

## DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM FEIJOEIRO.

### III. EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA E RELAÇÕES COM A EVAPOTRANSPIRAÇÃO CALCULADA PELO MÉTODO DE PENMAN E COM A EVAPORAÇÃO DO TANQUE "CLASSE A"<sup>1</sup>

HOMERO BERGAMASCHI<sup>2</sup>, HAMILTON J. VIEIRA<sup>3</sup>,  
PAULO L. LIBARDI, JOSÉ C. OMETTO e LUIZ R. ANGELOCCI<sup>4</sup>

RESUMO - Em experimento de campo conduzido em Piracicaba, SP, com latitude de 22°43'30" sul e altitude de 576 m, foram determinadas a evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) ao longo do ciclo do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e as suas relações com a evapotranspiração calculada pelo método Penman ( $Kc_1 = ET_m/ET_o$ ) e com a evapotranspiração de tanque "classe A" não corrigida ( $Kc_2 = ET_m/E_o$ ). A cultivar Aroana 80, de hábito de crescimento indeterminado arbustivo, tipo II segundo a classificação do CIAT, foi semeada em 7.7, 22.7 e 4.8.83. Em subparcelas de 30 m x 20 m, foi determinada a evapotranspiração da cultura pelo cálculo do balanço hídrico do solo, na condição de potencial da água acima de -0,05 MPa em todo o perfil do solo. A ET<sub>m</sub> média do feijoeiro foi de 3,8 mm.dia<sup>-1</sup>, ou seja, em torno de 360 mm, da semeadura à maturação fisiológica. Porém, a ET<sub>m</sub> variou de 2,4 mm.dia<sup>-1</sup> da semeadura à emergência a 5,0 mm.dia<sup>-1</sup> na floração. Os coeficientes K<sub>c1</sub> e K<sub>c2</sub> estiveram ao redor de 0,6 e 0,5, respectivamente, no início do ciclo, aumentaram para 1,4 e 1,1 durante a floração, e tenderam aos valores iniciais no final do enchimento de grãos. As médias por subperíodos dos coeficientes K<sub>c</sub> estiveram altamente correlacionadas com as médias do índice de área foliar (L). Modelos quadráticos, com constante negativa para o termo L<sup>2</sup>, tenderam a se ajustar melhor para explicar as variações dos K<sub>c</sub> em função do índice de área foliar.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, coeficiente de cultura.

### WATER DEFICIT IN COMMON BEANS. III. MAXIMUM CROP EVAPOTRANSPIRATION AND ITS RELATIONSHIP WITH EVAPOTRANSPIRATION BY THE PENMAN METHOD AND "CLASS A" PAN EVAPORATION

ABSTRACT - Maximum evapotranspiration (ET<sub>m</sub>) of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and its relationship with evapotranspiration calculated by the Penman method ( $Kc_1 = ET_m/ET_o$ ) and noncorrected "class A" pan evaporation ( $Kc_2 = ET_m/E_o$ ) were quantified in a field experiment conducted at Piracicaba, SP, 22°43'30" south latitude and 576 m altitude, in 1983. Common beans cv. Aroana 80, type II (CIAT classification) was sown in three planting dates: July 7, July 22 and August 4. Maximum crop evapotranspiration was calculated by the soil water balance method, in a split-plot design, in plots of 30 m x 20 m, with soil water potential over -0,05 MPa during all the crop cycle. Mean ET<sub>m</sub> of 3,8 mm.day<sup>-1</sup> and total ET<sub>m</sub> of around 360 mm occurred from sowing to physiological maturity. However, ET<sub>m</sub> increased from 2,4 mm.day<sup>-1</sup> at the sowing-emergence period to 5,0 mm.day<sup>-1</sup> during flowering. Early in the crop cycle, K<sub>c1</sub> and K<sub>c2</sub> coefficients were around 0,6 and 0,5, increased up to 1,4 and 1,1 by flowering, and decreased to the initial values by the end of the grain filling period. Mean K<sub>c</sub> coefficients of each subperiod were highly correlated with mean values of leaf area index (L). Quadratic mathematic models, with negative constant for the L<sup>2</sup> term, appeared to estimate better the K<sub>c</sub> variations in response to the L variations.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, crop coefficient.

