mas tendo a umidade na zona radicular adequada para manter a demanda atmosférica. O K_{cb} representa o limite inferior do K_c quando se subtraem os efeitos do umedecimento da camada superficial do solo pela irrigação ou precipitação. O K_s reduz o valor de K_{cb} quando a umidade do solo na zona radicular é insuficiente para atender a plena transpiração das plantas e o K_e representa a componente da evaporação da água presente na superfície do solo.

Os K_c médios são expressos da seguinte forma:

$$K_c = \bar{K}_{cb} + \bar{K}_e \quad (2)$$

em que a soma $\bar{K}_{cb} + \bar{K}_e$ representa a média temporal dos efeitos conjugados da transpiração da cultura e da evaporação na superfície do solo, assumindo-se $K_s = 1$.

Os K_c médios correspondem àqueles divulgados em numerosas publicações, principalmente as da FAO. Os K_c médios incluem efeitos gerais de umedecimento do solo pela

irrigação ou pela precipitação pluvial e que são utilizados para se calcular a ET_c relativa a períodos de vários dias, turno de rega maior, sobretudo para a condução da irrigação por gravidade ou aspersão convencional. Quando é necessário o conhecimento da ET_c diária, utiliza-se o método dos K_c duplos (Pereira & Allen, 1997).

Objetivou-se, com este trabalho, obter os coeficientes de cultura para a cenoura, seguindo-se a metodologia proposta no Boletim FAO 56 (Allen et al., 1998) de maneira a permitir o manejo racional da água dessa cultura, explorada nas condições edafoclimáticas da região do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais e irrigada por pivô central.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental da Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (COOPADAP), localizada no município de Rio Paranaíba, MG, com coordenadas geográficas de 19° 12' 26'' S de latitude, 46° 09' 46'' W de longitude e altitude de 1.159 m e clima Cwa, segundo classificação de Köppen. Nessa cooperativa, a cenoura é cultivada durante todo o ano, com área plantada variando entre 4.000 e 5.000 ha.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. A distribuição granulométrica e os resultados das análises físico-hídricas, encontram-se na Tabela 1A e B, tem-se o resultado da análise química do solo da área experimental.

Tabela 1. Distribuição granulométrica e resultado das análises físico-hídrica e química do solo da área experimental

Características	Unidades	Profundidade - cm	
		0 - 20	20 - 40
A. Físico-hídrica			
Argila	g kg ⁻¹	610	410
Silte	g kg ⁻¹	280	420
Areia	g kg ⁻¹	110	170
Capacidade de campo	g kg ⁻¹	320	310
Ponto de murcha	g kg ⁻¹	210	200
Massa específica	hg dm ⁻³	1,04	1,03
B. Químicas			
pH em H ₂ O		6,3	5,8
Fósforo	mg dm ⁻³	4,4	0,8
Potássio	mg dm ⁻³	36	18
Cálcio	cmolc dm ⁻³	2,9	0,8
Magnésio	cmolc dm ⁻³	0,7	0,1
Alumínio	cmolc dm ⁻³	0,0	0,0
Hidr. + Alumínio	cmolc dm ⁻³	6,1	5,9
Matéria Orgânica	dag kg ⁻¹	4,65	3,89

O preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens, seguidas de passagem da rotocanteiradora. O experimento foi conduzido em cinco canteiros de 1,75 x 81,0 m, plantados com cenoura (*Daucus carota* L.) da variedade Nantes, sendo o canteiro central utilizado para coleta dos dados.

O plantio foi feito em quatro linhas duplas espaçadas 0,40 m, com sementes espaçadas 0,02 m. Na área experimental foram aplicados, 15 dias antes do plantio, 180 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, 220 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de

cloreto de potássio, 2.222 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, para elevar a saturação de bases, conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999).

A emergência das plântulas ocorreu em 24 de maio de 2001, ou seja, 13 dias após a semeadura. Aos 20 e 40 dias após o plantio, aplicaram-se 210 kg ha⁻¹ de N e 166 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura. O desbaste foi feito 35 dias após a emergência, adequando-se o espaçamento para 0,04 m entre plantas na fileira, estabelecendo-se uma população de 150 plantas m⁻².

Na área experimental foi instalada uma estação meteorológica automática compacta, com sensores de medição da radiação solar, precipitação pluvial, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar. A coleta diária de dados climáticos foi feita às 8 h.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada aplicando-se a equação de Penman-Monteith, em base diária (Allen et al., 1998). A metodologia utilizada no cálculo da ET_c considerou os efeitos de umedecimento da camada superficial do solo no valor do coeficiente de cultura, particionado em K_{cb} e K_e. Assim, a ET_c foi estimada de acordo com a seguinte equação:

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) ET_o \quad (3)$$

O ciclo da cultura da cenoura foi dividido em quatro estádios, de acordo com os parâmetros propostos por Doorenbos & Pruitt (1977) para a determinação dos K_{cb} correspondentes: inicial - 20 dias; crescimento da cultura - 32 dias; intermediário - 50 dias; e final - 24 dias. A colheita das raízes de cenoura foi realizada aos 126 dias após o plantio.

