

Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo

Gerson Araujo de Medeiros^{1*}, Flavio Bussmeyer Arruda² e Emílio Sakai²

¹Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, Av. Helio Vergueiro Leite s/n., C.P. 05, 13990-000, Espírito Santo do Pinhal, São Paulo. ²Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo – IAC, Av. Barão de Itapura 1481, C.P. 28, 13001-970, Campinas, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: gerson_medeiros@creupi.br

RESUMO. O presente trabalho tem por objetivos avaliar os erros envolvidos no uso de evapotranspirômetros na determinação de relações entre o coeficiente de cultura do feijoeiro (kc) e a sua porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg), calculadas para intervalos médios variando de um a dez dias e a influência desses intervalos nas relações obtidas, assim como comparar duas formas de análise de dados de kc. No experimento, conduzido no Instituto Agrônomo (IAC) de Campinas, semeou-se o feijoeiro em quatro evapotranspirômetros. Por meio do balanço hídrico, determinou-se kc para os intervalos avaliados. Os principais erros levantados relacionam-se a entrada de água não controlada e ao maior desenvolvimento da cultura semeada no interior dos evapotranspirômetros em relação àquela da bordadura. A análise seqüencial permitiu o aumento na disponibilidade de dados para se derivar as relações estatisticamente significativas entre kc e %CVeg, para todas as formas de análise e intervalos avaliados.

Palavras-chave: evapotranspiração, curva de cultura, evapotranspirômetros, feijoeiro.

ABSTRACT. Relations between crop coefficient and vegetative ground cover of beans: errors involved and analyses for different time intervals.

The purpose of this work was to evaluate the errors involved in the use of evapotranspirometers to determine the relation between the crop coefficient (kc) and the percentage of vegetative ground cover (%CVeg) of the bean plant, calculated for average intervals varying from one to ten days, and the influence of these intervals on the relations obtained, as well as to compare two ways of analyzing kc data. The experiment, which involved the sowing of beans in four evapotranspirometers, was conducted at the IAC – Campinas Institute of Agronomy. The kc was determined for the intervals evaluated here, based on the water balance. The main errors identified involved the uncontrolled entrance of water and the greater development of the plants sown inside the evapotranspirometers than those surrounding them. A sequential analysis allowed for a greater availability of data from which to derive the relations between kc and %CVeg, which were statistically significant in all the forms of analysis and intervals evaluated.

Key words: evapotranspiration, crop curve, evapotranspirometers, bean.

Introdução

A evapotranspiração de uma cultura é uma das principais informações exigidas para o manejo de irrigação e para fins de planejamento do uso da água em bacias hidrográficas. Dentre as abordagens disponíveis para a estimativa do consumo de água pelas plantas, destaca-se o uso de coeficientes de cultura associados com estimativas da evapotranspiração de referência, determinada a partir de variáveis meteorológicas, cujas metodologias e procedimentos de cálculo têm sido apresentados e recomendados pela Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO

(Doorenbos e Pruitt, 1976; Doorenbos e Kassan, 1979; Allen *et al.*, 1998).

O coeficiente de cultura é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais, nas quais será utilizado. Todavia, a sua determinação, sob condições de campo, exige um grande esforço de pessoal técnico, equipamentos e custos devido à quantidade de informações, controles e monitoramentos necessários ao balanço hídrico numa área irrigada. Por esse motivo, uma alternativa que vem sendo freqüentemente utilizada para a elaboração de curvas

de coeficiente de cultura refere-se ao uso de evapotranspirômetros. Estes se constituem de reservatórios instalados no campo e preenchidos com solo natural da área, ou região, na qual é desenvolvido o experimento. Neles, mantém-se um lençol freático, com nível constante, abaixo do volume ocupado pelas raízes, garantindo-se o fornecimento contínuo de água para as plantas por meio da ascensão capilar.

O monitoramento da água adicionada ao sistema, assim como da quantidade drenada, possibilita a estimativa da taxa de evapotranspiração para um determinado intervalo de tempo (Aboukhaled *et al.*, 1982). As principais vantagens apresentadas por essa técnica são o baixo custo do sistema e a facilidade de operação, justificando a sua disseminação em estudos relacionados à avaliação do consumo de água, para uma grande diversidade de culturas (Barbieri, 1981; Cury, 1985; Encarnação, 1987; Moura, 1990, 1992; Bastos, 1994; Leme *et al.*, 1997; Medeiros *et al.*, 2000, 2001; Sandanielo e Lunardi, 2002; Klar e Fontes, 2003).