### INTRODUÇÃO

A evapotranspiração máxima (evapotranspiração sob condições de ótima disponibilidade de água no solo), ao longo do ciclo de uma cultura, é parâmetro

de maior importância no sentido de melhor adequá-la ou manejá-la sob o ponto de vista hídrico. Entretanto, sabe-se que o consumo de água de uma espécie cultivada, mesmo submetida a suprimento adequado de umidade no solo, varia muito entre locais, anos e épocas de semeadura. Essas variações são decorrentes das características da própria cultura e, principalmente, da demanda evaporativa da atmosfera. A quantidade de energia solar interceptada e as condições do ar em contato com as plantas (temperatura, umidade e velocidade do vento) são os principais responsáveis pela variação da evapotranspiração máxima de uma cultura de um local para outro e de um período a outro (Monteny 1972, FAO 1975).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 10 de maio de 1988.

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, ESALQ/USP; nov./84.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., Dr., Fac. de Agron./Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FRGS), Caixa Postal 776, CEP 90001 Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária (EMPASC), Caixa Postal D-20, CEP 88000 Florianópolis, SC.

<sup>4</sup> Eng. - Agr., Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ)/USP, Caixa Postal 9, CEP 13400 Piracicaba, SP.

Para o caso do feijoeiro, a FAO (1975) relatou resultados experimentais segundo os quais a evapotranspiração total acumulada variou de 250 mm a 400 mm, em função de diferenças nas características da cultura e do meio. Giralt (1979) determinou, na Costa Rica, evapotranspiração total, no ciclo, de 360 mm a 371 mm, com média diária global de 3,27 mm a 3,47 mm, em três anos. Neste trabalho, os valores mais elevados de evapotranspiração ocorreram durante a floração e a frutificação, enquanto os menores corresponderam aos estádios iniciais e finais do ciclo. Também na Costa Rica, Vega & Cantu (1982) determinaram um total acumulado para a evapotranspiração do feijoeiro de 212 mm em um ciclo de 95 dias. Em Goiás, Silveira & Stone (1979) obtiveram consumo de água total de 220,5 mm. Também em Goiás, Steinmetz (1984) determinou um consumo de água total de 363,7 mm para o ciclo do feijoeiro, com médias diárias variando de 3,44 (para todo o período vegetativo) a 5,99 mm (durante a floração).

A utilização de coeficientes relacionando a evapotranspiração máxima das culturas com fórmulas ou parâmetros que possam expressar a demanda evaporativa da atmosfera permite a comparação e a reprodução dos resultados obtidos em determinado local e época para outros ambientes nos quais somente sejam disponíveis aqueles dados meteorológicos. A evapotranspiração calculada pelo método de Penman e a evaporação de tanque "classe A" são os parâmetros meteorológicos mais amplamente utilizados e citados na literatura.

Para o feijoeiro, na revisão da FAO (1975) são relatados coeficientes de 0,85 a 1,05, relacionando a evapotranspiração máxima com a evapotranspiração de referência baseada no tanque "classe A", da metade ao final do ciclo. Vega & Cantu (1982) determinaram, para intervalos sucessivos de 20 dias, coeficientes de 0,26, 0,45, 0,63, 0,70 e 0,60, para evaporação de tanque "classe A". No Brasil, Reichardt et al. (1974) obtiveram coeficientes variando de 0,5 da semeadura à emergência a 1,5 durante o máximo desenvolvimento da cultivar Carioca, para a evapotranspiração calculada pelo método de Penman, e de 0,5 a 1,4, respectivamente, para a evaporação de tanque "classe A" corrigida por um fator de 0,78. Para a cultivar Goiano Precoce, Encarnação (1980) determinou coeficientes variando de 0,7 da semeadura à emergência a 1,4 durante a floração, para a evapotranspiração calculada pelo método de Penman, e de 0,7 a 1,2 nos mesmos subperíodos, para a evaporação de tanque "classe A" corrigida. Silveira & Stone (1979) também relacionaram a evapotrans-

piração do feijoeiro com a evaporação do tanque "classe A", obtendo coeficientes de 0,62 da emergência à floração, 0,77 durante a floração, e 0,38 durante o desenvolvimento dos legumes. Steinmetz (1984) obteve coeficientes relacionando a ETm do feijoeiro com a evaporação do tanque "classe A" corrigida de 0,69 da emergência ao início da floração, 1,28 do início ao final da floração, e 1,04 do final da floração à maturação fisiológica.