Na determinação dos coeficientes basais de cultura foram usados os valores recomendados por Allen et al. (1998), para a condição sem estresse: k_{cb} inicial = 0,15, k_{cb} intermediário = 0,95 e k_{cb} final = 0,85. O ajuste dos coeficientes basais de cultura, para os períodos intermediário e final, foi feito por meio da aplicação da seguinte equação:

$$K_{cb} = K_{cb(tab)} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (4)$$

em que:

K_{cb(tab)} - valor para K_{cbmeio} ou K_{cbfinal} (se = 0,45) da Tabela 17 de Allen et al. (1998)

u₂ - velocidade do vento, média diária, a 2,0 m de altura, m s⁻¹ (para intervalo de variação de 1 a 6 m s⁻¹)

UR_{min} - umidade relativa mínima diária média, % (para intervalo de variação de 20 a 80%)

h - altura da cultura, m

O coeficiente de evaporação foi calculado aplicando-se a equação:

$$K_e = \min(K_r(K_{cmax} - K_{cb}), f_{ew} K_{cmax}) \quad (5)$$

em que:

K_r - coeficiente de redução da evaporação

f_{ew} - fração do solo que está exposto e umedecido

K_{cmax} - valor máximo de K_c após chuva ou irrigação

Na determinação do K_r, consideram-se duas fases: 1) logo após uma chuva ou irrigação, a evaporação na superfície umedecida do solo ocorre a uma taxa máxima e depende somente da energia disponível; assim, K_r = 1; e, 2) a ocorrência de evaporação na superfície do solo limita a evaporação da água contida no perfil, adotando-se a profundidade de 0,15 m; neste caso, K_r é calculado por:

$$K_r = \frac{TEW - D_{e,i-1}}{TEW - REW} \text{ para } D_{e,i-1} > REW \quad (6)$$

em que:

TEW - lâmina máxima de água que pode ser evaporada do solo, mm

D_{e,i-1} - lâmina de evaporação acumulada na camada superficial do solo até o final do dia anterior, mm

REW - lâmina de evaporação acumulada até o final da fase 1, mm

A lâmina de água máxima que pode ser evaporada do solo foi calculada aplicando-se a seguinte equação:

$$TEW = 1000(\theta_{CC} - 0,5\theta_{PM})Z_e \quad (7)$$

em que:

θ_{CC} - umidade do solo na capacidade de campo, m³ m⁻³

θ_{PM} - umidade do solo no ponto de murcha permanente, m³ m⁻³

Z_e - profundidade do solo sujeita a evaporação (0,10 a 0,15m). Assumiu-se Z_e igual a 0,15m

O valor de K_{cmax} foi obtido com a aplicação da equação:

$$K_{cmax} = \max \left\{ 1, 1 + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}, K_{cb} + 0,05 \right\} \quad (8)$$

A fração de solo exposta e umedecida (f_{ew}), na qual ocorre a maior parte da evaporação, foi calculada por:

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad (9)$$

em que:

1 - f_c - fração média de solo exposto, não-sombreado (0,01 a 1)

f_w - fração média da superfície do solo molhada por irrigação ou chuva (0,01 a 1); no caso de irrigação por aspersão, f_w = 1 (Allen et al., 1998)

A fração efetiva da superfície do solo sombreada pela vegetação foi estimada pela equação seguinte:

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{c\min}}{K_{c\max} - K_{c\min}} \right)^{(1+0,5h)} \quad (10)$$

em que $K_{c\min}$ é o menor valor de K_c para solo com superfície descoberta e seca ($\approx 0,15$ a $0,20$).

Os cálculos foram efetuados com uso do programa REF-ET, para estimar a ETo pelo método Penman-Monteith, e da planilha FAO-56 (Allen et al., 1998) para estimar o K_c .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos elementos climáticos precipitação, radiação solar, temperatura, umidade relativa e vento foram obtidos com uso de uma estação meteorológica automática, apresentados nas Figuras de 1 e 2, respectivamente. As lâminas de irrigação aplicadas durante o período experimental estão na Figura 1.

