

COEFICIENTE DE CULTURA (K_c) DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) NO PERÍODO DE OUTONO-INVERNO NA REGIÃO DE LAVRAS - MG¹

FABIO A. SATO², ANTÔNIO M. DA SILVA³, GILBERTO COELHO⁴,
ANTÔNIO C. DA SILVA⁵, LUIZ G. DE CARVALHO⁶

RESUMO: O balanço hídrico é de elevada importância para avaliar a intensidade das entradas e saídas de água em um volume de solo explorado por uma cultura, permitindo, ainda, estimar parâmetros característicos das suas necessidades hídricas, como a evapotranspiração e o coeficiente de cultura (K_c), que se apresentam como indicadores com significados físicos e biológicos da planta, sobretudo quando associados com o seu ciclo fenológico. Dessa forma, neste trabalho, monitorou-se o regime hídrico e climático, de abril a setembro de 2004, e estimou-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) e o K_c do cafeeiro Catuaí, após quatro anos de recape, utilizando-se do método do balanço hídrico. Os resultados obtidos permitiram concluir que o cafeeiro, após quatro anos de recape, apresentou ET_c entre 1,23 e 4,39 mm dia⁻¹ e K_c variando de 0,59 a 1,16. O coeficiente de cultura mostrou sintonia com a fenologia do cafeeiro, sinalizando, entretanto, para a redução do período de dormência e a antecipação do período de formação de frutos e de desenvolvimento vegetativo.

PALAVRAS-CHAVE: balanço hídrico, café, irrigação.

CROP COEFFICIENT (K_c) FOR COFFEE (*Coffea arabica* L.) DURING THE WINTER-FALL SEASONS IN LAVRAS REGION - MG, BRAZIL

ABSTRACT: Water balance is very important for evaluating inflow and outflow water in a soil block explored by a crop. This situation allows to estimate parameters associated to crop water schedule such as evapotranspiration and crop coefficient (k_c), which are present as physical and biological indicators, especially when associated to the phenologic cycle. Therefore, the objective of this paper was to monitor water and climatic regime from April to September/2004 of an adult coffee crop of the cultivar Catuaí pruned four years before, and to estimate crop evapotranspiration (ET_c) and K_c , applying the water balance method. The results allowed concluding that the coffee crop presented ET_c values between 1.23 and 4.39 mm day⁻¹ and K_c from 0.59 to 1.16. K_c showed a relationship with coffee crop phenology; however, it indicated a decrease of the dormancy period and an anticipation of the coffee fruits formation and vegetative development.

KEYWORDS: water balance, coffee, irrigation.

¹ Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

² Eng^o Agrícola, Mestrado em Engenharia Agrícola (Irrigação e Drenagem), UFLA, Lavras - MG, fabioasato@yahoo.com.br

³ Eng^o Agrônomo, Prof. Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, Lavras - MG.

⁴ Eng^o Agrícola Doutorando em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem - UFLA.

⁵ Eng^o Agrícola, Mestrado em Engenharia Agrícola (Irrigação e Drenagem), UFLA, Lavras - MG.

⁶ Eng^o Agrícola, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, Lavras - MG.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 26-7-2005

Aprovado pelo Conselho editorial em: 10-5-2007

INTRODUÇÃO

Para alcançar o limite máximo de produção de uma cultura, é necessário haver consonância entre os aspectos de engenharia de suprimento de água e plena satisfação das suas necessidades biológicas. Portanto, a utilização eficaz da água para proporcionar ótimo crescimento e altos rendimentos só poderá ser conseguida quando o planejamento, o projeto e a operação de reposição de água e do sistema de distribuição estiverem orientados com o propósito de atender, em quantidade e tempo requeridos, incluindo o período de escassez, às necessidades hídricas da cultura (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

A determinação da evapotranspiração do cafeeiro, assim como os coeficientes utilizados no manejo da irrigação têm sido o grande desafio dos pesquisadores, que procuram caracterizar regionalmente esses fatores, buscando a condição ideal de suprimento hídrico da cultura (BERNARDO, 1995). O coeficiente de cultura (K_c) é um indicador de significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, da arquitetura (parte aérea e sistema radicular), da cobertura vegetal e da transpiração da planta (ALLEN et al., 1994).

