

AGROMETEOROLOGIA

ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA DO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E FITOTÉCNICAS⁽¹⁾

NILSON AUGUSTO VILLA NOVA^(2,4); JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN⁽³⁾;
LUIZ ROBERTO ANGELOCCI^(2,4); DURVAL DOURADO-NETO^(3,4)

RESUMO

Com base em pesquisa realizada no cafezal do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, Universidade de São Paulo, utilizando a cultivar Mundo Novo IAC 388-17, enxertada na cultivar Apoatã IAC 2258, plantada no espaçamento de 2,5 m x 1,0 m (4.000 plantas.ha⁻¹), propôs-se um método para a estimativa do coeficiente de cultura (Kc) de café. O método fundamentou-se na estimativa da transpiração do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas (área foliar, densidade de plantas e manejo de plantas daninhas). Entre 15 e 40 meses após a implantação do cafezal, realizaram-se estimativas de Kc nas condições de densidade de plantio e da área foliar do cafeeiro, bem como simulações para diferentes densidades, na presença e na ausência de plantas daninhas. Os resultados evidenciaram a dinâmica do coeficiente de cultura (Kc) com a variação da área foliar e a densidade de plantio. O Kc estimado foi superior na presença de mato até 30 meses após o plantio, para o espaçamento adotado neste experimento. Em comparação com os dados de Kc para café indicados na literatura, o método proporcionou resultados consistentes, com a vantagem de permitir simulações para diferentes densidades de plantas. Em vista dos resultados, sugerem-se estudos adicionais da relação entre área foliar e densidade de plantas elevada, ou seja, que ultrapasse o limite adotado neste experimento, de 4.000 plantas.ha⁻¹.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., evapotranspiração, área foliar, densidade de plantas, plantas daninhas.

ABSTRACT

ESTIMATIVE OF THE COFFEE CROP COEFFICIENT AS FUNCTION OF THE WEATHER AND PLANT PARAMETERS

With the objective of proposing a new approach to estimate the crop coefficient (Kc) for coffee, a field experiment was carried out at the Crop Production Department of ESALQ, University of São Paulo, Piracicaba, Brazil (latitude: 22°43'30"S, longitude: 47°38'00"W and altitude 580 m). The method was based on the estimates of crop transpiration as function of weather and crop variables (plant density, leaf area and weeds management). The cultivar Mundo Novo IAC 388-17 grafted on the cultivar Apoatã IAC 2258 was planted on the spacing of 2.5 m x 1.0 m (4,000 plants.ha⁻¹). From 15 to 40 months of age, at intervals of 60 to 150 days, crop water consumption was estimated through a water balance procedure, assuming a uniform water status of the crop. Leaf area of two plants was assessed in 18 occasions during the experimental period, using the equipment LI-COR 3100 (Lambda Corporation, NE, USA). The values of Kc had a dynamic behavior with the increase of the transpiring surface as a function of leaf area and planting density. The presence of weed caused increases on Kc up to 30 months after planting. Comparing the values of Kc available in the literature to the ones obtained in this work, the present approach provided consistent results, with the advantage of allowing the simulation of other planting density conditions within the limit of 4,000 plants.ha⁻¹ evaluated.

Key words: *Coffea arabica* L., evapotranspiration, leaf area, plant density, weeds.

⁽¹⁾ Extraído do Projeto de Pesquisa do segundo autor apresentado à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Recebido para publicação em 3 de setembro de 2001 e aceito em 26 de março de 2002.

⁽²⁾ Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: lrangelo@esalq.usp.br

⁽³⁾ Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. E-mail: jlfavari@esalq.usp.br; ddourado@esalq.usp.br

⁽⁴⁾ Com bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

O uso da técnica de irrigação na cultura de café cresceu acentuadamente em diversas regiões brasileiras, conforme indicam levantamentos preliminares, cuja área alcança aproximadamente 200 mil hectares, o que representa 10% da área cultivada com café e 8,7% da área irrigada no Brasil (MANTOVANI, 2000).

O rendimento do cafeeiro é sensivelmente afetado pela limitação hídrica, que é capaz de elevar em 45% o índice de grãos malformados (chochos) quando a deficiência coincide com a fase de granação, o que reduz significativamente o crescimento vegetativo e a produção seguinte (CAMARGO et al., 1984 e FERNANDES et al., 1998).

