



# Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento ( $K_{c_{ini}}$ ) à lâmina de irrigação e textura do solo<sup>1</sup>



Wagner R. Soares<sup>2</sup>, Gilberto C. Sedyama<sup>3</sup>, Aristides Ribeiro<sup>4</sup> & José M.N. da Costa<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Parte da Dissertação do primeiro autor, apresentada à UFV para obtenção do título de Mestre em Meteorologia Agrícola

<sup>2</sup> DEA/UFV. CEP 36571-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-2734

<sup>3</sup> DEA/UFV. Fone: (31) 3899-1905. E-mail: sediyama@mail.ufv.br (Foto)

<sup>4</sup> DEA/UFV. Fone: (31) 3899-1906. E-mail: ribeiro@mail.ufv.br

<sup>5</sup> DEA/UFV. Fone: (31) 3899-1898. E-mail: jmncoستا@mail.ufv.br

Protocolo 033 - 03/04/2000

**Resumo:** Para este trabalho, analisou-se a dependência do coeficiente de cultura para o estágio de desenvolvimento inicial ( $K_{c_{ini}}$ ) à lâmina de irrigação e textura do solo; os  $K_{c_{ini}}$  foram estimados por meio da relação entre a evaporação direta da água do solo ( $E_s$ ) avaliada pelo modelo de Ritchie, e a evapotranspiração de referência, pelo método de Penman-Monteith, padrão FAO - 1991. Os dados meteorológicos utilizados referentes ao ano de 1998, foram coletados na estação meteorológica do INMET, situada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, em que o modelo de Ritchie possibilitou a estimativa da  $E_s$  para nove valores de lâminas de irrigação aplicadas (5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 e 60 mm) com o objetivo de se analisar a dependência de  $K_{c_{ini}}$  à lâmina de irrigação e textura do solo. Os resultados mostraram que os valores de  $K_{c_{ini}}$  são maiores quando se aumenta o valor da lâmina de água aplicada, mas eles não aumentaram quando o valor da lâmina aplicada foi maior que o suficiente para que, no modelo de Ritchie, ocorresse o retorno ao início da fase 1 de evaporação da água do solo, para todas as texturas de solo estudadas.

**Palavras-chave:** coeficiente de cultura, textura do solo, lâmina de irrigação

## Dependence of the crop coefficient in the initial stage of crop development ( $K_{c_{ini}}$ ) upon irrigation depth and soil texture

**Abstract:** The dependency of the crop coefficient of the initial stage of crop development ( $K_{c_{ini}}$ ) upon applied irrigation water depth was analyzed for three different soil textures. Nine depths of irrigation water (5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 and 60 mm) were studied. The Ritchie's model was carried out to estimate the direct soil water evaporation for different patterns of soil wetness. The  $K_{c_{ini}}$  values were obtained for the different soil textures, and for each soil wetness condition, to analyse the dependency of the  $K_{c_{ini}}$  on the applied irrigation water depth. It was observed that the dependency  $K_{c_{ini}}$  was directly proportional to the amount of irrigation water applied. However, it was also observed that the  $K_{c_{ini}}$  values did not increase when the irrigation water applied was not enough to bring the soil moisture condition to phase 1 of direct soil water evaporation in the Ritchie model for the soils of three different textures.

**Key words:** crop coefficient, initial stage, irrigation interval, water depth

## INTRODUÇÃO

A quantidade de água necessária para determinada cultura é um dado básico que deve ser conhecido para se planejar e praticar um manejo adequado de qualquer projeto de irrigação. Desta forma, torna-se necessário o estudo de parâmetros que auxiliem na tomada de decisão, em que um deles é o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) determinado pela razão entre a  $E_{Tc}$  e a  $E_{To}$ . O  $K_c$ , em condições de cobertura completa (estádio intermediário e final) é pouco variável para certa cultura mas, em condições de cobertura parcial (fases inicial e de crescimento rápido) depende, fundamentalmente, do conteúdo de água na camada superficial

do solo, uma vez que, nessas fases, a evaporação direta da água do solo ( $E_s$ ) representa grande parte da evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ).