No decorrer do período vegetativo, o valor de K_c muda de acordo com o crescimento e o desenvolvimento da cultura, variando também com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação (SEDIYAMA et al., 1998). Os mesmos autores ressaltam, ainda, que o K_c pode variar com a textura e o teor de água do solo, com a profundidade e a densidade do sistema radicular, e com as características fenológicas da planta. Entretanto, o conceito de K_c tem sido usado extensivamente para estimar a necessidade real de água de uma cultura por meio de estimativas ou medições de ET_c .

Com relação à cultura do café, GUTIÉRREZ & MEINZER (1994) apresentaram K_c de 0,58 para cafeeiros com aproximadamente um ano de plantio e valores médios de 0,75 e 0,79 no período de dois a quatro anos de idade. Para cafezais com manejo adequado e altura de 2 a 3 m, em clima subúmido, ALLEN et al. (1998) propõem K_c entre 0,90 e 0,95, na ausência de plantas daninhas, e de 1,05 a 1,10, na presença dessas, adotando a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith (FAO). ARRUDA et al. (2000) obtiveram valores de K_c que variaram entre 0,73 e 0,75 nos primeiros anos de plantio e de 0,87 a 0,93 aos 7 e 8 anos, respectivamente.

Apesar dos relatos acima descritos, ainda há considerável carência de informações sobre o coeficiente de cultura do cafeeiro, principalmente para a região Sul de Minas Gerais. Portanto, neste trabalho, teve-se o objetivo de, por meio do monitoramento do regime hídrico e climático, determinar a evapotranspiração (ET_c) e o coeficiente de cultura (K_c) de um cafezal (*Coffea arabica* L.), após quatro anos de recepado, utilizando o método do balanço hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de abril e setembro de 2004, em lavoura de café cultivar Catuaí Vermelho (IAC 44), recepado em setembro de 2000 à altura de 40 cm da superfície do solo. O experimento foi realizado na Fazenda Miquém, de propriedade da Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE/UFLA), em Lavras - MG, à altitude de 910 m, latitude sul de 21°14' e longitude oeste de 45°00', ocupando área útil de 2.240 m². O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico e apresenta textura argilosa.

O espaçamento utilizado foi de 3,5 m entre linhas de plantio e 0,80 m entre plantas. O sistema de irrigação constou de uma unidade central de controle composta por um conjunto moto-bomba, filtros de areia e de disco, manômetros e linhas de irrigação com tubos flexíveis de polietileno com gotejadores autocompensantes, vazão nominal de 1,6 L h⁻¹ e espaçamento entre emissores de 0,45 m. Os dados meteorológicos necessários ao manejo da irrigação foram obtidos junto à miniestação meteorológica, situada na área experimental.

A lâmina de água aplicada entre os meses de abril e setembro foi definida em função da evapotranspiração acumulada entre as irrigações. As irrigações foram realizadas às segundas, quartas e sextas-feiras. A transformação da lâmina de irrigação em volume de água foi feita com base na eq.(1).

$$V = \left[\left(\sum_{i=1}^2 ECA K_p K_c \right) - P \right] A F \quad (1)$$

em que,

- V - volume de água a ser aplicado, litros por planta;
- ECA - evaporação do tanque Classe A no período entre irrigações, mm;
- K_p - coeficiente do tanque (DOORENBOS & KASSAM, 1994);
- K_c - coeficiente de cultura para o café, 1,1 (SANTINATO et al., 1996);
- A - área útil entre plantas, 2,8 m² por planta;
- P - precipitação pluvial ocorrida no período, mm, e
- F - fator de localização, 0,5.

De acordo com o volume de água a ser aplicado (V) e a vazão dos gotejadores (q), obtém-se o tempo necessário de irrigação (T), conforme eq.(2).

$$T = \frac{V}{q} \quad (2)$$

em que,

- T - tempo necessário de irrigação, h;
- V - volume de água a ser aplicado, litros por planta, e
- q - vazão dos gotejadores, 2,84 L h⁻¹ planta⁻¹.

O teor de água no solo foi determinado indiretamente por meio de tensímetros e dos blocos de resistência elétrica, instalados nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m.