A fase de expansão dos frutos se dá entre a quarta e a oitava semana depois da abertura floral (antese) até a décima quinta e a décima oitava semana. Ao final desse período, em que os frutos crescem e se desenvolvem, define-se o tamanho da semente, com a lignificação do endocarpo. RENA e MAESTRI (2000) demonstraram que a pressão de turgescência exercida pela água é responsável pela expansão do endocarpo antes da lignificação, o que influencia o tamanho da semente.

O consumo de água pelo cafeeiro, para melhor definição da lâmina de irrigação a ser aplicada, tem sido quantificado, principalmente, pelo uso de variáveis climatológicas, como a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura (DOORENBOS e KASSAN, 1979) ou, ainda, mediante a adaptação do balanço hídrico do solo (CAMARGO e PEREIRA, 1994).

O coeficiente de cultura (Kc) é um indicador de grande significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, arquitetura da planta (parte aérea e sistema radicular), cobertura vegetal e transpiração da planta (DENMEAD e SHAW, 1962; JENSEN, 1969; WRIGHT, 1982; ALLEN et al., 1994). Na definição de seus valores, não se tem considerado diretamente, para efeito de cálculo, a superfície transpirante, que depende da população e distribuição de plantas, bem como do manejo da cultura em relação às plantas daninhas. Em face das diferentes condições brasileiras, a determinação do coeficiente de cultura para o cafeeiro (Kc) requer maior experimentação agrônoma e, igualmente, maior diversidade climática (ARRUDA et al., 2000).

GUTIERREZ e MEINZER (1994) obtiveram o índice de 0,58 para o coeficiente de cultura em cafeeiros com aproximadamente 12 meses de idade, com valores médios de 0,75 e 0,79 no período entre 24 e 48 meses de idade. SANTINATO et al. (1996) apresentam valores de coeficientes de cultura de café em função da idade e da densidade de plantas, iguais a 0,6; 0,7 e 0,8 em lavouras até com 12 meses para densidades de 2.500 plantas.ha⁻¹, 3.300 plantas.ha⁻¹ e 6.700 plantas.ha⁻¹ respectivamente. Nessa ordem, em relação à densidade de plantas, os

autores verificaram valores de Kc iguais a 0,8; 0,9 e 1,0 em lavouras entre 12 e 36 meses, e iguais a 1,0; 1,1 e 1,2, com idade superior a 36 meses. ARRUDA et al. (2000) obtiveram valores de coeficientes de cultura (Kc) entre 0,73 e 0,75 nos primeiros anos de idade da planta, e entre 0,87 e 0,93 aos sete e oito anos respectivamente.

Para cafezais com manejo adequado e altura de 2 m a 3 m, em clima subúmido, ALLEN et al. (1998) propõem Kc entre 0,90 e 0,95 e entre 1,05 e 1,10, respectivamente, na ausência e na presença de plantas daninhas, com a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith (versão FAO). Derivados os valores de Kc e considerados os componentes transpiração e evaporação de solo, os autores obtiveram, respectivamente, 0,80-0,90 e 0,85-0,90 com a superfície do solo seca. Entretanto, segundo CARR (2001), a validade desses valores precisa ser testada.

A variação de Kc depende, portanto, da área foliar, da densidade de plantas e da presença de plantas daninhas. De acordo com BARROS et al. (1995), é restrito o conhecimento da demanda hídrica pelo cafeeiro, a qual é influenciada por fatores como localidade, cultivar, espaçamento, sistema de poda e densidade de plantio. Para CARR (2001), sabe-se pouco sobre o consumo hídrico das culturas e os métodos atuais de estudo desse parâmetro, para fins de irrigação, os quais são imprecisos e sujeitos a erros.

Realizou-se este trabalho com o objetivo de propor um método capaz de determinar o coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro, considerando variáveis climatológicas e fitotécnicas como área foliar, densidade de plantas e manejo de plantas daninhas, a fim de subsidiar o controle racional da irrigação da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O experimento foi realizado em cultura de café irrigada com aspersão convencional, instalada no campo experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, São Paulo, em Piracicaba, com latitude de 22°43'30"S, longitude de 47°38'00"W e altitude de 580 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Cwa, tropical de altitude com inverno seco.