Dependendo do equipamento utilizado para o monitoramento da quantidade de água adicionada ao sistema e da metodologia empregada para a estimativa da evapotranspiração de referência, pode-se determinar o consumo de água e o coeficiente de cultura (kc), em evapotranspirômetros, até para intervalos horários, porém Blad (1983) adverte que não devem ser utilizados intervalos de tempo inferiores a um dia. A FAO (Aboukhaled *et al.*, 1982) recomenda o intervalo de sete a dez dias para a elaboração das curvas do coeficiente de cultura, quando se faz uso da técnica dos evapotranspirômetros.

No Brasil, estudos envolvendo evapotranspirômetros têm utilizado intervalos de tempo para o balanço hídrico variando de cinco a dez dias (Barbieri, 1981; Moura, 1990; Leme *et al.*, 1997), sendo mais freqüente o uso de intervalos de cinco dias. Contudo, não existe argumentação suficiente na literatura para se decidir sobre a duração, em dias, do intervalo de tempo adequado para o cálculo da evapotranspiração.

Os objetivos do presente trabalho são analisar alguns dos erros envolvidos na determinação de relações entre o coeficiente de cultura e a porcentagem de cobertura vegetal do feijoeiro, determinadas por meio de evapotranspirômetros, avaliar a influência do intervalo de tempo escolhido para o cálculo dessas relações e comparar uma outra forma de análise dos dados, denominada de seqüencial, com aquela comumente referida na literatura.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Núcleo

Experimental de Campinas (NEC), na área de pesquisa em irrigação e drenagem do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo (IAC) de Campinas, Estado de São Paulo, na longitude 47°04'W e latitude 22°52'S. O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa, 1999), A moderado, muito argiloso, unidade Barão Geraldo, de acordo Oliveira e Rotta (1979).

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade Carioca 80-SH, foi semeada no dia 16 de agosto de 1994, em quatro evapotranspirômetros, com um espaçamento de 0,275m entre linhas, correspondendo a uma população de 50 plantas m⁻². A emergência se deu dez dias depois, em 26 de agosto. Aos 25 dias após a emergência (DAE), quando a cultura recobria completamente o solo, fez-se um desbaste, reduzindo-se a população nos evapotranspirômetros para 25 plantas m⁻².

Os evapotranspirômetros foram instalados no meio de uma área também semeada com a cultura do feijoeiro de aproximadamente 1,0 ha. Eles eram compostos por reservatórios com mil litros de capacidade e uma área de exposição de 1,41m² cada, equipados com um sistema de alimentação de água para manter um nível freático a 0,45m abaixo da superfície do solo. A descrição detalhada, o funcionamento e as adaptações realizadas nos evapotranspirômetros são descritas em Medeiros e Arruda (1999).

O período no qual foi realizado o trabalho, apresentou-se mais quente e seco do que as normais climatológicas observadas nessa área, segundo dados fornecidos pelo Centro de Ecofisiologia e Biofísica do IAC e analisados por Medeiros *et al.* (2000).

Destaca-se a demanda evaporativa média durante o ensaio, determinada pelo método de Penman-Monteith, modificado pela FAO (Allen *et al.*, 1998), a qual atingiu 5,5mm dia⁻¹, sendo a máxima taxa média evaporativa de 6,2mm dia⁻¹, alcançada no período de 1º a 20 de outubro (36 a 56 dias após a emergência), durante a fase de pleno florescimento.

Durante os meses de setembro e outubro, as chuvas foram de apenas 51,9mm, enquanto nesse mesmo período a precipitação média, de um período de trinta anos, atingiu 189,2mm. Além de escassa, a chuva foi mal distribuída, pois, do total precipitado, de 181mm ao longo do ciclo da cultura, 49% (88,5mm) ocorreram na última semana do experimento. Essas condições meteorológicas favoreceram o monitoramento da demanda hídrica do feijoeiro, pois durante praticamente todo o ciclo não se verificou qualquer entrada de água nos evapotranspirômetros, além daquela fornecida de forma controlada ao sistema.

Calculou-se kc utilizando-se a relação entre a evapotranspiração (ET), medida nos evapotranspirômetros, e a evapotranspiração de

referência (ET_o), de acordo com a seguinte relação (Allen *et al.*, 1998):

$$kc = \frac{ET}{ET_o} \quad (01)$$

em que

kc é o coeficiente de cultura,

ET é a lâmina de água de evapotranspiração da cultura, medida nos evapotranspirômetros, no intervalo de tempo considerado (mm) e

ET_o é a lâmina de água de evapotranspiração de referência no intervalo de tempo considerado (mm), calculada pelo método de Penman-Monteith, modificado pela FAO (Allen *et al.*, 1998).