A condutividade hidráulica do solo não-saturado foi estimada com base nos métodos de MUALEM (1976) e do permeâmetro de Guelph. Na aplicação da metodologia de MUALEM (1976), utilizou-se da condutividade hidráulica saturada determinada em campo pelo método do permeâmetro de Guelph, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

Para a determinação da expressão da condutividade hidráulica, em função da umidade, foi utilizada a seguinte equação:

$$K_{\theta} = K_0 \Theta^{0.5} \left[1 - \left(1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (3)$$

em que,

- K_{θ} - condutividade hidráulica determinada pelo permeâmetro de Guelph, cm s⁻¹;
- Θ - grau de saturação, e
- m - fator de ajuste, parâmetro do solo.

A equação para determinação de Θ é:

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

em que,

- θ - umidade volumétrica;
- θ_r - umidade residual, e
- θ_s - umidade de saturação.

Determinou-se o balanço hídrico do solo, solucionando-se a equação da conservação de massa:

$$\int_{t_i}^{t_f} (p + i + -et \pm d \pm r) dt = \int_{z_i}^{z_f} \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ dt \quad (5)$$

Simplificando a eq.(5) e integrando-a ao tempo e à profundidade, obtém-se:

$$P + I - ET_c \pm D \pm R = \pm \Delta A \quad (6)$$

em que,

P - precipitação pluviométrica efetiva, mm;

I - irrigação, mm;

ET_c - evapotranspiração da cultura, mm;

R - deflúvio superficial, mm;

D - drenagem interna, mm, e

ΔA- variação do armazenamento, mm.

A contabilização da entrada de água, por meio da precipitação pluvial e da irrigação, ocorrida no intervalo considerado para o balanço hídrico, foi realizada por meio de dados coletados pelo equipamento agrometeorológico instalado junto à área experimental.

Para o cálculo do deflúvio superficial, confrontou-se a lâmina precipitada com a lâmina infiltrada potencial, fornecida pela equação potencial de Kostiakov [eq. (7)], que foi estimada com dados obtidos pelo método do simulador de chuvas.

$$I_{pot} = C T^n \quad (7)$$

em que,

I_{pot} - infiltração acumulada potencial, L;

C - parâmetro do solo, dependente da condição inicial de umidade, L T⁻ⁿ;

T - tempo de oportunidade para infiltração, T, e

n - parâmetro do solo, adimensional e constante, podendo variar entre 0 e 1.

A saída (drenagem interna) e a entrada de água (ascensão capilar) na parte inferior do volume de controle foram obtidas com o uso da eq. (8), proposta por REICHARDT (1985):

$$D = \int_{t_i}^{t_f} q_z dt \quad (8)$$

A densidade de fluxo de água no solo (q_z, mm dia⁻¹) pode ser negativa se for decorrente de drenagem interna, e positiva, se originada pela ascensão capilar. Esse componente foi estimado utilizando-se da equação de Darcy-Buckingham, modificada por RICHARDS (1928).

$$q_z = -K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z} \quad (9)$$

em que,

K(θ) - condutividade hidráulica como função da umidade do solo, e

∂H/∂z - gradiente de potencial total na profundidade considerada.

A variação de armazenamento, considerando 0,40 m a profundidade efetiva do sistema radicular para o cafeeiro, foi calculada a partir da eq.(10):

$$\Delta A = (\theta_2 - \theta_1) Z \quad (10)$$

em que,

ΔA - variação de armazenamento no intervalo de tempo considerado, mm;

θ₂ - umidade média no tempo final, m³ m⁻³;

θ₁ - umidade média no tempo inicial, m³ m⁻³, e

z - profundidade considerada para o balanço, mm.

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO, 1990), com os dados coletados por meio da miniestação meteorológica, a 2,0 m de altura. A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida pelo balanço hídrico [eq.(6)]. Conhecendo os valores de ET_0 e de ET_c , determinou-se o coeficiente de cultura (K_c), pela eq. (11):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (11)$$

em que,

ET_c - evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹, e

ET_0 - evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de umidade correspondentes às tensões, obtidos para a construção da curva de retenção de água no solo, nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, estão dispostos na Tabela 1.

TABELA 1. Umidade volumétrica em função do potencial mátrico em um Latossolo Vermelho distroférico. Lavras - MG.