2.2. Determinação do consumo de água

O cafezal da cultivar Mundo Novo IAC 388-17, enxertada na 'Apoatã IAC 2258', foi implantado no espaçamento de 2,5 m x 1,0 m, com uma densidade de 4.000 plantas.ha⁻¹. No período entre 15 e 40 meses após

o plantio (agosto de 1998 a setembro de 2000), realizaram-se nove avaliações, com intervalos variáveis de 60 a 150 dias, determinando-se o consumo hídrico de plantas individuais de café pelo do método do balanço de massa de água "in situ"; considerou-se que a perda de água pela planta igualou-se à variação de armazenamento hídrico do solo no período. Para o cálculo, desconsiderou-se a drenagem profunda e a ascensão capilar, o que não implicou fonte considerável de erro, pois as determinações foram realizadas em períodos em que essas variáveis eram desprezíveis, uma vez que se verificou ausência de chuvas nos dias que antecederam às medições.

Para a determinação da variação do armazenamento de água, as amostras de solo foram recolhidas a cada 0,15 m até 0,60 m de profundidade, em duas posições diametralmente opostas de cada planta (Figura 1: posições A e B). Após um intervalo de dois dias, da primeira a sétima avaliação, e de cinco dias para a oitava e nona avaliações, coletaram-se novas amostras em outras duas posições nas mesmas plantas (Figura 1: posições C e D). O consumo de água medido é representativo da transpiração da planta, pois se evitou a influência da evaporação, pela exposição do solo à radiação luminosa, uma vez que as amostras foram retiradas em posições localizadas a 0,2 m da projeção externa do diâmetro inferior do dossel (Di) em direção ao caule da planta, conforme apresentado na figura 1.

A variação de umidade volumétrica média foi medida até a profundidade de 0,6 m, obtida em duas plantas, em dois locais por planta e em duas épocas (t_1 e t_f), de acordo com a expressão 1:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{(U_I - U_F)\rho}{100(t_f - t_1)} \quad (1)$$

em que $D\theta$ corresponde à variação do teor médio de água ($m^3.m^{-3}$) no perfil do solo no período Dt ($Dt = t_f - t_1$), U_F ao teor final de água no solo no instante t_f , U_I ao teor inicial de água no solo no instante t_1 , e ρ à massa específica do solo da área experimental. Durante o experimento, o cafeeiro foi irrigado semanalmente por aspersão, aplicando-se uma lâmina equivalente à evapotranspiração de referência (ET_o) acumulada, calculada pelo método do tanque classe A. Considerou-se que nos períodos de estudos não ocorreram deficiências hídricas no solo.

2.3. Determinação do coeficiente de cultura

O coeficiente de cultura (K_c) é dado pela relação entre a evapotranspiração máxima de cultura, considerada como a que ocorre em condições hídricas

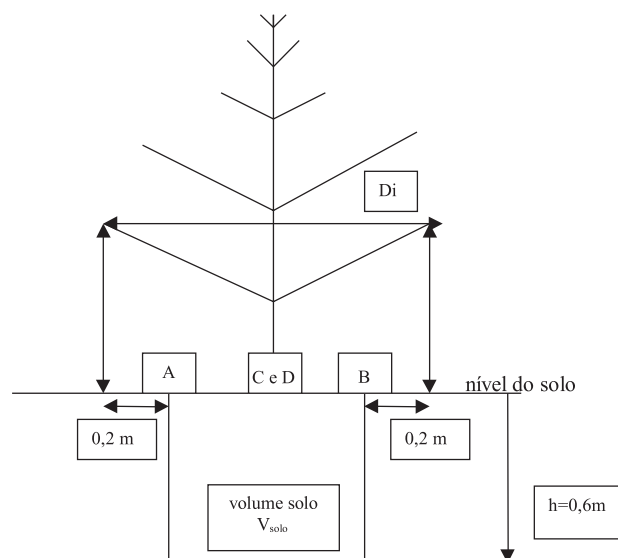


Figura 1. Posições sob a projeção do dossel do cafeeiro (A, B, C e D, a 0,2 m da projeção da copa) em que foram recolhidas as amostras de solo até 0,6 m de profundidade para as determinações de umidade pelo método gravimétrico.