Teoricamente, a  $E_{Tc}$  pode ser decomposta em dois componentes: um, devido à planta, também chamado transpiração, e outro devido ao solo, isto é, a evaporação direta da água do solo. A decomposição da  $E_{Tc}$  facilita a estimativa do  $K_c$ , e vice versa, na fase inicial, pois utiliza um coeficiente de cultura ajustado, obtido do coeficiente basal de cultura, que é função da transpiração da cultura e, também, do coeficiente, que representa a evaporação direta da água do solo (Wright, 1982).

O  $K_c$  também pode ser calculado a partir dos coeficientes médios de cultura, que incluem efeitos gerais de umedecimento do solo pela precipitação ou irrigação, os quais são utilizados para calcular a  $ET_c$  relativa a períodos de vários dias, principalmente para a condição de irrigação por gravidade ou aspersão (Pereira & Allen, 1997).

O processo de evaporação de água do solo e o de transpiração das plantas ocorrem simultaneamente, porém podem ser tratados como processos independentes e, daí, a utilização do termo evapotranspiração (ET). A evaporação da água é o processo de mudança de sua fase líquida para a fase gasosa, e ocorre tanto numa massa contínua (rio, lago e represa) como numa superfície úmida (planta e solo); é, também, um fenômeno que utiliza a energia externa ao sistema e a transforma em calor latente. Os métodos para estimação da ET podem ser classificados em diretos (lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle da umidade do solo, método de entrada e saída) e indiretos (evaporímetros e equações).

De acordo com Berlatto & Molion (1981) a  $Es$  é, em princípio, governada pelos elementos meteorológicos que influenciam a evaporação de uma superfície de água livre, pois a evaporação da água do solo nada mais é que a evaporação da película de água que envolve as partículas de solo e que ocupa os espaços existentes entre as partículas, cuja diferença reside no fato de que a superfície líquida apresenta oportunidade ilimitada de evaporação, em virtude da disponibilidade de água, ao passo que, no solo, a água nem sempre está francamente disponível para ser evaporada.

Diversos modelos foram utilizados com êxito para se calcular  $Es$  e  $Ep$  (Black et al., 1970; Ritchie, 1972; Kanemasu et al., 1976; Tanner & Jury, 1976). Segundo Klocke et al. (1990) a  $Es$  é dependente, basicamente, da frequência de irrigação, da textura do solo e da porcentagem de cobertura do solo.

Em sua formulação básica, o modelo de Ritchie considera as fases de evaporação da água do solo descritas por Philip (1957) e comprovadas, posteriormente, por Idso et al. (1974); assim, no cálculo da  $Es$  o método considera as fases de evaporação da água das camadas de perfil e superfície do solo.

Partindo-se do perfil de solo úmido, durante a fase 1, a  $Es$  processa-se à taxa potencial determinada pela energia disponível à superfície do solo, enquanto na fase 2 a evaporação é limitada pela capacidade de fluxo de água para a superfície, a partir das camadas inferiores do solo. Na fase 1, a superfície do solo se mantém úmida e, na 2, ela se encontra parcialmente seca, sendo a evaporação alimentada pelos fluxos ascendentes de água do solo, influenciados pelo transporte de calor para o perfil do solo. Nesta segunda fase, a evaporação da água do solo decresce à medida que a umidade do solo diminui, podendo assumir-se, como proporcional, a razão entre a quantidade de água remanescente na camada de solo, que produz a evaporação, e o total, que pode ser evaporado durante esta segunda fase.

O valor máximo da  $ET_c$  ocorre apenas após cada irrigação, a partir da qual a  $ET_c$  decresce em função do teor de água remanescente na camada exposta à radiação na fase 1.

Tendo em vista o exposto, o presente trabalho teve como objetivos: a) determinar a evaporação direta da água do solo no estágio de desenvolvimento inicial, para diferentes lâminas de irrigação e três texturas de solos, e b) determinar o valor de  $K_{c,mi}$  por meio da relação entre os valores de evaporação direta da

água do solo e os valores de  $ET_o$  determinados pelo método de Penman-Monteith, padrão FAO - 1991.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os elementos climáticos diários utilizados foram relativos ao período de 1/1/1998 até 30/8/1998 e obtidos na estação climatológica do INMET, localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, MG (20° 45' S; 42° 51' W; e 651 m).