Potencial Matricial (-kPa)	Camadas de Solo		
	0,0-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
	Umidade (cm ³ cm ⁻³)		
0	0,610	0,615	0,609
2	0,472	0,470	0,458
6	0,388	0,378	0,389
8	0,352	0,327	0,334
10	0,321	0,312	0,322
33	0,260	0,257	0,243
100	0,234	0,228	0,229
500	0,208	0,203	0,207
1.500	0,198	0,196	0,203

A análise da Tabela 1 permite verificar que houve pouca variação entre os valores de umidade a uma mesma tensão para as diferentes camadas de solo. Tal comportamento refletiu-se nas curvas de retenção de água, as quais apresentaram parâmetros de ajustes próximos para as diferentes camadas (Tabela 2).

TABELA 2. Parâmetros de ajuste da equação de Genuchten para o Latossolo Vermelho distroférico, correspondente à área recepada.

Camadas (cm)	Equações Ajustadas
0-20	$\theta = 0,198 + \frac{0,412}{\left[1 + (0,7238 \times \Psi_{mat})^{1,5682}\right]^{0,3623}}$
20-40	$\theta = 0,196 + \frac{0,419}{\left[1 + (0,7540 \times \Psi_{mat})^{1,6029}\right]^{0,3761}}$
40-60	$\theta = 0,203 + \frac{0,406}{\left[1 + (0,7493 \times \Psi_{mat})^{1,6091}\right]^{0,3785}}$

Observa-se, na Figura 1, que o armazenamento de água no solo do cafeeiro recepada, na camada de 0 a 40 cm, para o período em estudo, apresentou-se de maneira bastante uniforme, mantendo a mesma faixa de armazenamento, variando de 140 a 144 mm.

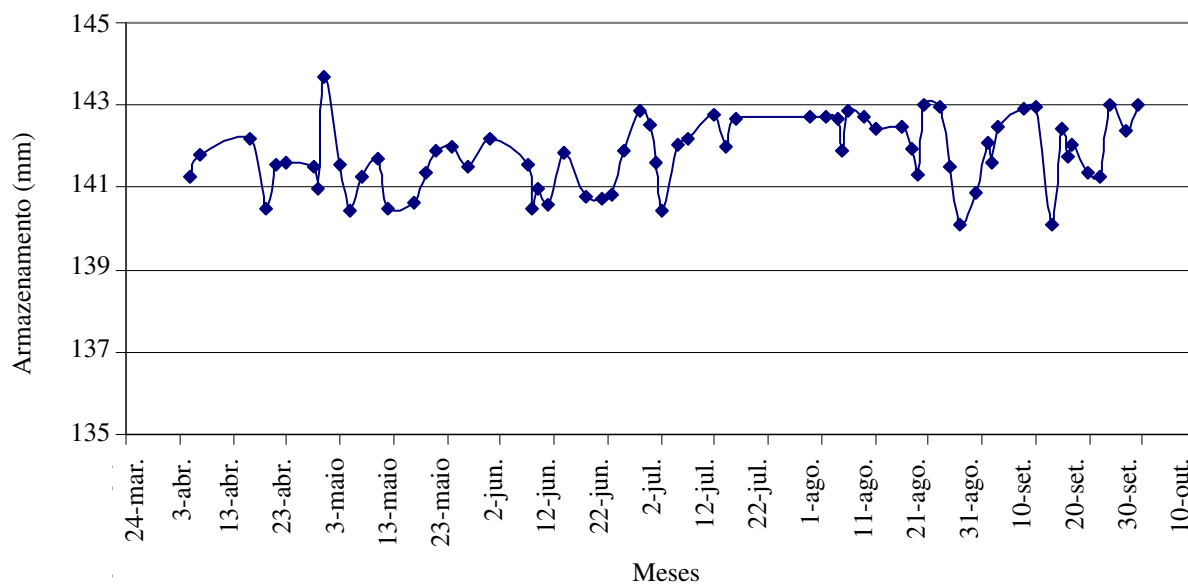


FIGURA 1. Armazenamento de água em um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cafeeiro cultivar Catuaí.

Na Figura 2, apresenta-se o comportamento do teor de água do solo nas três camadas analisadas. Os menores teores ocorreram na camada superficial, durante os meses de maio a setembro, as menores umidades registradas foram $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, em 11 e 18 de junho de 2004, e $0,347$, em 23 de junho do mesmo ano. Esses valores são característicos de elevados potenciais mátricos da água no solo e suficientes para garantirem condições de suprimento ideal de água às plantas, situação indispensável em estudos de estimativas de evapotranspiração máxima da cultura e do K_c .