ideais no solo, e a evapotranspiração de referência ET_o , conforme a expressão 2:

$$K_c = ET_m/ET_o \quad (2)$$

Obteve-se a evapotranspiração máxima (ET_m , $mm.dia^{-1}$) pelo somatório da evapotranspiração da área de terreno ocupada pelo cafeeiro (ET_{mc}) e da área não ocupada (ET_{nc}), com e sem plantas daninhas, de acordo com o manejo da cultura, conforme a expressão 3:

$$ET_m = ET_{mc} + ET_{nc} \quad (3)$$

Estimou-se o valor de ET_{mc} segundo o método proposto por VILLA NOVA et al. (2001). Assim, para uma cultura em renque, a transpiração do cafeeiro pode ser avaliada, com boa aproximação, pela expressão 4:

$$T_e = 0,347.K_p.ECA.AF \quad (4)$$

em que T_e corresponde à perda de água pelo cafeeiro ($litros.planta^{-1}.dia^{-1}$), basicamente na forma de transpiração; ECA , à evaporação do tanque classe A ($mm.dia^{-1}$) e AF , à área foliar ($m^2.planta^{-1}$).

A expressão 4 foi previamente testada por meio da comparação dos valores de T_e estimados com o consumo hídrico do solo "in situ", obtendo-se excelente concordância entre ambos (FAVARIN et al., 2002).

O valor de K_p , coeficiente de tanque classe A, foi estimado pela equação de regressão (expressão 5) determinada por SNYDER (1992):

$$K_p = 0,482 + 0,024.Ln(F) - 0,000376.U + 0,0045.UR \quad (5)$$

em que F corresponde à bordadura com vegetação em torno do tanque classe A (no caso, igual a 10 m); U, à velocidade média diária do vento (km.dia⁻¹) a 2 m acima da superfície do solo e UR, à umidade relativa média diária (%), sendo os valores das variáveis climatológicas obtidos em estação meteorológica localizada a 150 m do experimento.

Pode-se transformar o valor de Te no termo ETmc da expressão (3), calculando-se o valor da evapotranspiração de referência a partir da expressão 6:

$$ET_o = K_p.ECA \quad (6)$$

de modo que a expressão (4) pode ser transformada na expressão (7) para o cálculo de ETmc (mm.dia⁻¹), considerando-se que Te corresponde, com boa aproximação, à perda de água por planta:

$$ET_{mc} = 0,347.ET_o.AF.NP/10.000 \quad (7)$$

em que NP corresponde ao número de plantas.ha⁻¹ e 10.000, à área de 1 hectare em m², sendo essa relação utilizada para transformar o consumo individual de água por cafeeiro (litros.planta⁻¹.dia⁻¹) em evapotranspiração referente à fração da área ocupada pelos cafeeiros (mm.dia⁻¹).

O valor de ETnc na equação (3) foi estimado com base na determinação da fração de área não ocupada pelos cafeeiros (Fnc), conforme expressão 8:

$$F_{nc} = (1-AC/AD) \quad (8)$$

sendo AC a área média (m²) de terreno efetivamente ocupada pelas plantas de café e AD a área média (m²) de terreno disponível para cada cafeeiro, determinadas segundo as expressões 9 e 10:

$$AC = p.Di^2/4 = 0,785.Di^2 \quad (9)$$

$$AD = DL.DP \quad (10)$$

sendo Di o diâmetro médio (m) da projeção da copa do cafeeiro no terreno; DL, a distância (m) entre as linhas de plantio e DP, a distância (m) entre as plantas na linha de plantio.

Desse modo, o cálculo da evapotranspiração da fração de área não ocupada pelos cafeeiros (ETnc) é dado pela expressão 11:

$$ET_{nc} = K_{cd}.ET_o.[1 - AC/(DL.DP)] \quad (11)$$

em que Kcd corresponde a um "coeficiente de cultura" da vegetação intercalar (plantas daninhas), cuja ocorrência depende do manejo da cultura.

