

ESTIMATIVA PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN DO CONSUMO HÍDRICO DE CAFEIROS var. OBATÃ EM PLANTIO ADENSADO E ORIENTADO¹

C.A. VOLPE², A.R. CUNHA³

¹ Parte integrante de Pós-doutoramento pela FAPESP (processo n° 05/59535-4)

² Prof. Adjunto Depto. de Ciências Exatas, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: cavolpe@fcav.unesp.br

³ Eng. Agr. Dr. Pós-Doutorando pela FAPESP, Depto. de Ciências Exatas, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: arcunha@fca.unesp.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju - SE

RESUMO: Estimou-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) de cafeeiros var. Obatã (*Coffea arabica* L.) plantados no espaçamento de 3,5 x 0,5 m e em três orientações de linhas de plantio em função do azimute do sol às 9 horas da manhã dos dias 15/janeiro (vegetação plena), 15/maio (indução floral) e 15/setembro (florescimento). Selecionaram-se seis dias sem restrição de água (período chuvoso) dos meses de janeiro e fevereiro (pleno desenvolvimento vegetativo) para o cálculo da ET_c pelo método da razão de Bowen. Para esses mesmos dias, calculou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith (FAO-56). Através da razão ET_c/ET_o calculou-se o coeficiente de cultura para cada dia de avaliação. A ET_c da orientação 15/janeiro, que apresentava maior IAF no terço superior da cultura, foi superior a ET_c das orientações 15/maio e 15/setembro. O coeficiente de cultura (K_c) apresentou valores médios de 1,08 para a orientação 15/janeiro, e 0,92 e 0,95 para as orientações 15/maio e 15/setembro, respectivamente. Esses valores estão próximos de 1,10 recomendado pela FAO como coeficiente de cultura simples para a fase fenológica de pleno desenvolvimento vegetativo. A análise de regressão linear mostrou que na superfície gramada o saldo de radiação (R_n) foi cerca de 60% da radiação solar global (R_g), de 59% para a orientação 15/maio, e de 56% para as orientações 15/janeiro e 15/setembro.

PALAVRAS-CHAVE: coeficiente de cultura, evapotranspiração, *Coffea arabica* L.

ESTIMATING WATER CONSUMPTION OF COFFEE PLANTS IN HIGH DENSITY POPULATION AND ORIENTED ROWS USING BOWEN RATIO METHOD

ABSTRACT: The crop evapotranspiration (ET_c) of coffee plants var. Obatã (*Coffea arabica* L.) in the spacing of 3.5 x 0.5 m and in three orientations of rows in function of the azimuth of the sun at the 9 AM of the January 15 (full vegetation), May 15 (flower induction) and September 15 (flowering) were evaluated. Six days were selected without hydric restriction (rainy period) of the months of January and February (full vegetative development) for the determination of the ET_c for Bowen ratio method. For those same days, the reference evapotranspiration (ET_o) was calculated for Penman-Monteith method (FAO-56). Through the ET_c/ET_o, the crop coefficient was calculated for every day of evaluation. The ET_c of the orientation January 15, that it presented larger LAI in the apical third of the plants, was larger than ET_c of the orientations May 15 and September 15. The medium crop coefficient (K_c) was 1.08 for the orientation January 15 and 0.92 and 0.95 for the orientations May 15 and September 15, respectively. Those values are close to 1.10 recommended by FAO as single crop coefficient for the phenology phase of full vegetative development. The analysis of linear regression showed that in the grass surface the radiation balance (R_n) it was about 60% of the global solar radiation (R_g), 59% for the orientation May 15, and 56% for the orientations January 15 and September 15.

KEYWORDS: crop coefficient, evapotranspiration, *Coffea arabica* L.

INTRODUÇÃO

O método do balanço de energia tem sido utilizado para a determinação da evapotranspiração de culturas, ou seja, culturas em bom estado nutricional e fitossanitário e sem restrição de água (TEIXEIRA et al., 2002). A razão de Bowen (β) é uma técnica baseada na equação do balanço de energia, e é a razão entre os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) da superfície da cultura. Esse método assume que os coeficientes de transferência de calor e de vapor d'água na camada limite acima da cultura são iguais. São necessárias medidas do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo, e medidas de perfis de temperaturas seca e úmida (MONTEITH & UNSWORTH, 1990; JONES, 1994; PEREIRA et al., 1997).

A estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser feita conhecendo-se o coeficiente de cultura (Kc), dependente do estágio de desenvolvimento. O Kc é a razão entre a ETc e a evapotranspiração de referência (ETo). A ETo pode ser determinada pela equação de Penman-Monteith. O método de Penman-Monteith para a estimativa do LE é classificado como método combinado, pois combinam os efeitos do balanço de energia com os efeitos aerodinâmicos, e para a sua aplicação são necessários dados de resistência aerodinâmica e da superfície (cultura), além de dados de elementos meteorológicos que atuam na evapotranspiração. A equação de Penman-Monteith (FAO-56) estima a ETo que é a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, sem restrição de água. A superfície de referência é a superfície com grama, com altura de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência da superfície de 70 s m^{-1} (ALLEN et al., 1998).