A relação entre kc e parâmetros de desenvolvimento de planta (índice de área foliar e cobertura vegetal) tem sido demonstrada por vários autores (Al-Kaisi *et al.*, 1989; Ritchie e Johnson, 1990; Medeiros *et al.*, 2001, dentre outros). Relações desse tipo consideram as diferenças de crescimento do dossel vegetativo e apresentam uma maior transferibilidade do valor de kc em relação a situações de campo (Medeiros e Arruda, 1997; Medeiros *et al.*, 2001).

Nesse sentido, avaliou-se a relação entre kc e % CVeg para o período de 4 a 24 DAE, quando a cultura nos evapotranspirômetros apresentava uma densidade de 50 plantas m². Optou-se por essa época, pois engloba desde a emergência até o fechamento da cultura, sendo a mais importante no estudo de kc, já que, após o fechamento da cultura, o seu valor é máximo e pouco dependente do desenvolvimento da cultura.

A porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg) é uma variável relacionada com o crescimento da cultura, sendo determinada a partir de fotografias tomadas a 1,6m de altura, diretamente acima das plantas. Uma régua de aproximadamente 0,2m foi colocada junto às plantas para ser usada como escala de referência. Posteriormente, digitalizaram-se as fotografias e calculou-se a área de projeção horizontal de cada planta, por meio de um planímetro. A %CVeg foi determinada dividindo-se a área medida da projeção das plantas pela área do solo disponível ao seu crescimento, devido ao espaçamento da cultura (Arruda, 1984). Posteriormente, ajustou-se uma curva polinomial de terceiro grau aos valores obtidos, de forma a se estimar diariamente a %CVeg, para todo o período analisado (4 a 24 DAE).

Outra questão estudada refere-se à escolha do intervalo de tempo para a parametrização de kc em função do desenvolvimento da cultura. Para esse fim, procedeu-se à avaliação da relação entre o coeficiente de cultura (kc) e a porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg), para os intervalos de um, dois, três, quatro, cinco, sete e dez dias, nos quatro

evapotranspirômetros.

Duas análises de dados foram conduzidas para a elaboração das curvas de coeficiente de cultura e para derivar as relações entre kc e a porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg). A primeira, denominada generalizada, segue o procedimento adotado por diversos autores (Barbieri, 1981; Cury, 1985; Encarnação, 1987; Moura, 1990, 1992; Bastos, 1994; Leme *et al.*, 1997; Sandanielo e Lunardi, 2002; Klar e Fontes, 2003), ou seja, calcularam-se kc para os referidos intervalos médios de tempo, de forma consecutiva e não sobrepostos. Como exemplo, se apresentam, a seguir, os intervalos de cinco dias usados para o cálculo de kc de forma generalizada, no período de 30 de agosto a 8 de setembro de 2004:

1º intervalo: kc médio calculado de 30/08/94 a 03/09/94 (4 a 8 DAE);

2º intervalo: kc médio calculado de 04/09/04 a 08/09/94 (9 a 13 DAE).

Na segunda análise, denominada seqüencial, calcularam-se valores de kc para intervalos consecutivos, sobrepostos, defasados de um dia (Medeiros *et al.*, 2001). Como exemplo, se apresentam, a seguir, as seqüências de cinco dias usadas para o cálculo de kc, no mesmo período anterior, ou seja, de 30 de agosto a 8 de setembro de 2004:

1º intervalo: kc médio calculado de 30/08/94 a 03/09/94 (4 a 8 DAE);

2º intervalo: kc médio calculado de 31/08/94 a 04/09/94 (5 a 9 DAE);

3º intervalo: kc médio calculado de 01/09/94 a 05/09/94 (6 a 10 DAE);

4º intervalo: kc médio calculado de 02/09/94 a 06/09/94 (7 a 11 DAE);

5º intervalo: kc médio calculado de 03/09/94 a 07/09/94 (8 a 12 DAE);

6º intervalo: kc médio calculado de 04/09/94 a 08/09/94 (9 a 13 DAE);

Portanto, para o mesmo período (30 de agosto a 9 de setembro de 2004), a análise generalizada permitiu o uso de somente dois intervalos de cinco dias para o cálculo de valores de kc, enquanto na análise seqüencial esse número de intervalos eleva-se para seis, aumentando a disponibilidade de dados para a elaboração de relações envolvendo kc.