Introduzindo-se o valor de AC, dado pela expressão (9) na expressão (11), obtém-se a expressão 12:

$$ET_{nc} = K_{cd}.ET_o.[1 - 0,785.Di^2/(DL.DP)] \quad (12)$$

Dessa forma, substituindo-se as expressões (7) e (12) na expressão (3), obtém-se a expressão 13:

$$ET_m = ET_o.\{[0,347.AF.NP/10.000] + K_{cd}.[1 - 0,785.Di^2/(DL.DP)]\} \quad (13)$$

Os valores de Kcd foram adotados como iguais a 0,5 para as situações de ausência de plantas daninhas (solo exposto nas entrelinhas) e 1,0 para as de presença.

Determinou-se a área foliar pelo método destrutivo. Coletaram-se todas as folhas de duas plantas em cada uma das nove avaliações, mantendo-as túrgidas até a mensuração, realizada por um integrador de área foliar marca LI-COR (modelo 3100).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 é apresentada a planilha de cálculo do consumo de água pelo cafeeiro em todas as avaliações, as quais foram realizadas em períodos com intervalos que variaram de 2 a 5 dias. O quadro 2 apresenta os dados do diâmetro inferior do dossel (Di, m), fração de área de solo não ocupada pelo cafeeiro (Fnc), área foliar por planta (AF, m².planta⁻¹), coeficientes de cultura do cafeeiro (Kcc), levando-se em conta a cobertura pelas plantas daninhas (Kci) e o coeficiente de cultura de café (Kc) propriamente dito.

Foram também realizadas simulações com base nos dados determinados no experimento, como diâmetro médio da projeção da copa do cafeeiro no terreno (Di, m) e área foliar do cafeeiro (AF, m².planta⁻¹), na presença de plantas daninhas (Kcd = 1,0). Além da densidade de plantas do experimento (4.000 plantas.ha⁻¹), adotaram-se, com a finalidade de simulação, as densidades de 2.500 plantas.ha⁻¹, 3.300 plantas.ha⁻¹ e 6.700 plantas.ha⁻¹, semelhantes àquelas utilizadas por SANTINATO et al. (1996), para efeito de comparação de resultados e permitir uma avaliação da sensibilidade e coerência dos dados calculados (Quadro 3).

De acordo com o método proposto, observa-se que os valores determinados para o coeficiente de cultura (Kc, Quadro 2) variaram em função do manejo da cultura. Quanto aos valores mais altos, pôde-se observá-los na presença de plantas daninhas (com mato) nas entrelinhas, até que a cultura ocupasse efetivamente a área disponível. Tal fato se verificou desde a primeira avaliação (fase: maturação de gemas florais, 15 meses após plantio no primeiro ano fenológico) até a sétima avaliação (fase: chumbinho/expansão de frutos, 30 meses após plantio no terceiro ano fenológico). Na oitava avaliação (fase: maturação de frutos, 35 meses após plantio no terceiro ano fenológico) e última avaliação (fase: florada, 40 meses após plantio no quarto ano fenológico), o valor de evapotranspiração da fração de terreno "livre" de café (Fnc, Quadro 2) é nula, devido ao espaçamento utilizado (2,5 m x 1,0 m) e à elevada capacidade da cultivar Mundo Novo, porte alto e grande vigor vegetativo, de competir com o mato pela ocupação da área disponível.

Quadro 1. Estimativa do consumo de água pelo café (T_e , litros planta⁻¹ dia⁻¹) em função das fases fenológicas, evaporação do tanque classe A (ECA, mm dia⁻¹), umidade relativa (UR, %), velocidade vento (U, km dia⁻¹), coeficiente de tanque (Kp), evapotranspiração de referência (ET₀, mm dia⁻¹) e área foliar média do cafeeiro (AF, m².planta⁻¹)

Fases fenológicas	ECA	UR	U	Kp	ET ₀	AF	Te=0,347.ET ₀ .AF
	mm.dia ⁻¹	%	km.dia ⁻¹		mm.dia ⁻¹	m ² .planta ⁻¹	litros.planta.dia ⁻¹
Maturação das gemas florais (15 meses)	2,16	89	87	0,905	1,95	0,665	0,45
Chumbinho (17 meses)	4,40	78	174	0,823	3,62	1,445	1,82
Granação dos frutos (20 meses)	6,73	69	120	0,803	5,40	1,690	3,17
Granação dos frutos (22 meses)	4,73	89	87	0,905	4,28	2,705	4,02
Maturação dos frutos (25 meses)	2,26	88	130	0,884	2,00	4,545	3,15
Florada (28 meses)5,80	55	95	0,749	4,34	4,605	6,94	
Chumbinho/expansão (30 meses)	5,31	77	144	0,829	4,40	5,860	8,90
Maturação dos frutos (35 meses)	4,25	71	64	0,832	3,53	8,530	10,47
Florada (40 meses)5,18	64	198	0,750	3,88	7,460	10,06	