Os valores de  $ET_o$  foram estimados através do modelo de Penman-Monteith, executado dentro do ambiente do programa computacional Model Maker versão 3.0.2. De acordo com Allen (1986) e Allen et al. (1989) o modelo de Penman-Monteith apresenta estimativas confiáveis e consistentes de  $ET_o$ , sendo considerado aquele de melhor desempenho entre os métodos combinados, e recomendado como método-padrão para obtenção da  $ET_o$  (Smith, 1991); já o modelo de Ritchie foi executado utilizando-se o ambiente do programa computacional desenvolvido por Rodrigues & Mantovani (1995) os quais se basearam em trabalhos de Ritchie (1972), Ritchie & Johnson (1990) e Jones & Ritchie (1990).

O modelo de Ritchie foi empregado com a finalidade de se calcular a evaporação direta da água do solo ( $Es$ ); este modelo permite estimar-se a  $Es$  para diferentes lâminas de irrigação e três diferentes tipos de solo (textura fina, franco-arenoso e textura grossa) e calcula, separadamente, a evaporação direta da água do solo ( $Es$ ) e a transpiração da cultura ( $Ep$ ), isto é:

$$ET_c = Es + Ep \quad (1)$$

para o que foram utilizados os seguintes parâmetros: temperatura basal igual a 10 °C, albedo da cultura de 0,24 (grama) e albedo do solo de 0,15, que representa o coeficiente de reflexão médio para solo arado úmido. Superfícies mais claras refletem mais que aquelas mais escuras e, portanto, têm menos energia disponível; deste modo, um solo mais escuro, sob mesmas condições climáticas, reflete menos radiação solar que um solo mais claro; portanto, se o valor do albedo utilizado for maior, a  $Es$  estimada no modelo de Ritchie será menor, por causa da maior reflectância da superfície; além dos dados de entrada e dos parâmetros listados anteriormente, o método incorpora, também, as características de crescimento das plantas, representadas pelo índice de área foliar (IAF) o qual foi considerado igual a zero, uma vez que o objetivo era apenas estimar os valores da  $Es$ . Com o valor do IAF igual a zero, a radiação não é interceptada e não existe redução da energia disponível para o processo de evaporação, ou seja, a  $Es$  corresponde ao total da  $ET_c$ , no estágio de desenvolvimento inicial.

Os tipos de solo considerados nas simulações de irrigação foram caracterizados por dois parâmetros: pelo parâmetro  $U$ , que é a lâmina da água evaporada acumulada até o fim da fase 1, e pelo parâmetro  $\alpha$ , que é a taxa com que a água evapora do solo na fase 2 de evaporação da água do solo. Os valores de  $U$  e  $\alpha$  utilizados são apresentados na Tabela 1.

Com a Eq. 2 calcula-se a evaporação direta da água do solo durante a fase 1, e as Eqs. 4 e 5 foram utilizadas para o cálculo e acúmulo da evaporação direta da água do solo durante a fase 2 de evaporação.

Tabela 1. Valores dos parâmetros U e  $\alpha$  utilizados no modelo de Ritchie, para três texturas de solo

Textura do Solo	U (mm)	$\alpha$ (mm d <sup>-0.5</sup> )	Fonte
Fina	13,70	8,20	Burman & Pochop (1994)
Franco-arenosa	6,04	3,86	Rodrigues (1996)
Grossa	5,40	3,34	Burman & Pochop (1994)

O tratamento matemático para a estimativa da evaporação direta da água do solo abrangeu as seguintes equações:

$$Es1 = ET_{max} (1 - 0,43.IAF) \quad \text{para } IAF < 1 \quad (2)$$

ou

$$Es1 = \frac{ET_{max}}{1,1} e^{-0,41IAF} \quad \text{para } IAF \geq 1 \quad (3)$$

em que,

ET<sub>max</sub> - evapotranspiração máxima (mm d<sup>-1</sup>)  
IAF - índice de área foliar (m<sup>2</sup> de folha por m<sup>2</sup> de terreno).

$$Es2 = \alpha.t^{0.5} - \alpha.(t-1)^{0.5} \quad (4)$$

$$\Sigma Es2 = \alpha.t^{0.5} \quad (5)$$

em que,

t - tempo transcorrido desde a mudança da fase 1 até a fase 2 (dias)  
 $\alpha$  - parâmetro característico da fase 2 de evaporação direta da água do solo.