A cafeicultura tem-se expandido em direção a áreas que apresentam deficiências hídricas sazonais, necessitando de irrigação para se conseguir alta produtividade e bebida de qualidade. Por outro lado, em terrenos com declividade menor que 4%, procura-se otimizar o aproveitamento da radiação solar com a instalação de cafezais com linhas de plantas orientadas (SANTINATO et al., 2001; FAVARIN et al., 2001).

O presente trabalho teve por objetivos: a) determinar a evapotranspiração da cultura de cafeeiros (var. Obatã) no período de desenvolvimento vegetativo, em plantio adensado e orientado, pelo método da razão de Bowen; e b) determinar o coeficiente de cultura, ou seja, a razão entre a ETc e a ETo estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO-56).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está sendo conduzido no campo experimental da Área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP (latitude: $21^{\circ} 14' 05''$ S; longitude: $48^{\circ} 17' 09''$ W; e altitude: 615,01 m).

A cultura do cafeeiro var. Obatã IAC 1669-20 (*Coffea arabica* L.) foi plantada em julho de 2001 com espaçamento de 3,5 x 0,5 m. Entre as linhas de plantas a superfície do solo é mantida com vegetação de porte baixo (roçadeira). Foram instalados talhões em três orientações das linhas de café baseadas no azimute do sol às 9 horas da manhã dos dias 15/maio (indução floral), 15/set (florescimento) e 15/jan (vegetação plena), obtendo-se valores de azimute de 51° , 66° e 81° , respectivamente. Essas fases fenológicas foram definidas segundo CAMARGO & CAMARGO (2001).

Para a determinação da evapotranspiração da cultura foram realizadas medidas de saldo de radiação (Rn), de fluxo de calor no solo (G), e gradientes de temperaturas seca e úmida entre dois níveis com psicrômetros aspirados, confeccionados segundo MARIN et al. (2001). Essas medidas nas culturas foram coletadas a cada 10 minutos por datalogger da Campbell Scientific. Com isso, foi possível através da equação simplificada do balanço de energia, calcular os fluxos de calor latente de evaporação (LE) e de calor sensível (H), empregando-se a razão de Bowen segundo WEBB (1965) e PEREIRA et al. (1997).

O fluxo de calor latente transformado em milímetros de evaporação equivalente foi considerado como sendo a evapotranspiração da cultura (ETc), porque no período analisado (05/01 a 08/02/2007) não houve restrição de água para as plantas, pois a precipitação pluviométrica no período totalizou 452,2 mm distribuídos em 27 dias. Por outro lado, essa situação propicia maior acurácia do método da razão de Bowen, pois em condições muito secas, quando ocorre considerável advecção, a exatidão do método diminui (ANGUS & WATTS, 1984). Dentro do período analisado (pleno desenvolvimento vegetativo) foram selecionados seis dias para as avaliações da ETc e ETo, quando as plantas de cafeeiro estavam com aproximadamente 2 m de altura.

Para o cálculo da ETo pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) foram utilizados dados meteorológicos medidos em estação meteorológica automática instalada em superfície gramada junto a área experimental, com sensores para saldo de radiação, radiação solar global, fluxo de calor no solo, temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Através da razão ETc/ETo, calcularam-se os coeficientes de cultura (Kc) nos dias das avaliações, que corresponde ao período de desenvolvimento vegetativo pleno da cultura.

Foram também obtidos os IAFs do terço superior das três coberturas de cafeeiro através das medidas lineares de todas as folhas contidas num delimitador de área.

Como os dados de radiação solar global estão, geralmente, mais disponíveis que os dados de saldo de radiação, foram obtidas também equações de regressão linear entre o saldo de radiação nas quatro superfícies e a radiação solar global.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na orientação 15/jan a ETc variou de 2,5 a 6,2 mm d⁻¹, com valor médio de 4,1 mm d⁻¹; na orientação 15/mai a variação foi de 2,7 a 5,2 mm d⁻¹, com valor médio de 3,5 mm d⁻¹, e na orientação 15/set a variação foi de 2,5 a 4,9 mm d⁻¹, com valor médio de 3,6 mm d⁻¹. Praticamente, não houve diferença nos valores de ETc entre as culturas instaladas nas orientações de 15/mai e 15/set. Porém, a cultura instalada em 15/jan apresentou maiores valores de ETc devido, principalmente, ao maior desenvolvimento vegetativo, pois na época das avaliações o IAF no terço superior da cultura, abaixo do saldo radiômetro, era de, aproximadamente 6,5 para a orientação 15/jan e de, aproximadamente 5,0 para as orientações 15/mai e 15/set. Nos seis dias de avaliação, o valor médio da ETo foi de 3,8 mm d⁻¹, variando de 3,1 a 5,1 mm d⁻¹ (Tabela 1).