Este trabalho teve como objetivo principal a determinação da evapotranspiração máxima ao longo do ciclo do feijoeiro, relacionando-a com a evaporação do tanque "classe A" não corrigida e com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP. O clima da região é Cwa pela classificação de Köppen, e o solo do local foi classificado como terra roxa estruturada, série Luiz de Queiróz.

Foi utilizada a cultivar de feijoeiro Aroana 80, de hábito de crescimento indeterminado arbustivo, do tipo II pela classificação do CIAT. A semeadura foi feita manualmente, em sulcos espaçados de 0,50 m, obtendo-se em torno de 200.000 plantas/ha ou 10 plantas por metro de fila.

O ensaio completo constou de duas parcelas de 60 m x 30 m, correspondentes a dois tratamentos de disponibilidade hídrica: (I) - irrigado sempre que o potencial da água no solo a 0,15 m de profundidade atingisse -0,05 MPa; (D) - com deficiência hídrica, sem nenhuma aplicação de água durante esta estagem de 17 dias, a partir de 25 de setembro. Para este trabalho, foram desprezados os resultados relativos ao tratamento D, após aplicada a deficiência hídrica.

Dentro de cada parcela, a cultura foi semeada em três subparcelas, correspondentes a três épocas de semeadura: 7.7; 22.7 e 4.8.83.

A fenologia da cultura foi observada diariamente e descrita segundo escala proposta por Centro Internacional de Agricultura Tropical (1984). Também diariamente, às 7 h da manhã foi medido o potencial da água no solo, em conjuntos de dez tensiômetros de mercúrio, instalados em profundidades de 0,15 m até 1,5 m. Por gravimetria, a umidade do solo foi medida semanalmente, até 0,75 m de profundidade. Também semanalmente foi determinado o índice de área foliar em cada tratamento, utilizando-se três repetições de 0,25 m<sup>2</sup> de área. As respectivas curvas, bem como a fenologia, foram apresentadas por Bergamaschi et al. (1988 a).

A evapotranspiração máxima ao longo do ciclo da cultura foi determinada pelo cálculo do balanço hídrico do solo, no campo, baseado na lei da conservação das massas, segundo método descrito por Libardi (1984). A partir de valores finitos, ou totais, em cada intervalo de tempo empregado, utilizou-se a fórmula integrada:

$$ET_m = P + I \pm R \pm D \pm \Delta A \text{ (mm)}$$

em que, em milímetros, ETm é evapotranspiração máxima; P é precipitação pluvial; I é irrigação; R é escoamento superfi-

cial; D é drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+) ao fundo do perfil Z;  $\Delta A$  é variação do armazenamento de água no solo.

Dada a pouca declividade do terreno, bem como as dificuldades de sua estimativa, o escoamento superficial não foi considerado no cálculo.

O cálculo do balanço hídrico foi feito por subparcela, utilizando um perfil de solo até a profundidade de 0,675 m. Os intervalos de tempo para cálculos foram variáveis, principalmente em função do regime pluviométrico, sendo de três a seis dias em períodos de pouca ou nenhuma precipitação, ou mais longos em períodos mais chuvosos. Os intervalos foram móveis, com superposição de extremos, quando possível, para a obtenção de um maior número de pontos determinados. Em períodos de intensas e freqüentes precipitações, eles tiveram que ser mais longos e, às vezes, desprezados alguns dias, para diluir as fontes de erros.