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta os valores de kc, mostrando a variação diária destes, obtidos a partir das leituras realizadas nos evapotranspirômetros, junto com os eventos de chuva e irrigação, observados ao longo do ciclo da cultura. Nessa Figura, pode-se observar que os evapotranspirômetros apresentaram um comportamento muito semelhante, no que se refere à

variação de k_c ao longo de todo o ciclo do feijoeiro, com valores muito próximos, o que pode ser ressaltado pela variabilidade verificada entre as leituras, visualizadas a partir das barras de erro padrão.

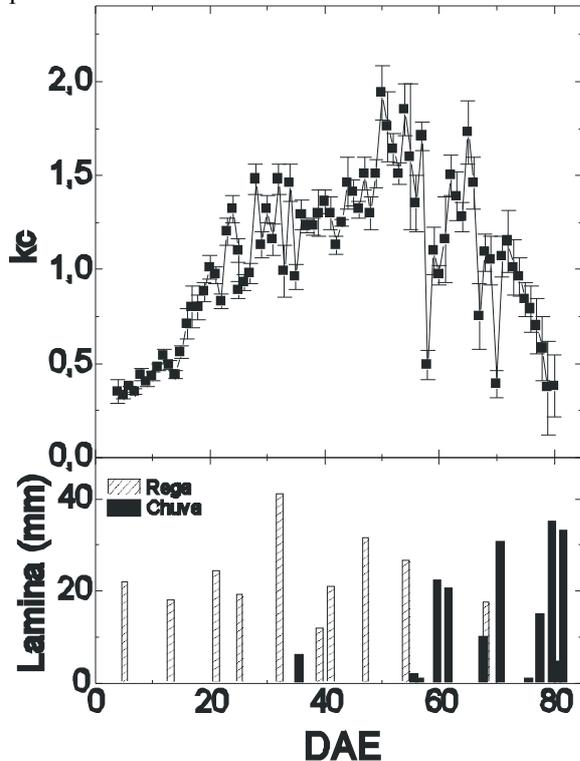


Figura 1. Precipitação, irrigação e valores diários de k_c verificados nos quatro evapotranspirômetros (ETM) durante o ensaio da cultura do feijoeiro, no ano de 1994, em Campinas, Estado de São Paulo. Barras de erro correspondem ao desvio padrão.

Durante todo o ciclo (até 78 DAE), o maior coeficiente de variação (CV) observado entre as leituras diárias foi de 24,2% aos 56 DAE, sendo o CV médio de 8,3%. Essa baixa variabilidade entre as leituras deve-se ao desenvolvimento semelhante apresentado por essa cultura nos diferentes evapotranspirômetros, como observado por Medeiros *et al.* (2001), e proporcionado pelas condições físicas e hídricas padronizadas e pela disponibilidade adequada de nutrientes do solo, conforme verificado por Medeiros e Arruda (1999).

Observa-se, na Figura 1, que as maiores oscilações na variação de k_c ocorreram em três ocasiões:

- aos 25 DAE, na data do desbaste realizado no feijoeiro semeado nos evapotranspirômetros, quando a densidade de plantas teve de ser reduzida pela metade, levando à diminuição do consumo de água pelas plantas, o que demonstra a sensibilidade desse sistema a intervenções no manejo da cultura;
- aos 69 e 71 DAE, quando ocorreu entrada não

controlada de água devido à precipitação, alterando o balanço hídrico nos evapotranspirômetros.

Outra observação é a tendência de elevação do valor de k_c acima de 1,2 a partir de 33 DAE, chegando ao seu máximo valor de 1,7 no período de 50 a 56 DAE. Este fato pode ser explicado pelo crescimento da cultura além das bordas dos evapotranspirômetros e pelo aumento da temperatura média até 25,9°C, potencializando as condições advectivas, como explicado em Sedyama (1995).

Valores elevados de coeficiente de cultura em evapotranspirômetros também têm sido observados por outros autores, como Barbieri (1981); Cury (1985); Encarnação (1987); Sandanielo e Lunardi (2002); Klar e Fontes (2003) dentre outros.