Observou-se, também pela Tabela 1, que o Kc variou de 0,81 a 1,29, com o valor médio de 1,08, para a orientação 15/jan, de 0,77 a 1,08, com valor médio de 0,92, para a orientação 15/mai, e de 0,81 a 1,09, com valor médio de 0,95, para a orientação 15/set. Evidentemente, os maiores valores encontrados para 15/jan devem-se aos maiores valores de evapotranspiração da cultura, conforme já foi relatado. Considerando-se as duas coberturas com menores IAFs, o valor médio do Kc foi de 0,94, enquanto que para a de maior IAF foi 1,08.

Os valores médios de Kc estão próximos de 1,10 recomendado pela FAO para o Kc simples, e de 1,05 para o coeficiente basal (Kcb) (ALLEN et al., 1998). Considerando-se que nos dias das avaliações a superfície do solo não estava seca, o valor encontrado refere-se mais ao Kc simples que ao Kcb, pois este é determinado quando a superfície do solo está seca, mas a transpiração ocorre em taxa potencial, porque a água na zona das raízes não limita a transpiração.

A Figura 1A apresenta a análise de regressão linear entre o saldo de radiação sobre superfície gramada e a radiação solar global, enquanto que as Figuras 1B, 1C e 1D apresentam essa regressão linear para Rn sobre a superfície da cultura do café nas orientações de 15/jan, 15/mai e 15/set, respectivamente. Para as quatro superfícies, observou-se boa correlação entre

o saldo de radiação e a radiação solar global. O R^2 variou de 0,82 para as orientações 15/set e 15/mai a 0,92, para a grama. De acordo com as equações obtidas, para a superfície da cultura do café, o R_n foi equivalente a aproximadamente 56% da radiação solar global para a orientação 15/jan e 15/set, e de 59% para a orientação 15/mai, enquanto que para a superfície gramada foi de aproximadamente 60%.

Embora sejam altos os valores de R^2 , o uso dessas equações para a estimativa de R_n em função de R_g somente seria recomendável quando no cálculo da E_{To} fosse conhecido o efeito da substituição do R_n medido pelo R_n estimado (GÁVILAN et al., 2006).

Tabela 1. Evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) de cafeeiros var. Obatã, em 3 orientações de linhas plantio (15/jan, 15/mai e 15/set), pelo método da razão de Bowen, evapotranspiração de referência por Penman-Monteith (E_{To}), e coeficiente de cultura (K_c).

Data	15/jan			15/mai			15/set		
	E_{Tc} (mm dia ⁻¹)	E_{To} (mm dia ⁻¹)	K_c	E_{Tc} (mm dia ⁻¹)	E_{To} (mm dia ⁻¹)	K_c	E_{Tc} (mm dia ⁻¹)	E_{To} (mm dia ⁻¹)	K_c
09/01/07	6,2	4,8	1,29	5,2	4,8	1,08	4,4	4,8	0,92
10/01/07	3,4	3,2	1,06	3,4	3,2	1,06	3,3	3,2	1,03
17/01/07	3,8	3,5	1,09	2,7	3,5	0,77	2,9	3,5	0,83
25/01/07	2,5	3,1	0,81	2,7	3,1	0,87	2,5	3,1	0,81
07/02/07	3,3	3,3	1,00	2,9	3,3	0,88	3,6	3,3	1,09
08/02/07	5,3	5,1	1,04	4,2	5,1	0,82	4,9	5,1	0,96
Média	4,1	3,8	1,08	3,5	3,8	0,92	3,6	3,8	0,95

CONCLUSÕES

A E_{Tc} e, conseqüentemente, o K_c , no período de pleno desenvolvimento vegetativo de cafeeiros em plantio adensado e com linhas orientadas em função do azimute do sol às 9 horas da manhã do dia 15/jan superaram em cerca de 15% a E_{Tc} e o K_c das orientações dos dias 15/mai e 15/set. Nas três superfícies dos cafeeiros e na superfície da grama é boa a correlação entre o R_n e a R_g .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage, n.56)
- ANGUS, D.E., WATTS, P.J. Evapotranspiration: how good is the Bowen ratio method ? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.8, p. 133-150, 1984.
- CAMARGO, A.P. de, CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.
- FAVARIN, J.L. et al. Estimativa do consumo hídrico do cafeeiro em função de parâmetros climatológicos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v.9, n.2, p.235-240, 2001.
- GÁVILAN, P. et al. Measurement vs. Estimating net radiation: impact on Penman-Monteith reference evapotranspiration estimates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPERIENCES WITH AUTOMATIC WEATHER STATION, 4. 2006, Lisboa. **CD-ROM...** 2006.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate**: a quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press, Cambridge, 1992, 428p.
- MARIN, F.R. et al. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.839-844, 2001.
- MONTEITH, J.L., UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. Ed Edward Arnold, Londres, 1990, 291p.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 187p.