O termo precipitação pluvial foi obtido com dados diários observados em pluviômetro instalado próximo ao experimento. A irrigação foi medida através de recipientes funcionando como pluviômetros, instalados ao longo das subparcelas e, principalmente, junto aos tensiômetros.

O armazenamento da água no solo foi calculado a cada três dias, alterando a freqüência quando valores muito elevados dificultavam a precisão de sua estimativa. A partir de dados de tensiômetros, transformados em umidade em base volume, foi utilizada a fórmula:

$$A = \theta \cdot L \text{ (mm)}$$

em que A é armazenamento de água no solo de zero a L;  $\theta$  é umidade em base de volume média do perfil; L é distância vertical de  $z = 0$  a  $z = L$  (675 mm).

A drenagem profunda e a ascensão capilar foi estimada em nível diário, pela equação de Darcy, para a profundidade  $Z = 0,675$  m:

$$D = -K(\theta) \left. \frac{\partial \psi h}{\partial z} \right|_Z$$

em que D é drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+) em Z;  $K(\theta)$  é condutividade hidráulica do solo em Z, em função da umidade em base de volume ( $\theta$ );  $\left. \frac{\partial \psi h}{\partial z} \right|_Z$  é gradiente de potencial hidráulico em Z.

O gradiente de potencial hidráulico foi calculado em computador, a partir das leituras dos tensiômetros localizados às profundidades de 0,60 m e 0,75 m. A condutividade hidráulica do solo foi estimada com dados de umidade dos mesmos tensiômetros e aplicando a função obtida por Libardi (1978), no próprio local de experimento, em profundidade próxima a 0,675 m:

$$K(\theta) = 0,188 \cdot e^{272,590(\theta - 0,367)}$$

em que,  $K(\theta)$  é condutividade hidráulica do solo em Z, em função da umidade do solo;  $\theta$  é umidade em base de volume.

Para cada período de cálculo, após obtido o total de evapotranspiração máxima da cultura (ETm), foram utilizadas, para os mesmos dias, a evapotranspiração (ETo) calculada pelo método de Penman (1956) e a evaporação de tanque "Classe A" (Eo), e calculadas as razões ETm/ETo e

ETm/Eo. Desse modo, foram obtidas uma curva com a razão ETm/ETo e uma de ETm/Eo, ao longo do ciclo do feijoeiro. A partir da curva de ETm/ETo e com os valores diários de ETo, foi determinada a ETm para cada subperíodo e para todo o ciclo da cultura. Para o cálculo de ETo, foi empregado o saldo de radiação sobre a própria cultura do feijoeiro. Detalhes relativos à obtenção de ETo e Eo foram descritos por Bergamaschi et al. (1988 b).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração máxima (ETm) e as suas relações com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman ( $Kc_1 = ETm/ETo$ ) e com a evaporação de tanque "classe A" não corrigida ( $Kc_2 = ETm/Eo$ ) variaram acentuadamente ao longo do ciclo da cultura (Tabela 1 e Fig. 1 e 2). Tanto valores absolutos de ETm quanto os coeficientes Kc foram baixos no início do ciclo, aumentaram com o desenvolvimento das plantas e decresceram ao final do ciclo do feijoeiro.

A evapotranspiração máxima, média das três épocas de semeadura, foi de 2,4 mm.dia<sup>-1</sup> quando era constituída apenas pela evaporação do solo (semeadura à emergência), aumentou para 5,0 mm.dia<sup>-1</sup> durante a floração e diminuiu um pouco durante o enchimento de grãos (Tabela 1). Para todo o ciclo da cultura a ETm média foi de 3,8 mm.dia<sup>-1</sup>, o que corresponde a um total médio em torno de 360 mm. Muito embora seja esperada grande variação destes parâmetros absolutos, entre épocas e locais, em função das características da cultura e, principalmente, das condições do meio (FAO 1975), nota-se que estes resultados são muito aproximados à maioria das médias e totais de ETm encontrados na literatura (FAO 1975, Giralt 1979, Silveira & Stone 1979, Vega & Cantu 1982, Steinmetz 1984).