Quadro 2. Coeficiente de cultura do café (Kc) em função das fases fenológicas na densidade de 4.000 plantas.ha⁻¹, área foliar média (AF, m².planta⁻¹), fração de área livre, sem cafeeiros (Fnc = 1-0,785.Di²/AD), coeficiente de cultura do café (Kcc) e “coeficiente de cultura” da planta daninha na entrelinha (Kci = Fnc.Kcd), considerando Kcd = 1,0 (com plantas daninhas) e Kcd = 0,5 (sem plantas daninhas) na lavoura

Fases fenológicas	Di	Fnc	AF	Kcc	Kci		Kc = Kcc + Kci	
					Kcd = 0,5	Kcd = 1,0	Sem mato	Com mato
	m		m ² .planta ⁻¹					
Maturação das gemas florais (15 meses)	0,78	0,809	0,665	0,092	0,405	0,809	0,497	0,901
Chumbinho (17 meses)	1,06	0,647	1,445	0,200	0,324	0,647	0,524	0,847
Granação dos frutos (20 meses)	1,18	0,563	1,690	0,235	0,282	0,563	0,517	0,798
Granação dos frutos (22 meses)	1,40	0,385	2,705	0,375	0,193	0,385	0,568	0,760
Maturação dos frutos (25 meses)	1,49	0,303	4,545	0,631	0,152	0,303	0,783	0,934
Florada (28 meses)	1,50	0,294	4,605	0,639	0,147	0,294	0,786	0,933
Chumbinho/expansão (30 meses)	1,68	0,114	5,860	0,813	0,057	0,114	0,870	0,927
Maturação dos frutos (35 meses)	1,89	0,000	8,530	1,184	0,000	0,000	1,184	1,184
Florada (40 meses)	2,10	0,000	7,460	1,036	0,000	0,000	1,036	1,036

Quadro 3. Simulação de coeficientes de cultura do café (Kc) em função das fases fenológicas, densidade de plantas ($DP_1 = 2.500$ plantas. ha^{-1} , $DP_2 = 3.300$ plantas. ha^{-1} e $DP_3 = 4.000$ plantas. ha^{-1}), área foliar média do café (AF, m^2 .planta $^{-1}$), coeficiente de cultura do café (Kcc = 0,347.AFN/10.000) e “coeficiente de cultura” da área com planta daninha (Kci = $Kcd \cdot (1 - 0,785 \cdot DP_i / AD)$), assumindo a presença de mato (Kcd = 1,0)

Fases fenológicas	Di	AF	Kcc			Kci			Kc = Kcc + Kci												
			DP ₁	DP ₂	DP ₃	DP ₁	DP ₂	DP ₃	DP ₁	DP ₂	DP ₃										
m	m^2 .planta $^{-1}$																				
Maturação das gemas florais (15 meses)	0,78	0,665	0,058	0,076	0,092	0,881	0,842	0,809	0,939	0,918	0,901										
Chumbinho (17 meses)	1,06	1,445	0,125	0,166	0,200	0,780	0,709	0,647	0,905	0,875	0,847										
Granação dos frutos (20 meses)	1,18	1,690	0,147	0,194	0,235	0,727	0,639	0,563	0,874	0,833	0,798										
Granação dos frutos (22 meses)	1,40	2,705	0,235	0,310	0,375	0,615	0,492	0,385	0,850	0,802	0,760										
Maturação dos frutos (25 meses)	1,49	4,545	0,394	0,520	0,631	0,564	0,425	0,303	0,948	0,945	0,934										
Florada (28 meses) 1,50	4,605	0,400	0,527	0,639	0,438	0,417	0,294	0,838	0,944	0,933											
Chumbinho/expansão (30 meses)	1,68	5,860	0,508	0,671	0,813	0,446	0,269	0,114	0,954	0,940	0,927										
Maturação dos frutos (35 meses)	1,89	8,530	0,740	0,977	1,184	0,299	0,075	0,000	1,039	1,052	1,184										
Florada (40 meses) 2,10	7,460	0,647	0,854	1,036	0,135	0,000	0,000	0,782	0,854	1,036											
Kc (média entre 15 e 35 meses)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,918	0,914	0,911										