SANTINATO, R. et al. Efeitos do direcionamento Norte-Sul (NS), Leste-Oeste (LO), Nordeste-Sudeste (NO-SL) e Noroeste-Sudoeste (NL-SO) das linhas de plantio do cafeeiro nos altiplanos do cerrado com altitudes superiores a 900m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 27. 2001, Lavras, **Anais...**, 2001.

TEIXEIRA, A.H.C. et al. Consumo hídrico da bananeira no Vale São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v.10, n.1, p.45-50, 2002.

WEBB, E.K. Aerial microclimate. **Meteorological Monographs**, Boston, v.6, n.28, p. 27-58, 1965.

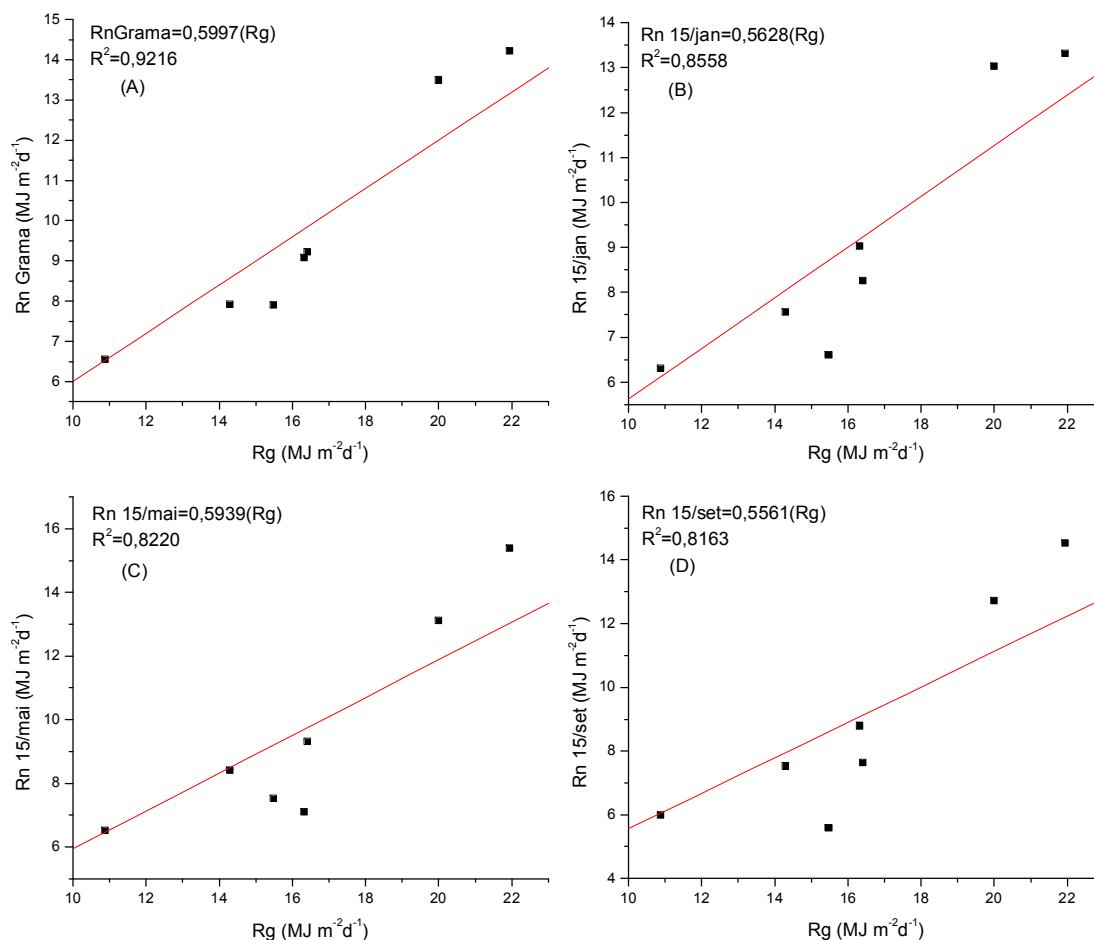


Figura 1. Regressão linear entre radiação solar global (Rg) e saldo de radiação (Rn) medido sobre superfície com grama (A), e superfícies de cafeeiros para as orientações de linhas de plantio referentes aos dias 15/jan (B), 15/mai (C) e 15/set (D).