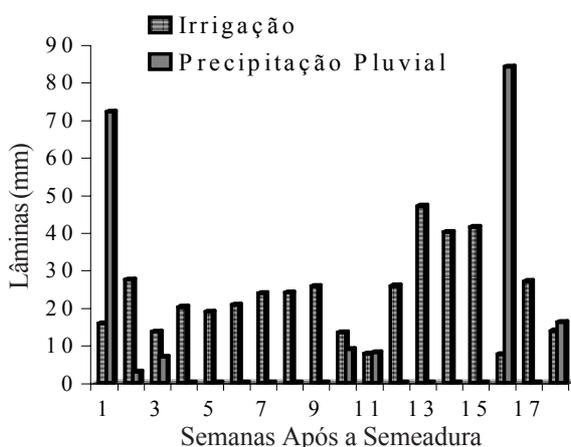


Figura 1. Lâminas de irrigação aplicadas e precipitação pluvial ocorrida no decorrer do experimento

A análise dos dados climáticos mostra a ocorrência de maiores precipitações nos períodos inicial e final do experimento. A radiação solar média diária foi de $271,8 \text{ W m}^{-2}$. As temperaturas máxima e mínima oscilaram em torno de $23,7$ e $14,0 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. A umidade relativa do ar máxima variou entre 58 e 100%, enquanto a mínima ficou entre 20 e 92%. A velocidade do vento no período experimental foi moderada, com média de $2,2 \text{ m s}^{-1}$.

Na Tabela 2 encontram-se os valores de coeficiente de cultura da cenoura nos diversos estádios de desenvolvimento, encontrados em diferentes fontes de literatura e determinados no presente estudo (FAO 56).

Neste trabalho foram obtidos valores de K_c de 1,15; 1,12; 1,12 e 1,10, para os estádios de desenvolvimento inicial, crescimento rápido, intermediário e final, respectivamente. A metodologia proposta no Boletim FAO 56 leva em consideração o umedecimento da camada superficial do solo, afetando as estimativas do K_c dos dois primeiros estádios, em comparação com os outros resultados baseados no Boletim FAO 24.

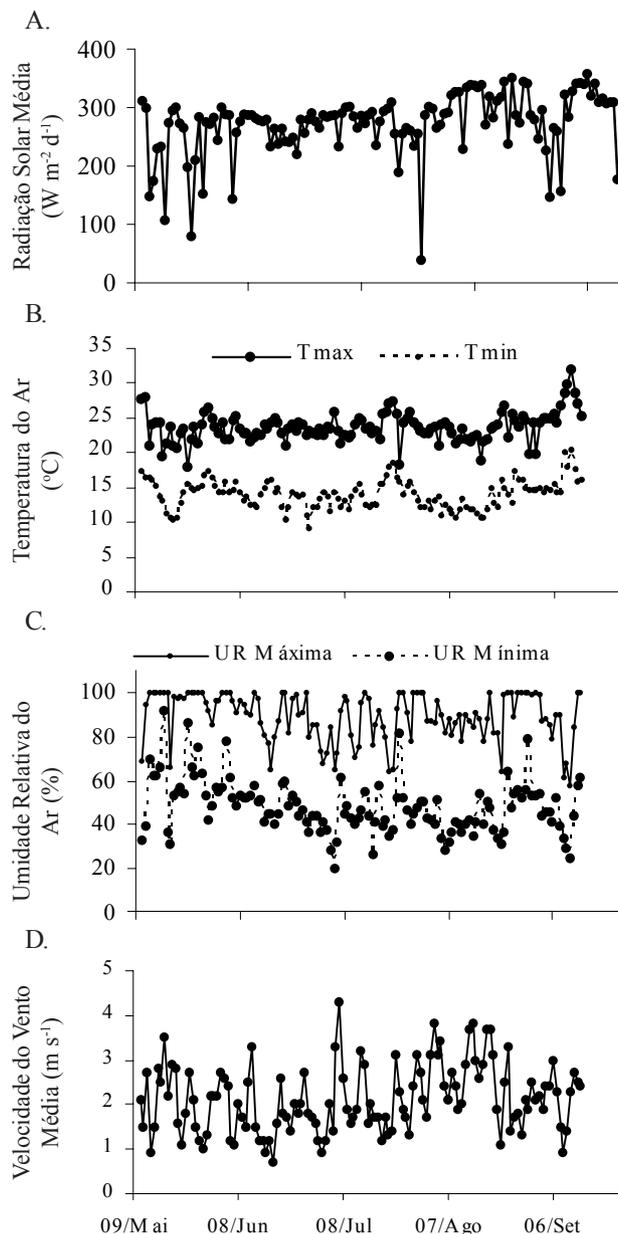


Figura 2. Radiação solar média diária (A), temperatura do ar máxima e mínima (B), umidade relativa do ar máxima e mínima (C) e velocidade do vento média diária (D)

Tabela 2. Valores de coeficiente de cultura (K_c) da cenoura (*Daucus carota* L.) nos diversos estádios de desenvolvimento, obtidos com uso dos Boletins FAO 24 e FAO 56