Verifica-se, na literatura, que o coeficiente de cultura têm sido apresentado em função do estágio fenológico da cultura ou da idade da planta (Barbieri, 1981; Cury, 1985; Encarnação, 1987; Moura, 1990; Leme *et al.*, 1997; Sandanielo e Lunardi, 2002; Klar e Fontes, 2003), o que possibilita a comparação dos resultados com aqueles divulgados em publicações largamente difundidas na área de irrigação, como as da FAO (Allen *et al.*, 1998; Doorenbos e Pruitt, 1976; Doorenbos e Kassan, 1979). Nesses trabalhos, os intervalos para a estimativa da evapotranspiração da cultura variam de cinco a dez dias, de forma consecutiva, definidos desta maneira em função da confiabilidade do método utilizado para o cálculo de ETo. Assim, valores médios de ETo, obtidos a partir do tanque classe A, devem ser considerados para períodos de no mínimo dez dias, enquanto para Penman-Monteith podem ser estimados valores diários e até horários (Allen *et al.*, 1998).

As características de crescimento e exigência hídrica de algumas culturas, mesmo anuais, tem demandado turnos de rega inferiores a cinco dias, podendo tornar esses intervalos, comumente adotados nos trabalhos citados, inadequados para o manejo da água em lavouras comerciais.

Pelos motivos expostos, buscou-se fazer uma avaliação da variação do coeficiente de cultura, ao longo do seu ciclo, para intervalos de um, dois, três, cinco, sete e dez dias, de duas formas: naquela conduzida nas pesquisas citadas, nomeada neste trabalho como generalizada, e na forma seqüencial, em que os intervalos avaliados são sobrepostos e consecutivos, defasados de um dia.

A Figura 2 apresenta os valores de k_c para a cultura do feijoeiro ditados pela forma generalizada (Figura 2A e 2C) e seqüencial (Figura 2B e 2D), em função da idade da planta, para os intervalos médios de três dias (Figura 2A e 2B) e dez dias (Figura 2C e 2D).

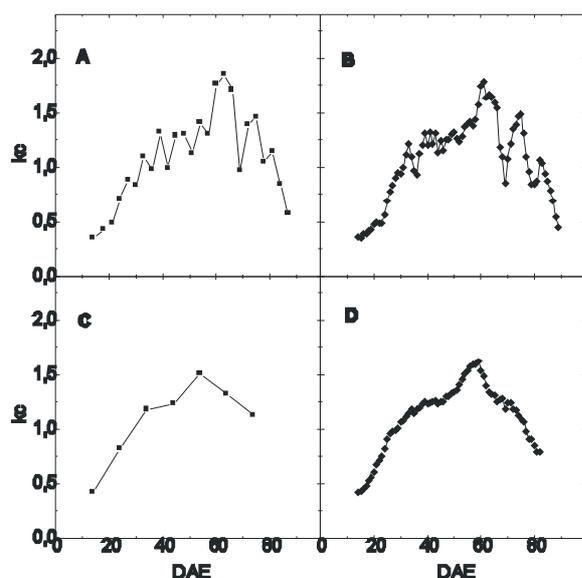


Figura 2. Coeficiente de cultura ao longo do ciclo do feijoeiro nos evapotranspirômetros. (A) – Valores médios para intervalos de três dias; (B) – Valores determinados seqüencialmente para intervalos de três dias; (C) – Valores médios para intervalos de dez dias; (D) – Valores determinados seqüencialmente para intervalos de dez dias.

Comparando-se esses intervalos de tempo utilizados para calcular kc , observa-se que o intervalo de três dias (Figura 2A e 2B) expõe melhor os reflexos das mudanças provocadas pelo manejo da cultura nos evapotranspirômetros, como o desbaste aos 25 DAE, e aqueles devido à influência das condições ambientais, como as chuvas que ocorreram entre 69 e 71 DAE. Já o intervalo de dez dias, para essa análise, oculta os efeitos provocados por esses fenômenos, levando a uma suavização da curva de coeficiente de cultura para o intervalo de dez dias (Figura 2C e 2D), quando comparada à curva gerada a partir de intervalos de três dias (Figura 2A e 2B), tanto na condição generalizada (Figura 2A e 2C) quanto na forma seqüencial (Figura 2B e 2D). Portanto, o intervalo de três dias expôs melhor os períodos em que as condições nos evapotranspirômetros fugiram àquelas padronizadas para a determinação de kc podendo, deste modo, serem excluídos quando da derivação das curvas de cultura.

Os resultados das relações obtidas entre kc e %CVeg do feijoeiro, para diferentes intervalos de tempo, são apresentados nas Tabelas 1 (forma generalizada) e 2 (análise seqüencial).

Tabela 1. Relações entre o coeficiente de cultura (kc) e a porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg) para a cultura do feijoeiro em Campinas, Estado de São Paulo, no ano de 1994. (forma generalizada).