Os coeficientes  $Kc_1$  e  $Kc_2$  apresentaram médias em torno de 0,6 e 0,5, respectivamente, no início do ciclo, quando a evapotranspiração consistiu, essencialmente, em evaporação da água na superfície do solo e a transpiração não ocorria (até a emergência das plântulas) ou foi muito baixa (logo após a emergência). Com o crescimento das plantas, os coeficientes aumentaram, atingindo máximos durante a floração, em torno de 1,4 para  $Kc_1$  e de 1,1 para  $Kc_2$ . Ao final do período de enchimento de grãos, ambos os coeficientes decresceram acentuadamente, tendendo aos valores do início do ciclo (Tabela 1 e Fig. 1 e 2).

As tendências observadas nas variações dos coeficientes  $Kc_1$  e  $Kc_2$  estão de acordo com as descrições de Chang (1974) e FAO (1975). Os coeficientes

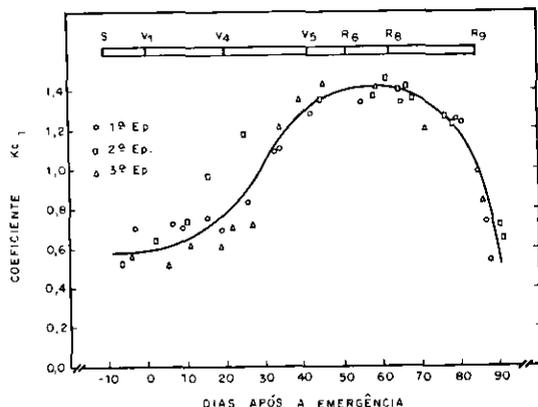


FIG. 1. Relação entre a evapotranspiração máxima do feijoeiro e a evapotranspiração calculada pelo método de Penman (coeficiente  $Kc_1$ ), em três épocas de semeadura, em função dos estádios de desenvolvimento: S - semeadura;  $V_1$  - emergência;  $V_4$  - 3ª folha trifoliolada;  $V_5$  - pré-floração (botões florais);  $R_6$  - início da floração;  $R_8$  - início de enchimento de legumes;  $R_9$  - maturação fisiológica. Piracicaba, 1983.

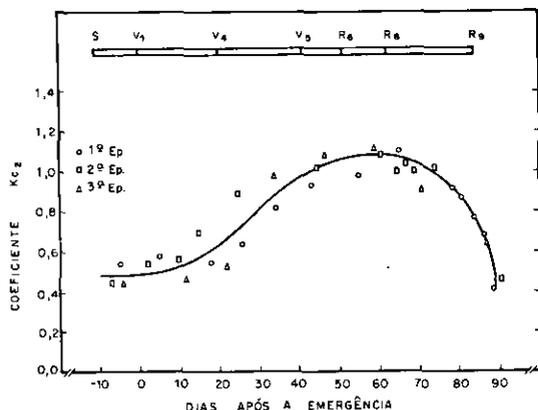


FIG. 2. Relação entre a evapotranspiração máxima do feijoeiro e a evaporação de tanque "classe A" não corrigida (coeficiente  $Kc_2$ ), em três épocas de semeadura, em função dos estádios de desenvolvimento: S - semeadura;  $V_1$  - emergência;  $V_4$  - 3ª folha trifoliolada;  $V_5$  - pré-floração (botões florais);  $R_6$  - início da floração;  $R_8$  - início de enchimento de legumes;  $R_9$  - maturação fisiológica. Piracicaba, 1983.

encontrados neste trabalho (Tabela 1), com máximos ultrapassando a unidade, são superiores aos citados por Silveira & Stone (1979) e Vega & Cantu (1982), e estão no limite superior aos da FAO (1975); entretanto, são semelhantes a outros determinados no Brasil com feijoeiro (Reichardt et al. 1974, Encarnação 1980 e Steinmetz 1984) e coerentes com coeficientes encontrados para outras culturas, como milho (Matzenauer et al. 1981) e soja (Berlato et al. 1986), todos superiores aos recomendados pela FAO (1975).