Dentro do modelo de Ritchie, a taxa de transpiração é calculada em função da evapotranspiração máxima e do estágio de desenvolvimento da cultura (IAF) utilizando-se as equações

$$Ep = ET_{max} [1 - \exp(-IAF)] \quad \text{para } IAF \leq 3 \quad (6)$$

ou,

$$Ep = ET_{max} \quad \text{para } IAF > 3 \quad (7)$$

Para as condições da presente pesquisa, tomou-se o cuidado de se trabalhar apenas com o estágio de desenvolvimento inicial da cultura, uma vez que o objetivo básico referia-se ao componente da evaporação direta da água do solo.

Desta forma, a Eq. 1 fica reduzida a

$$ET_c = Es \quad (8)$$

### Caracterização das fases de secamento do solo

A Figura 1 mostra as fases de secamento do solo, em que a duração da fase 1 é determinada pelo parâmetro U e, na fase 2, ocorre diminuição no valor da evaporação. Na fase 1, a evaporação diária é calculada por Es1 e seus valores são acumulados pelo somatório da evaporação durante esta fase.

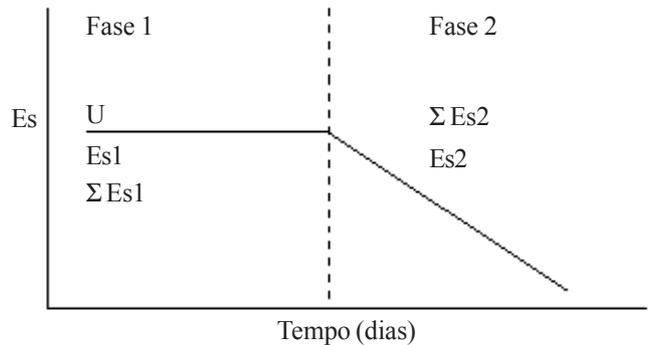


Figura 1. Representação das fases de secamento do solo no modelo de Ritchie

Durante a fase 1, quando o valor do somatório atinge o valor do parâmetro U, o modelo passa para a fase 2, e o valor da evaporação diária é calculado por meio da Eq. 5. Os valores diários da evaporação são totalizados cumulativamente durante esta fase e, quando ocorre irrigação ou precipitação, o modelo compara o valor da lâmina aplicada, ou chuva, com o valor do somatório de Es2 e U e, caso o valor da lâmina de água aplicada, ou chuva, não ultrapasse o valor do somatório de Es2, o modelo voltará para algum ponto anterior, dentro da fase 2, e se o valor da lâmina de água aplicada, ou chuva, ultrapassar somente o valor do somatório de Es2, o modelo retornará a algum ponto dentro da fase 1 de secamento do solo.

Se o valor da lâmina de água aplicada, ou chuva, ultrapassar o valor do somatório de Es2 e U, o modelo retornará ao início da fase 1. Por exemplo, se para determinado intervalo entre aplicação de água, 20 mm de água aplicada forem suficientes para o modelo retornar ao início da fase 1, as lâminas com valores maiores que este terão o mesmo efeito, ou seja, voltarão ao início da fase 1.

### Coefficientes de cultura para o estágio de desenvolvimento inicial ( $K_{c_{ini}}$ )

De posse dos valores de ET<sub>o</sub> calculados por meio do modelo de Penman-Monteith e dos valores de ET<sub>c</sub> (representada pela componente Es) calculados por meio do modelo de Ritchie, foram estimados os valores dos coeficientes de cultura para o estágio de desenvolvimento inicial ( $K_{c_{ini}}$ ) para as três diferentes texturas de solo.