Período (dias)	Coefficiente angular (β)	Intervalo de confiança*	Coefficiente linear (α)	Intervalo de Confiança*	Nº de pontos	r^2
1	$9,88 \cdot 10^{-3}$	$9,16 \cdot 10^{-3} < \beta < 10,61 \cdot 10^{-3}$	0,223	$0,185 < \alpha < 0,260$	84	0,899**
2	$9,23 \cdot 10^{-3}$	$8,54 \cdot 10^{-3} < \beta < 9,93 \cdot 10^{-3}$	0,241	$0,207 < \alpha < 0,275$	40	0,950**
3	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,06 \cdot 10^{-3} < \beta < 10,55 \cdot 10^{-3}$	0,226	$0,187 < \alpha < 0,264$	28	0,965**
4	$9,43 \cdot 10^{-3}$	$8,59 \cdot 10^{-3} < \beta < 10,26 \cdot 10^{-3}$	0,233	$0,193 < \alpha < 0,273$	20	0,969**
5	$9,17 \cdot 10^{-3}$	$8,55 \cdot 10^{-3} < \beta < 9,79 \cdot 10^{-3}$	0,244	$0,214 < \alpha < 0,273$	16	0,986**
7	$9,85 \cdot 10^{-3}$	$9,13 \cdot 10^{-3} < \beta < 10,56 \cdot 10^{-3}$	0,224	$0,188 < \alpha < 0,260$	12	0,989**
10	$9,17 \cdot 10^{-3}$	$8,23 \cdot 10^{-3} < \beta < 10,10 \cdot 10^{-3}$	0,244	$0,201 < \alpha < 0,287$	8	0,990**

* - 95% de confiança; ** - $P < 0,01$.

Tabela 2. Relações entre coeficiente de cultura (kc) e porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg) para a cultura do feijoeiro em Campinas, Estado de São Paulo, no ano de 1994. (forma seqüencial).

Período (dias)	Coefficiente angular	Intervalo de confiança	Coefficiente linear	Intervalo de Confiança	Nº de pontos	r^2
1	$9,88 \cdot 10^{-3}$	$9,16 \cdot 10^{-3} < \beta < 10,6 \cdot 10^{-3}$	0,223	$0,185 < \alpha < 0,260$	84	0,899**
2	$9,62 \cdot 10^{-3}$	$9,04 \cdot 10^{-3} < \beta < 10,2 \cdot 10^{-3}$	0,230	$0,200 < \alpha < 0,259$	80	0,933**
3	$9,36 \cdot 10^{-3}$	$8,93 \cdot 10^{-3} < \beta < 9,80 \cdot 10^{-3}$	0,239	$0,216 < \alpha < 0,259$	76	0,961**
4	$9,46 \cdot 10^{-3}$	$9,07 \cdot 10^{-3} < \beta < 9,85 \cdot 10^{-3}$	0,235	$0,217 < \alpha < 0,254$	72	0,972**
5	$9,55 \cdot 10^{-3}$	$9,19 \cdot 10^{-3} < \beta < 9,91 \cdot 10^{-3}$	0,233	$0,216 < \alpha < 0,250$	68	0,977**
7	$9,63 \cdot 10^{-3}$	$9,31 \cdot 10^{-3} < \beta < 9,95 \cdot 10^{-3}$	0,231	$0,217 < \alpha < 0,246$	60	0,984**
10	$9,52 \cdot 10^{-3}$	$9,06 \cdot 10^{-3} < \beta < 9,95 \cdot 10^{-3}$	0,233	$0,215 < \alpha < 0,252$	48	0,977**

* - 95% de confiança; ** - $P < 0,01$.

Os coeficientes obtidos pelas duas análises foram altamente significativos, em um nível superior a 99%, conforme pode ser visto na Tabela 3, demonstrando a forte relação linear observada entre o coeficiente de cultura e a porcentagem de cobertura vegetal do feijoeiro.

A utilização do intervalo de um dia para o estabelecimento de uma relação entre kc e %CVeg mostrou-se satisfatória, permitindo a simulação diária de kc e, conseqüentemente, do consumo de água da cultura, desde que utilizando um método de estimativa da evapotranspiração de referência adequado a esse período de tempo, como aqueles baseados em Penman (Doorenbos e Pruitt, 1977) e Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Analisando-se os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2, observa-se que não há diferença significativa entre os coeficientes angulares e lineares das relações obtidas, tanto para a análise generalizada (Tabela 1) quanto para a forma seqüencial (Tabela 2). Esse fato é justificado, mais uma vez, pela relação linear entre kc e %CVeg durante a fase de desenvolvimento da cultura.