Pela Tabela 1, e confrontando a Fig. 3 com as Fig. 1 e 2, verifica-se que as variações dos coeficientes  $Kc$  acompanharam as variações do índice de área foliar, em valores médios. Pela Tabela 2, pode-se observar que ambos os coeficientes  $Kc$  esti-

TABELA 1. Evapotranspiração máxima (ETm) do feijoeiro; relações com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman ( $Kc_1 = ETm/ET_0$ ) e com a evaporação do tanque "classe A" não corrigida ( $Kc_2 = ETm/E_0$ ) e índices de área foliar (L), em diferentes subperíodos, na média de três épocas de semeadura. Piracicaba, 1983.

Subperíodo <sup>1</sup>	Duração (dias)	ETm (mm.dia <sup>-1</sup> )	$Kc_1$	$Kc_2$	L
S - $V_1$	11	2,4	0,58	0,48	0,00
$V_1$ - $V_4$	20	2,6	0,68	0,56	0,10
$V_4$ - $V_5$	21	3,8	0,94	0,77	0,65
$R_5$ - $R_6$	10	4,5	1,26	1,02	1,50
$R_6$ - $R_8$	11	5,0	1,41	1,07	2,05
$R_8$ - $R_9$	22	4,8	1,22	0,92	1,38
S - $R_9$	95	3,8	1,00	0,79	

<sup>1</sup> S - Semeadura;  $V_1$  - Emergência;  $V_4$  - 3ª folha trifoliolada;  $V_5$  - Pré-floração (início de botões florais);  $R_6$  - Início de floração;  $R_8$  - Início de enchimento de grãos;  $R_9$  - Maturação fisiológica (CIAT 1983).

veram altamente correlacionados com o índice de área foliar (L). Um modelo quadrático se ajustou de forma significativa para explicar as variações de  $Kc_1$ , em função de L. Para o caso de  $Kc_2$ , houve tendência quadrática, mesmo sem significância estatística, a julgar pelo elevado coeficiente de determinação da função. A tendência dos modelos obtidos, com a constante negativa para o termo quadrático, demonstra que a evapotranspiração da cultura oscilou em função das variações do índice de área foliar, porém buscando um nível de estabilização a partir de determinado limite, o que seria biologicamente esperado.

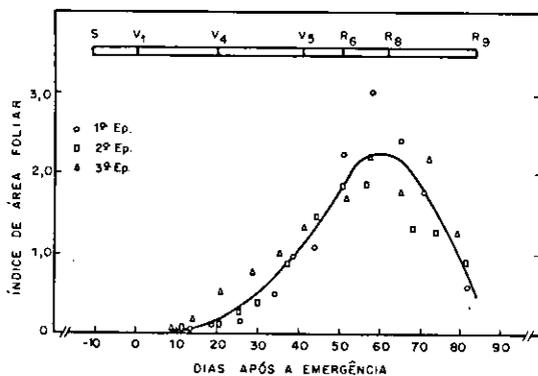
**TABELA 2.** Análise de regressão simples, linear e quadrática, das relações da evapotranspiração máxima (ETm) no feijoeiro com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman ( $Kc_1 = ETm/ET_0$ ) e com a evaporação de tanque "classe A" não corrigida ( $Kc_2 = ETm/E_0$ ), em função do índice de área foliar (L), em diferentes subperíodos; médias de três épocas de semeadura. Piracicaba, 1983.

Equação de regressão	Fonte de variação	F <sup>1</sup>	r <sup>2</sup>	Número pares	Erro padrão das constantes		
					a	b	c
$Kc_1 = 0,633 + 0,404 L$	L	254,23**	0,9845	6	0,031	0,025	
$Kc_2 = 0,530 + 0,289 L$	L	101,51**	0,9621	6	0,035	0,029	
$Kc_1 = 0,601 + 0,574 L - 0,088 L^2$	L	1663,32**					
	L <sup>2</sup>	23,17*	0,9982	6	0,014	0,037	0,018
$Kc_2 = 0,498 + 0,458 L - 0,088 L^2$	L	235,01**					
	L <sup>2</sup>	6,26 NS	0,9877	6	0,026	0,070	0,035

<sup>1</sup> \*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade;

NS - não-significativo ao nível de 5% de probabilidade.