Na Figura 3, são apresentadas as lâminas mensais de água aplicadas na área experimental. Constata-se que o total da precipitação pluvial e da irrigação, em cada mês, foi sempre superior à evapotranspiração máxima mensal estimada (Tabela 3), a qual é resultante do balanço hídrico dentro do volume de controle trabalhado, dando sustentação à pequena variação da umidade e, por consequência, do armazenamento de água, no período de tempo analisado (Figuras 1 e 2).

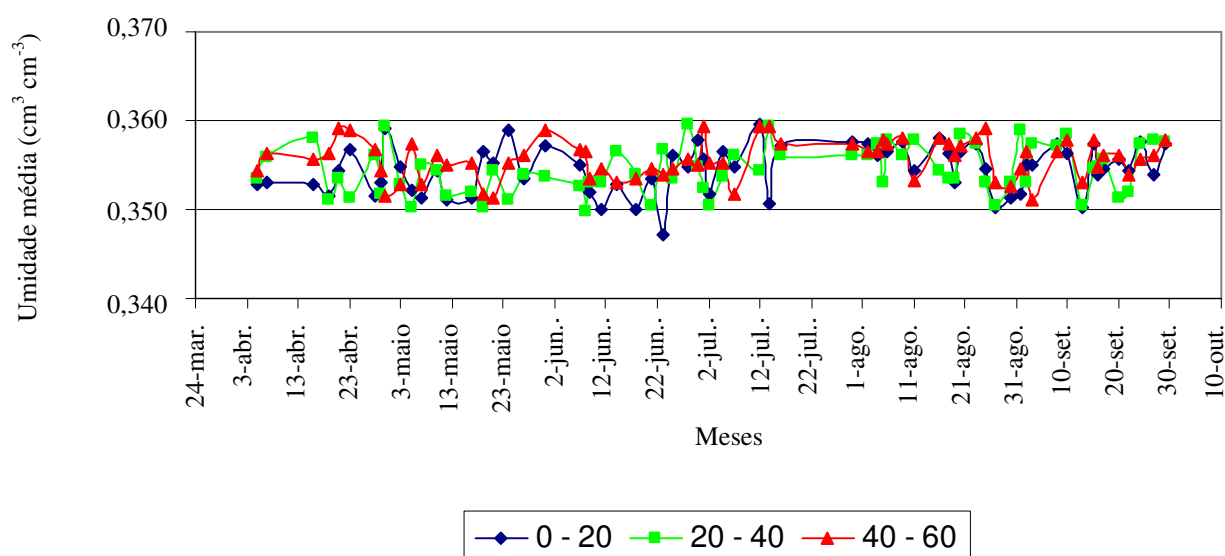


FIGURA 2. Teor de água médio em três profundidades do solo cultivado com cafeeiro Catuaí.