A análise no tempo indica que o aumento da área foliar, pelo crescimento e desenvolvimento do café (ampliação do número e crescimento de ramos plagiotrópicos), elevou o valor do coeficiente de cultura (Kc, Quadro 2) de 0,497 (sem mato) e 0,901 (com mato) aos 15 meses de idade (fase: maturação de gemas florais) e área foliar média de 0,665 m^2 .planta $^{-1}$, para 1,184 (Kc) verificado aos 35 meses de idade (fase: maturação de frutos), quando a superfície transpirante (AF) atingiu 8,53 m^2 .planta $^{-1}$.

Há duas hipóteses para explicar a diminuição da área foliar entre as duas últimas avaliações - 35 e 40 meses após plantio (fases: maturação de frutos e florada respectivamente): (i) erros de estimativa da área foliar (AF), em função da variabilidade das plantas da área experimental e por sua amostragem aleatória e (ii) queda de folhas com a colheita e senescência de ramos plagiotrópicos de ordem superior, devido à autopoda dos cafeiros (CAMARGO e CAMARGO, 2001). A segunda hipótese é mais provável, uma vez que as avaliações foram realizadas entre o início da maturação de frutos (3.º ano fenológico, em abril) e a florada seguinte (4.º ano fenológico, em setembro), compreendendo a segunda colheita de frutos do cafezal (realizada em julho) e o período de autopoda fisiológica do café (CAMARGO e CAMARGO, 2001).

De acordo com os dados de SANTINATO et al. (1996), os coeficientes de cultura em lavouras com idade entre 12 e 36 meses atingem valores iguais a 0,8 (2.500 plantas. ha^{-1}), 0,9 (3.333 plantas. ha^{-1}) e 1,0 (6.666 plantas. ha^{-1}). Tais valores assemelham-se à média obtida para o coeficiente de cultura (Kc) no período entre 15 e 35 meses de idade (Quadro 3), para a densidade de plantio do experimento ($DP_3 = 4.000$ plantas. ha^{-1}), assim como àqueles obtidos por simulação nas densidades semelhantes àquelas utilizadas por SANTINATO et al. (1996), exceto para a maior densidade populacional (6.666 plantas. ha^{-1}).

Durante a simulação (Quadro 3) os valores de Kc médios foram iguais a 0,918 ($DP_1 = 2.500$ plantas. ha^{-1}); 0,914 ($DP_2 = 3.300$ plantas. ha^{-1}) e 0,911 ($DP_3 = 4.000$ plantas. ha^{-1} , nas condições do experimento), para a cultivar Mundo Novo com idade entre 15 e 35 meses após o plantio.

Os resultados obtidos para o coeficiente de cultura (Kc) comparados com aqueles encontrados na literatura evidenciam a potencialidade do método proposto para sua estimativa, com a vantagem da aplicabilidade nas diferentes condições de área foliar, densidade de plantas e manejo da cultura no que se refere ao controle de plantas daninhas.

Uma limitação para a utilização do modelo proposto consiste na dificuldade de estimar a variável área foliar (AF, m^2 .planta $^{-1}$), uma vez que não se pode determiná-

la a partir de método destrutivo, como utilizado no experimento. Para tanto, podem ser adotadas outras técnicas que utilizam, por exemplo, a interceptação de radiação pela copa, após o seu ajuste para a cultura de café. Há modelos, desenvolvidos com métodos simples e não destrutivo, que permitem estimar a variação temporal da área foliar do cafeeiro, através de medidas de arquitetura do dossel (FAVARIN et al., 2002).