O  $K_{c_{ini}}$  foi calculado pela razão entre a ET<sub>c</sub> e a ET<sub>o</sub>; recorrendo-se à Eq. 9.

$$K_{c_{ini}} = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (9)$$

Recorrendo-se à Eq. 10, os valores dos  $K_{c_{ini}}$  foram calculados obtendo-se as médias, para cada lâmina de irrigação aplicada, de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 e 60 mm, em solos de textura fina, franco-arenosa e grossa

$$K_{c_{ini}} = \frac{Es}{ET_o} \quad (10)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dependência de valores dos coeficientes de cultura para o estágio de desenvolvimento inicial à lâmina d'água aplicada,

pode ser observada na Figura 2 (A, B e C), em que a Figura 2A representa os valores de  $Kc_{ini}$  para solos de textura fina, a 2B para solos franco-arenosos e a 2C, para solos de textura grossa. Foram utilizados os mesmos intervalos entre aplicações (dez dias) em que, para cada tipo de solo, houve variação apenas nos valores da lâmina aplicada neste intervalo.

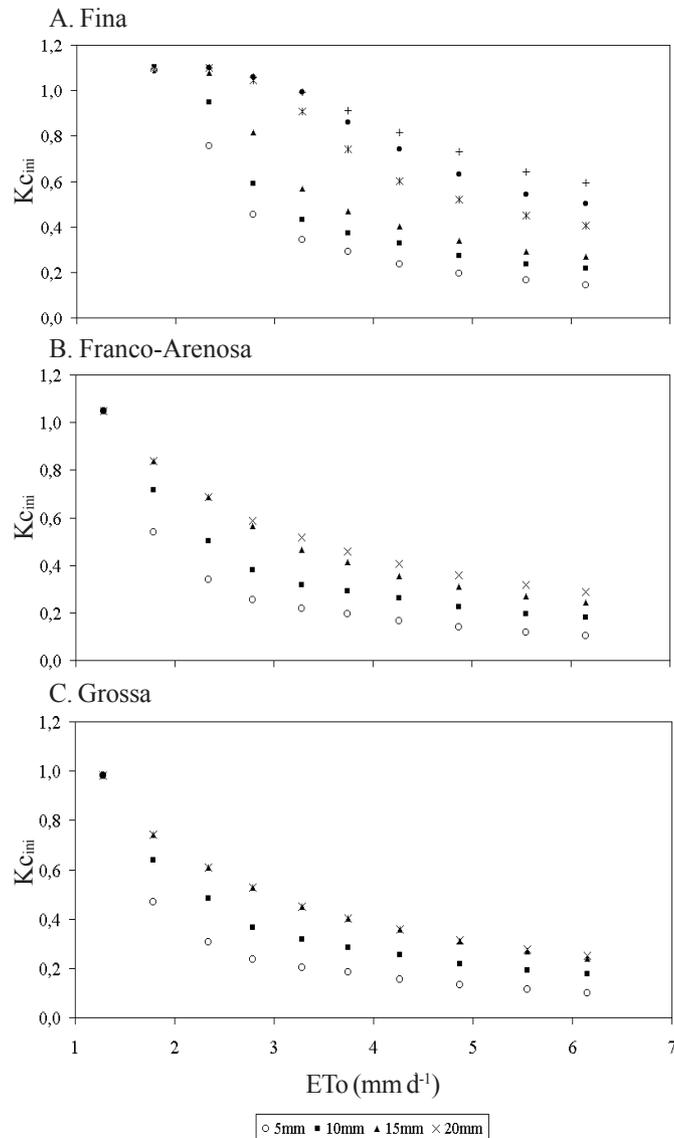


Figura 2. Valores do  $Kc_{ini}$  em solos de texturas fina (A), franco arenosa (B) e grossa (C), para intervalos de 10 dias entre irrigações, em função da lâmina de água aplicada

Os solos de textura franco-arenosa e grossa, isto é, solos de menor capacidade de retenção de umidade, permitiram apenas irrigações máximas de 20 mm no intervalo de de 10 dias entre irrigações (Figuras 2B e 2C) enquanto solos de textura fina permitiram irrigações de até 40 mm no intervalo de 10 dias (Figura 2A).