**FIG. 3.** Índice de área foliar do feijoeiro, cultivar Aroana 80, em três épocas de semeadura, em função dos estádios de desenvolvimento: S - semeadura; V<sub>1</sub> - emergência; V<sub>4</sub> - 3ª folha trifoliolada; V<sub>5</sub> - pré-floração (botões florais); R<sub>6</sub> - início da floração; R<sub>8</sub> - início de enchimento de legumes; R<sub>9</sub> - maturação fisiológica. Piracicaba, 1983.

### CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração máxima (ETm) média do ciclo do feijoeiro foi de 3,8 mm.dia<sup>-1</sup>, totalizando em torno de 360 mm, da semeadura à maturação fisiológica. A ETm variou de 2,4 mm.dia<sup>-1</sup>, da semeadura à emergência a 5,0 mm.dia<sup>-1</sup>, durante a floração.

2. Os coeficientes relacionando ETm com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman ( $Kc_1$ ) e com a evaporação do tanque "classe A" não

corrigida ( $Kc_2$ ) foram, respectivamente, próximos a 0,6 e 0,5 no início do ciclo, aumentaram para 1,4 e 1,1 durante a floração, e tenderam aos valores iniciais no final do enchimento de grãos.

3. As médias por subperíodos dos coeficientes Kc estiveram altamente correlacionadas com as médias do índice de área foliar (L): modelos quadráticos com constante negativa para L<sup>2</sup> tenderam a se ajustar melhor para explicar as variações dos coeficientes Kc em função do índice de área foliar.

### REFERÊNCIAS

- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 23(7):733-43, 1988a.
- BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. II. Balanço de energia. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 23(7):745-57, 1988b.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R. & BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relação com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. *Agron. sulriogr.*, 22(2):251-9, 1986.
- CHANG, J.H. *Climate and agriculture, an ecological survey*. 3. ed. Chicago, Aldine Publishing Co, 1974. 304p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, Cali, Colômbia. Una escala de desarrollo para el frijol propone el CIAT. *Hojas de Frijol*, Cali, Colombia, 5(2): 1-2, jul. 1983.

- ENCARNAÇÃO, C.R.F. da. **Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Goiano Precoce**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1980. 62p. Dissertação Mestrado.
- FAO, Roma, Itália. **Crop water requirements**. Rome, 1975. 178p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24)
- GIRALT, P.E. Régimen de riego del cultivo del frijol negro (*Phaseolus vulgaris*). **Cienc. tec. Agric. Serie Riego y Drenaje**, 2(1):5-28, 1979.
- LIBARDI, P.L. **Condutividade hidráulica do solo em condições de campo**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1978. 113p. Tese Doutorado.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera**. Piracicaba, CENA/USP. 1984. 232p.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H.; SUTILLI, V.R. Evapotranspiração do milho (*Zea mays* L.) e sua relação com a evaporação do tanque "Classe A". **Agron. sulriogr.**, 17(2):273-95, 1981.
- MONTENY, B.A. Evapotranspiration of different crops in a mediterranean semi-arid region. **Agric. Meteorol.**, 10(1-2):19-38, 1972.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Neth. J. Agric. Sci.**, 4:9-29, 1956.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SANTOS, J.M. dos. **An analysis of soil-water movement in the field. II. Water balance in a snap bean crop**. Piracicaba, CENA/USP. 1974. 19p. (Boletim Científico, BC-022)
- SILVEIRA, P.M. da & STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijão em latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesq. agropec. bras.**, 14(2): 111-5, 1979.
- STEINMETZ, S. Evapotranspiração máxima no cultivo do feijão de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, Campinas - SP, 1983. **Anais** . . . Campinas, Soc. Bras. de Agrometeorologia/Inst. Agron., 1984. p.273-81.
- VEGA, J.D. & CANTU, F. Análisis de la relación clima agua de algunos cultivos como apoyo a la calendarización y cuantificación del agua de riego. **Turrialba**, 32(2):155-9, 1982.