Na forma de análise seqüencial, houve aumento da significância dos resultados conforme se elevou o intervalo médio, até o limite de três dias. Porém, percebe-se que intervalos acima de três dias não apresentam ganho em precisão (Tabela 3). Na forma generalizada, ocorre um fenômeno oposto, em que se diminui a precisão conforme se aumenta o intervalo médio de tempo, provavelmente devido à diminuição do número de pares de pontos utilizados para a análise de regressão.

Tabela 3. Valor de F e significância para as regressões apresentadas nas Tabelas 1 e 2, nos diferentes intervalos utilizados..

Período (dias)	Análise seqüencial		Análise não seqüencial	
	F	significância	F	significância.
1	734	1.15409E-42	734	1.15409E-42
2	1082	1.76999E-47	723	2.47163E-26
3	1820	7.45514E-54	731	1.46152E-20
4	2399	6.70754E-56	564	4.89645E-15
5	2840	5.67176E-56	1019	1.76668E-14
7	3624	5.54887E-54	941	3.17409E-11
10	1983	1.76717E-39	580	3.37348E-07

Apesar de ambas as formas de cálculo terem demonstrado relações fortemente lineares, a análise seqüencial possibilita uma maior disponibilidade de pares de valores para a obtenção das relações derivadas, como mostra a Figura 3.

Nesse aspecto, verifica-se que a variação de kc em relação à %CVeg, analisada para períodos médios de 10 dias, foi determinada somente para dois momentos: de 4 a 13 DAE, quando a cobertura vegetal variou de 12% a 31%, e de 13 a 22 DAE, época em que o feijoeiro apresentou um aumento na %CVeg de 36% para 95%.

Portanto, apesar da relação ser altamente significativa, o período de dez dias foi muito longo também para o estabelecimento de relações entre kc e %CVeg, pela análise generalizada, enquanto na análise seqüencial, foram considerados períodos com dados de cobertura vegetal intermediários, permitindo um acompanhamento melhor da influência da evolução da cobertura vegetal sobre kc. Esse comportamento também pode ser observado entre as Figuras 3A e 3B, derivadas para intervalos de cinco dias, a partir de dados calculados na forma generalizada e seqüencial, respectivamente.

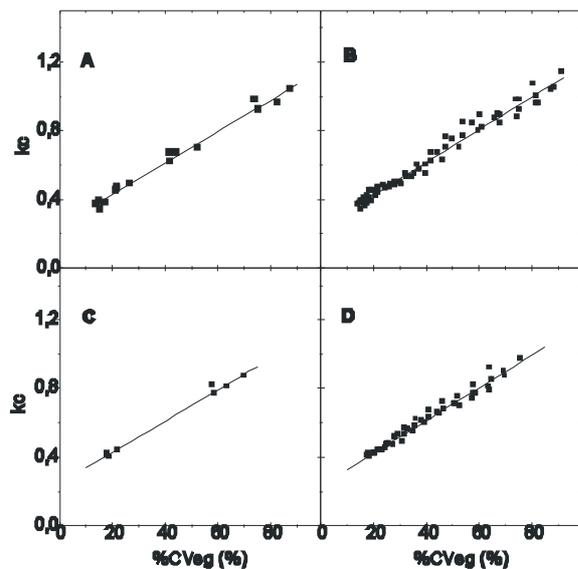


Figura 3. Relações entre coeficiente de cultura (kc) e porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg) do feijoeiro, obtidos para diferentes intervalos médios de tempo e formas de análise dos dados, em Campinas, Estado de São Paulo, no ano de 1994. (A) –

Períodos de cinco dias, forma generalizada; (B) – Períodos de cinco dias, forma seqüencial; (C) – Períodos de dez dias, forma generalizada; (D) – Períodos de dez dias, forma seqüencial.

Observou-se ainda que, para ambas as análises, quanto menor a duração do intervalo de tempo escolhido, maior foi a faixa de variação de valores de %CVeg para a obtenção das relações apresentadas nas Tabelas 1 e 2. Com relação ao intervalo de um dia, a equação obtida englobou uma faixa de variação de 12 a 100% de cobertura, enquanto, no intervalo de dez dias, essa variação foi de 20 a 65%.

Portanto, nos ensaios com evapotranspirômetros, em que as condições de umidade e fertilidade favorecem o desenvolvimento da cultura em relação aquele observado em lavouras comerciais, os períodos de sete e dez dias foram considerados muito longos.