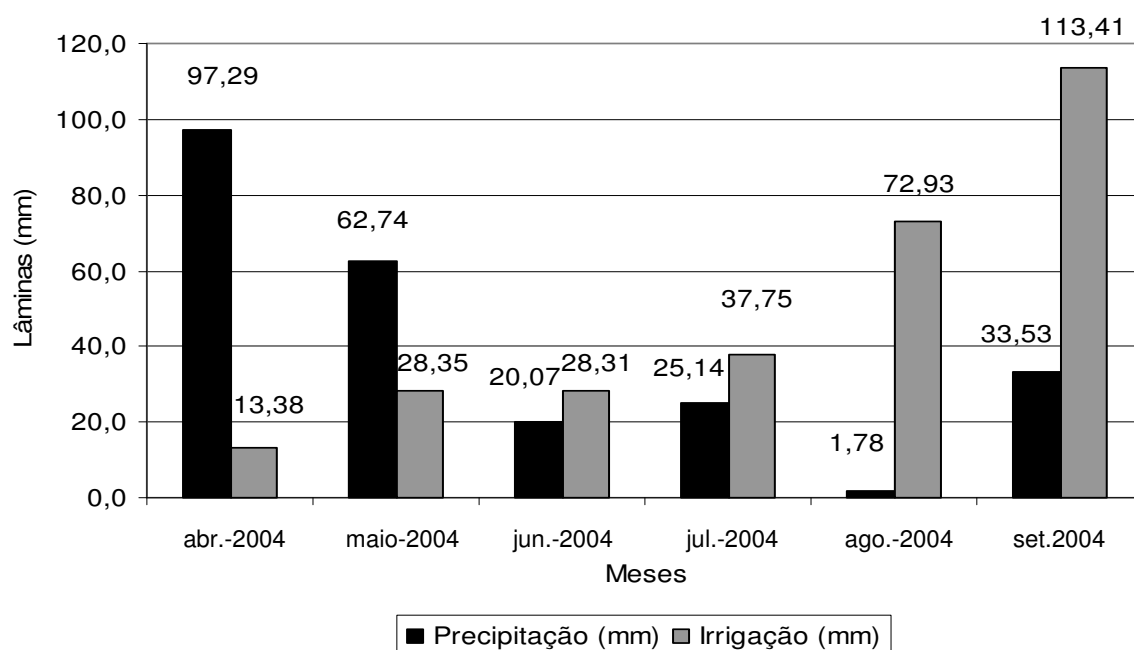


FIGURA 3. Lâminas de precipitação pluvial e de irrigação, aplicadas no cafeeiro cultivar Catuaí.

A ET_c média do cafeeiro apresentada na Tabela 3 mostra variação de $1,23 \text{ mm dia}^{-1}$ em junho de 2004 a $4,39 \text{ mm dia}^{-1}$ em setembro de 2004. Pode-se verificar, ainda, que os menores valores de ET_c ocorreram nos meses em que a cultura apresenta pequena atividade vegetativa, logo, necessitando menos de água.

TABELA 3. Evapotranspiração da cultura do cafeeiro cultivar Catuaí.

Meses	ET_c (mm dia^{-1})	ET_c (mm mês^{-1})
abril	2,58	77,4
maio	1,79	55,5
junho	1,23	36,9
julho	1,39	46,1
agosto	2,09	64,8
setembro	4,39	131,7

Analisando-se os resultados apresentados na Figura 4, verifica-se que ocorreu decréscimo no valor de K_c do mês de abril para o mês de maio, período que coincide com a fase fenológica de maturação/abotoamento (Tabela 4), a qual é caracterizada por moderada atividade vegetativa. Nos meses de junho, julho e agosto ocorreram os menores valores de K_c , coincidindo com a fase de dormência, conseqüentemente, baixa atividade vegetativa. A partir de agosto, houve aumento nos valores de K_c , o qual se acentuou em setembro, fato que está associado à atividade vegetativa plena e fase fenológica de expansão. Esse comportamento é normalmente verificado no mês de outubro, porém acredita-se que essa antecipação seja devida à irrigação. Esse fato sinaliza para a necessidade de estudos mais detalhados para a cultura do café em regime de irrigação, visto que a maioria das informações disponíveis é para a condição de cafeeiro em regime de sequeiro.