As figuras anteriores mostram que, quanto maior for a lâmina d'água aplicada, maior também será o valor do coeficiente de cultura para o estágio de desenvolvimento inicial ( $Kc_{ini}$ ), ou seja, o valor de  $Kc_{ini}$  dependeu diretamente do conteúdo de água na superfície do solo, tornando-se maior quando a lâmina aplicada aumentou; assim, lâminas maiores utilizadas nas

irrigações fizeram com que o modelo de Ritchie permanecesse mais tempo na fase 1 de evaporação da água do solo e, desta forma, os valores de  $E_s$  calculados aumentaram quando o valor da lâmina aplicada aumentou. Constatou-se, portanto, que os valores dos  $Kc_{ini}$  aumentam, fundamentalmente, com o conteúdo de água na camada superficial do solo.

Observou-se que os valores de  $Kc_{ini}$ , a partir de determinado valor da lâmina, convergiram assintoticamente, porque a lâmina aplicada foi suficiente para que, no modelo de Ritchie, ocorresse o retorno ao início da fase 1 de evaporação, ou seja, a lâmina aplicada ultrapassou o valor do somatório de  $E_s$  e  $U$ . Quando a lâmina aplicada não é suficiente para ultrapassar o valor de  $U$ , o modelo volta a algum ponto dentro da fase 1, que seria de menor duração.

## CONCLUSÕES

1. O coeficiente de cultura para o estágio de desenvolvimento inicial ( $Kc_{ini}$ ) dependeu do valor da lâmina d'água aplicada, da demanda evaporativa e da textura do solo.

2. Os resultados mostraram que os valores do  $Kc_{ini}$  são maiores quando se aumenta o valor da lâmina de água aplicada, porém os valores do  $Kc_{ini}$  não aumentam quando o valor da lâmina aplicada é maior que o suficiente para que, no modelo de Ritchie, ocorra o retorno ao início da fase 1 de evaporação da água do solo.

3. Sob as mesmas condições climáticas e de molhamento, o solo de textura fina apresenta  $Kc_{ini}$  maior que o solo de textura grossa.

## LITERATURA CITADA

- Allen, R.G. A Penman for all seasons. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.112, n.4, p.348-386, 1986.
- Allen, R.G.; Jensen, M.E.; Wrigth, J.L.; Burman, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, Madson, v.81, p.650-663, 1989.
- Berlato, M.A.; Molion, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 96p. Boletim Técnico 7
- Black, T.A.; Tanner, C.B.; Gardner, W.R. Evapotranspiration from snap bean crop. *Agronomy Journal*, Madson, v.62, p.66-69, 1970.
- Burman, R.; Pochop, L.O. Evaporation, evapotranspiration and climatic data. Amsterdam: Elsevier, 1994. 278p. *Developments in Atmospheric Science* 22.
- Kanemasu, E.T.; Stone, L.R.; Powers, W.L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. *Agronomy Journal*, Madison, v.68, p.569-572, 1976.
- Klocke, N.L.; Martin, D.L.; Todd, R.W. Evaporation measurements and predictions from soils under crop canopies. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.33, n.5, p.1590-1596, 1990.
- Pereira, L.S.; Allen, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118-43, 1997.
- Philip, J.R. Evaporation and moisture and heat fields in the soil. *Journal of Meteorology*, Wiltshire, v.14, p.354-336, 1957.

- Ritchie, J.T. Model to predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resource Research, Canberra, v.8, p.1204-1213, 1972.
- Ritchie, J.T.; Johnson, B.S. Soil and plant factors affecting evaporation. In: Stewart, B.A.; Nielsen, D.R. (eds.). Irrigation of agricultural crops, Agronomy. Madison; ASA; CSSA; SSSA, 1990. p.363-390. Monograph, 30
- Rodrigues, L.N. Análise e teste do modelo de Ritchie: Estudo de caso para a determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa, MG: UFV, 1996. 78p. Dissertação Mestrado
- Rodrigues, L.N.; Mantovani, E.C. Programa computacional para cálculo da evapotranspiração utilizando-se o modelo de Ritchie. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.4, n.49, p.1-7, 1995.
- Smith, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome: FAO, 1991. 45p.
- Tanner, C.R.; Jury, W.A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. Agronomy Journal, Madison, v.68, p.239-243, 1976.
- Wright, T.L. New evapotranspiration crop coefficients. Journal of the Irrigation and Drainage, New York, v.108, n.1R2, p.57-73, 1982.