Conclusão

Os erros envolvidos na determinação do consumo de água do feijoeiro, por meio de evapotranspirômetros, se relacionaram ao maior desenvolvimento da cultura semeada no interior dos evapotranspirômetros em relação àquela da bordadura e à entrada não controlada de água de precipitação, as quais alteram o balanço hídrico nessas estruturas.

As relações entre o coeficiente de cultura e a porcentagem de cobertura vegetal foram altamente significativas, para ambas as formas de análise e todos os intervalos avaliados, demonstrando a forte tendência linear entre esses parâmetros na fase de desenvolvimento da cultura.

A análise seqüencial permitiu uma melhor avaliação da distribuição de valores de coeficiente de cultura, seja quando relacionada à idade da planta, seja quando relacionada a cobertura vegetal do feijoeiro, para todos os intervalos avaliados. Isso foi possível devido ao aumento da faixa de variação da cobertura vegetal na obtenção de relações entre kc e %CVeg.

Os intervalos menores de tempo, de três a cinco dias, mostraram melhor as variações de kc ao longo do ciclo, ressaltando os períodos de desbaste da cultura e entrada não controlada de água pela chuva, apresentando os melhores desempenhos nas avaliações realizadas.

Referências

- ABOUKHALED, A. *et al.* Lysimeters. Roma: FAO, 1982.
 AL-KAISI, M. *et al.* Transpiration and evapotranspiration from maize as related to leaf area index. *Agric. For. Meteorol.*, Amsterdam, v. 48, p. 111-116, 1989.
 ALLEN, R.G. *et al.* Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998.
 ARRUDA, F. B. Determinação da cobertura do solo

- durante o ciclo das culturas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 8, p. 145-150, 1984.
- BARBIERI, V. *Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana de açúcar (Saccharum spp)*. 1981. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.
- BASTOS, E. A. *Determinação dos coeficientes de cultura da alface (Lactuca sativa L.)*. 1994. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.
- BLAD, Blaine L. Atmospheric demand for water. In: TEARE, I. D., PEET, M. M. (Ed.). *Crop water relations*. New York: John Wiley e Sons, 1983. p. 157-186.
- CURY, D. M. *Demanda de água na cultura de repolho (Brassica oleracea var. capitata L.)*. 1985. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Rome: FAO, 1976.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. *Yield response to water*. Rome: FAO, 1979.
- EMBRAPA-CNPS. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999.
- ENCARNAÇÃO, C. R. F. *Exigências hídricas e coeficientes culturais da batata (Solanum tuberosum L.)*. 1987. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.
- KLAR, A. E.; FONTES, E. W. S. Water use by broccoli plants (*Brassica oleracea* F, var. *Italica*). *Irriga*, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 37-43, 2003.
- LEME, E. J. A. *et al.* Coeficiente basal e evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Eng. Agric.*, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 36-46, 1997.
- MEDEIROS, G. A. *et al.* The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agric. Water Manag.*, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 215-28, 2001.
- MEDEIROS, G. A. *et al.* Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 35, n. 9, p.1733-42, 2000.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B. Uso consuntivo da agricultura irrigada: necessidade de novas abordagens na pesquisa. In: CAMARGO, A. F. M. *Ciência e desenvolvimento sustentável*. São Paulo: IEA/USP, 1997, p. 63-68.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B. Adaptação e avaliação de evapotranspirômetros para a obtenção do coeficiente de cultura basal (kcb) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Irriga*, Botucatu, v. 4, n. 2, p. 92-103, 1999.
- MOURA, M. C. F. L. *Determinação do consumo de água para a cultura do milho (Zea mays L.) pelo método lisimétrico*. 1990. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- MOURA, M. V. T. *Determinação do consumo de água na cultura da cenoura (Daucus carota L.) através dos métodos lisimétricos e balanço hídrico sob condições de campo*. 1992. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.
- OLIVEIRA, J. B.; ROTTA, C. L. *Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadricula de Campinas*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- RITCHIE, J. T.; JOHNSON, B. S. Soil and plant factors affecting evaporation. In : STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). *Irrigation of agricultural crops*. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA, 1990. p. 364-390.
- SANDANIELO, A.; LUNARDI, D. M. C. Coeficientes de cultura da chicória (*Cichorium endiva* L.). *Irriga*, Botucatu, v. 7, n.2, p. 76-80, 2002.
- SEDIYAMA, G. C. A versão/proposta para o conceito de evapotranspiração de referência. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 10.

Received on December 15, 2003.

Accepted on March 17, 2004.