Estádios de Desenvolvimento	K_c^1	K_c^2	K_c^3	K_c^4	K_c^5
Inicial	-	1,03	0,48	0,50-0,60	1,15
Crescimento rápido	0,77	0,80	0,77	0,70-0,85	1,12
Intermediário	0,99	1,16	1,47	1,00-1,15	1,12
Final	0,86	1,61	1,56	0,70-0,85	1,10

¹ Aragão Júnior et al. (1983)
² Carvalho (1994)
³ Giacóia Neto (1996)
⁴ Silva & Marouelli (FAO-24)
⁵ Presente estudo (FAO-56)

No transcórper dos estádios inicial e de crescimento da cultura, o manejo da irrigação foi conduzido com turno de rega de 2 dias até o desbaste, efetuado aos 40 dias após o plantio.

Assim, a superfície do solo permaneceu úmida e relativamente exposta nesse período, aumentando o valor do coeficiente K_c e mantendo o K_s igual à unidade; isto contribuiu para que o valor do coeficiente K_{cb} , determinado com aplicação da metodologia FAO 56, fosse maior que o K_c médio estimado de acordo com a metodologia recomendada no Boletim FAO 24, como pode ser observado na Figura 3, na qual a curva K_{cb} corresponde aos valores mínimos da evapotranspiração da cultura para condições adequadas de umidade do solo. As elevações bruscas que ocorrem na curva $K_{cb} + K_c$ correspondem aos períodos em que ocorreu irrigação ou chuva, umedecendo a superfície do solo e aumentando, temporariamente, o valor da evapotranspiração da cultura.

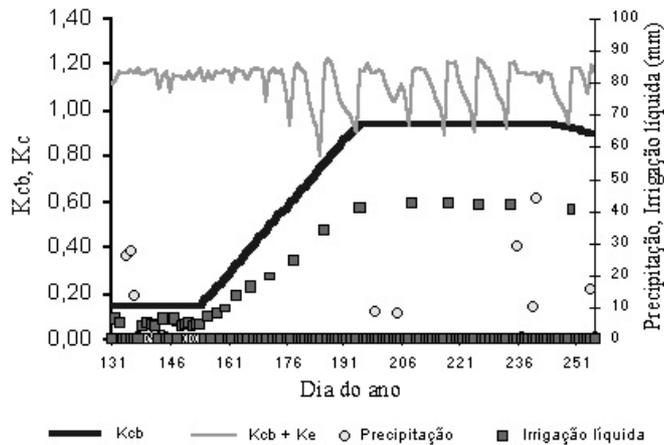


Figura 3. Variação dos coeficientes K_{cb} e K_c ($K_{cb} + K_c$), precipitação pluvial e lâmina de irrigação, ao longo do ciclo da cultura da cenoura

Nos estádios intermediário e final, as irrigações foram feitas com menor frequência e lâmina maior. Na região do Vale do Alto Paranaíba é usual efetuar-se a irrigação da cultura da cenoura, nesses estádios, com turno de rega máximo de 3 dias, quando se usa sistema pivô central. Embora a superfície do solo tenha ficado umedecida, a evaporação foi atenuada pelo sombreamento.

CONCLUSÕES

1. Os valores de K_c para a cultura da cenoura explorada na região do Alto Paranaíba, MG, foram iguais a 1,15; 1,12; 1,12 e 1,10 para os estádios de desenvolvimento inicial, crescimento da cultura, intermediário e final, respectivamente, obtidos por meio da aplicação da metodologia proposta no Paper FAO 56.

2. Nos dois primeiros estádios, inicial e crescimento da cultura, os valores de K_c foram expressivamente maiores que os obtidos com a metodologia FAO 24.

LITERATURA CITADA

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 319p. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56.
- Aragão Júnior, T.C. Determinação do coeficiente de cultura (K_c) para a cenoura (*Daucus carota* L.) pelo método do balanço hídrico. Fortaleza, CE: UFC, 1983. 45p. Dissertação Mestrado
- Carvalho, J. de A. Coeficiente de cultura, avaliação econômica da produção e análise do crescimento da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada. Viçosa, MG: UFV, 1994. 78p. Tese Doutorado
- Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação do uso de corretivos e fertilizantes no estado de Minas Gerais, 5ª aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193p. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33
- Doorenbos J.; Pruitt, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements, Rome: FAO, 1977. 179p. Irrigation and Drainage, Paper 24
- Giacoia Neto, J. Efeito da profundidade do lençol freático na evapotranspiração e na produtividade da cultura de cenoura (*Daucus carota* L.). Viçosa, MG: UFV, 1996. 56p. Dissertação Mestrado
- Pereira, L.S.; Allen, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118-143, 1997.
- Silva, W.L.C.; Marouelli, W.A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas, MG. Manejo de irrigação. Poços de Caldas: SBEA-UFLA, 1998. p.311-348.