Considerando a hipótese de que a área foliar por planta é variável em função do número de plantas por hectare e da fase fenológica do cafeeiro, e como não é conhecida a relação funcional entre ambas (por exemplo: área foliar e densidade de plantas), não se considera correto fazer simulações para o cálculo de coeficiente de cultura (Kc) para altas densidades populacionais, adotando-se a mesma área foliar obtida em cafeeiros no espaçamento utilizado neste experimento (2,5 m x 1,0 m = 4.000 plantas.ha⁻¹). Do exposto, recomenda-se a realização de outros trabalhos para a verificação desta hipótese, determinando-se a referida relação funcional no intuito de utilizar a estimativa do índice de área foliar (IAF) em densidades superiores a 4.000 plantas.ha⁻¹.

4. CONCLUSÕES

1.O coeficiente de cultura (Kc), segundo o método proposto, é confiável e constitui um avanço, pois introduz parâmetros fitotécnicos que afetam diretamente a demanda hídrica da planta, como a superfície transpirante (área foliar), densidade de plantas e o trato cultural em relação ao controle de plantas daninhas.

2. A sensibilidade e a coerência dos dados reforçam a tese sobre a eficiência do método e a viabilidade de sua adoção para o manejo racional da irrigação do cafeeiro.

3. Os valores de coeficiente de cultura (Kc) evidenciam sua dinâmica: é índice variável com o crescimento da planta e superior na presença de plantas daninhas até 30 meses após o plantio, no espaçamento utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, T.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage, Paper 56).
- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An update for the definition of reference evapotranspiration. International Commission on Irrigation and Drainage, New Delhi, v.43, n.2, 93p., 1994.
- 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 PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, Anais... Brasília: Embrapa Café/MINASPLAN, 2000. v.2, p.790-793.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; RENA, A.B. Coffee crop ecology. Tropical Ecology, Varanas, v.36, p.1-19, 1995.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. Bragantia, Campinas, v.60, n.1, 65-68, 2001.
- CAMARGO, A.P.; GROHMAN, F.; DESSIMONI, L.M.; TEIXEIRA, A.A. Efeitos na produção de café de épocas de rega e de supressão da água, por meio de cobertura transparente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 21., 1984, Londrina. 1984. Anais... Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1984. p.62-64.
- CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. Agrometeorology of coffee crop. Geneva: World Meteorological Organization, 1994. 92p. (CAGM Report, 58).
- CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of coffee. Experimental Agriculturae, Cambridge, v.37, n.1, p.1-36, 2001.
- DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agronomy Journal, Madison, v.43, p.385-390, 1962.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: FAO, 1979. 212p. (Estudio FAO, Riego y Drenaje, 33).
- FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA y GARCÍA, A.; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M. da G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.6, p.769-773, 2002.
- FAVARIN, J.L.; VILLA NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L.R.; DOURADO-NETO, D.; BERNARDES, M.S. Estimativa do consumo hídrico do cafeeiro em função de parâmetros climatológicos. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.9, n.2, p.235-240, 2002.
- FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; SANTO, J.E.; AMARAL, R. Comportamento vegetativo-produtivo do cafeeiro Catuaí cultivado no oeste baiano sob irrigação por pivô central. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1., 1998, Araguari. Anais... Uberlândia: UFU/DEAGO, 1998. p.40-44.
- GUTIERREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. Journal of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, v.119, n.3, p.653-657, 1994.

- JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOSLOWSKI, T.T. (Ed.). *Water deficits and plant growth*. 2.ed. New York: Academic Press, 1969. v.2, p.1-22.
- MANTOVANI, E.C. A irrigação do cafeeiro. In: *Irrigação & tecnologia moderna*. Brasília: ABID, 2000. v.48, p.45-49.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. In: *Irrigação & tecnologia moderna*. Brasília: ABID, 2000. v.48, p.34-41.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. *Irrigação na cultura do café*. Campinas: Arbore, 1996. 146p.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage*, New York, v.118, p.977-980. 1992.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R; ANGELOCCI, L.R; SENTELHAS, P.C. Proposição de métodos para determinação da evapotranspiração e controle de irrigação em cafezais: II. Estimativa da evapotranspiração com o Tanque Classe A. In: SANTOS et al. (Eds.). *IRRIGAÇÃO DA CAFEICULTURA NO CERRADO*, 6., 2000. Anais... Uberlândia: ICIAG/Universidade Federal de Uberlândia/Associação dos cafeicultores de Araguari, 2001. p.145-147.
- WRIGHT, L. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of the Irrigation and Drainage*, New York, v.108, p.57-75, 1982.