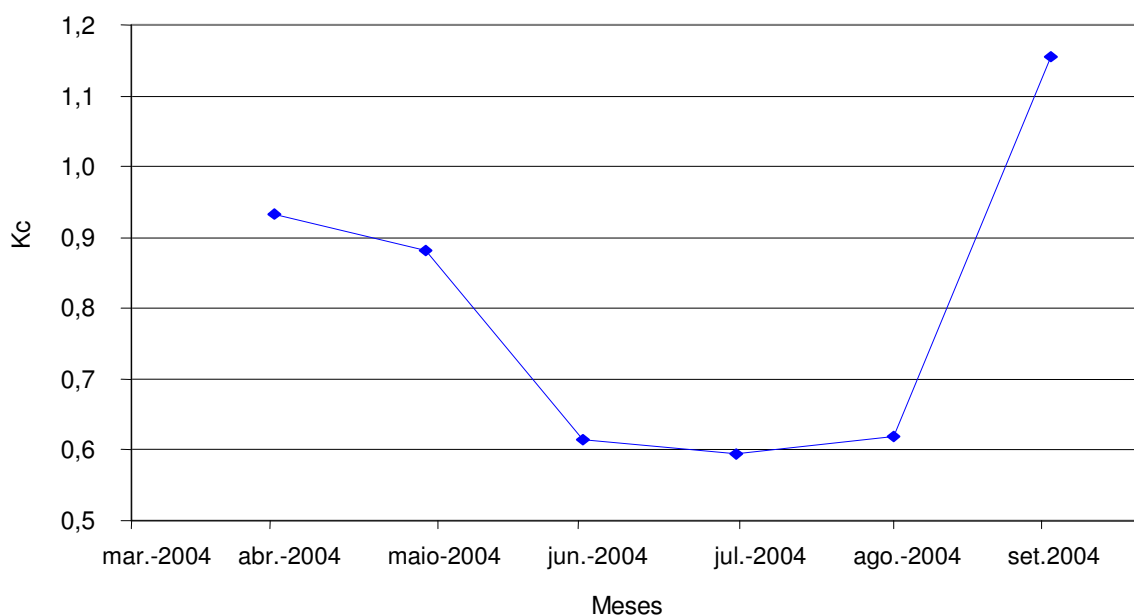


FIGURA 4. Coeficiente de cultura (K_c) do cafeeiro cultivar Catuaí.

TABELA 4. Ciclo fenológico do cafeeiro arábica para as condições do Brasil.

Meses	jan./fev./mar.	abr./maio/jun.	jul./ago./set.	out./nov./dez.
Estações	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Vegetação	Plena	Moderada	Fraca	Plena
Fases	Granação	Maturação	Dormência	Expansão
Fenológicas		Abotoamento		

Fonte: CAMARGO (1987)

Fazendo-se análise conjunta dos valores obtidos de ET_c e K_c para este estudo, os resultados encontrados foram superiores ao cafeeiro em formação estudado por ANTUNES et al. (2000), na cidade de Viçosa - MG, que apresentaram valores de ET_c médio variando de $1,45 \text{ mm dia}^{-1}$, nos meses mais chuvosos, até $1,05 \text{ mm dia}^{-1}$, nos meses mais secos, e K_c variando de 0,35 a 0,40. Esses resultados são comprovados também no trabalho realizado por OLIVEIRA (2003), que obteve valores de ET_c variando de $1,55$ a $2,01 \text{ mm dia}^{-1}$ e K_c de 0,48 a 0,87, em trabalho conduzido em Lavras - MG.

CONCLUSÕES

O cafeeiro Catuaí (*Coffea arabica L.*), após quatro anos de recepa, apresentou, entre os meses de abril e setembro de 2004, evapotranspiração de cultura (ET_c) variando entre $1,23 \text{ mm dia}^{-1}$ no mês de julho, e de $4,82 \text{ mm dia}^{-1}$, no mês de setembro, e K_c variando de 0,59 a 1,16.

Os valores de K_c mostraram concordância com a fenologia da cultura do café e sinalizam para uma possível influência da irrigação no ciclo fenológico do cafeeiro, reduzindo o período de dormência e antecipando a fase vegetativa plena e de expansão. Tais resultados indicam a necessidade de estudos mais detalhados sobre o comportamento fisiológico de cafeeiros irrigados.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, New Delhi, v.43, n.2, p.93, 1994.

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO - Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANTUNES, R.C.B.; MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C.; RENA, A.B.; ALVARENGA, A. de P. Determinação da evapotranspiração da cultura do cafeeiro em formação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. *Resumos expandidos...* Brasília: EMBRAPA Café/MINASPLAN, 2000. v.2, p.810.
- ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R.O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama - SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. *Resumos expandidos...* Brasília: EMBRAPA Café/MINASPLAN, 2000. v.2, p.790.
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657 p.
- CAMARGO, A.P. de. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. *Anais...* Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.53-90.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33. Tradução de GHEYI, H. R.; Souza, A.A de; DAMASCENO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. de. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.
- FAO. *Protected cultivation in the Mediterranean climate*. Rome, 1990. 313 p. (Plant Production and Protection Paper, 90).
- GUTIÉRREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. *Journal of American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v.119, n.3, p.652-7, 1994.
- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resource Research*, Washington, v.12, n.3, p.513-22, 1976.
- OLIVEIRA, P.M. de. *Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (Coffea arábica L.)*. 2003. 86 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2003.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 448 p.
- RICHARDS, L.A. The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigators. *Journal Agricultural Research*, Washington, v.37, p.719-42, 1928.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. *Irrigação na cultura do café*. Campinas: Arbore Agrícola, 1996. 145 p.
- SEDYAMA, C.G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B.G. Relações clima-água-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Simpósio...* Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p.46-85.