

# USO DA ÁGUA, CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO RELACIONADOS A GRAUS-DIA <sup>1</sup>.

*Gerson Araujo de Medeiros<sup>2</sup>; Luiz Antonio Daniel<sup>3</sup> & José Ricardo Freitas Lucarelli<sup>4</sup>*

**RESUMO** Graus-dia acumulados ( $\Sigma G$ ) têm sido utilizados para a previsão do desenvolvimento e crescimento de culturas, todavia, são escassos os estudos enfocando a relação do consumo de água das plantas e este índice termal. O objetivo desse estudo foi avaliar a relação do desenvolvimento, do crescimento e do uso da água do feijoeiro irrigado com  $\Sigma G$ , submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. Desenvolveu-se o experimento na Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, no período de setembro a dezembro de 1999, em parcelas submetidas aos seguintes sistemas de preparo do solo: escarificador (Esc), arado de disco (Ad) e rotavação (Er). A porcentagem de cobertura vegetal e o índice de área foliar mostraram uma relação altamente significativa com  $\Sigma G$ , distinta entre os tratamentos, porém não significativamente. Os tratamentos não alteraram os eventos fenológicos da cultura, quando correlacionados com  $\Sigma G$ . A evapotranspiração total (ET), determinada por balanço hídrico de campo, atingiu 336, 350 e 335 mm, enquanto a ET simulada a partir de relações envolvendo o coeficiente de cultura basal e  $\Sigma G$  alcançou 317, 310 e 305 mm para os tratamentos Esc, Ad e Er respectivamente, demonstrando a efetividade dessa abordagem para simulação do consumo de água do feijoeiro irrigado.

**ABSTRACT** Accumulated degree-days ( $\Sigma G$ ) has been used to forecast the development and growth of crops, however, there is a scarcity of works relating crop water consumption to this thermal index. The main goal of this research was to evaluate the relation among the phenology, the crop growth and the water use of the irrigated beans to  $\Sigma G$ , under different soil tillage systems. The experiment was conducted at Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, from September to December of 1999, in experimental plots under the following tillage systems: chiesel ploughing (Esc), disk ploughing (Ad) and revolving hoe (Er). Vegetative ground cover and leaf area index showed a highly significant relation with  $\Sigma G$ , different for each treatment but not significantly so. The treatments have not changed the phenological events of the crop, when related to  $\Sigma G$ . Total evapotranspiration (ET), determined from water balance on field conditions, reached 336, 350 and 335 mm, while simulated ET from basal crop coefficient and  $\Sigma G$  relations, attained 317, 310 e 305 mm to Esc, Ad and Er treatments, respectively, demonstrating the effectiveness of this approach to estimate water consumption by irrigated bean plants.

**Palavras-chave:** irrigação, recursos hídricos, evapotranspiração.

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor defendida junto à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP - em fevereiro de 2002.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutor, Professor do Centro Universitário Salesiano de São Paulo – UNISAL, Unidade de Americana. Rua Dom Bosco, 100, Bairro Santa Catarina, CEP 13466-327, Americana - SP. E-mail: gerson.medeiros@am.unisal.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Doutor, Diretor da FATEC Indaiatuba - Centro Paula Souza, Rua Dom Pedro I n. 65, CEP 13334-100, Indaiatuba, SP, Brasil. E-mail: daniel51@terra.com.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Cidade Universitária Zeferino Vaz s/n, CP 6011, CEP 13083-970, Campinas, SP, Brasil. E-mail: luca@agr.unicamp.br

## 1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro é uma cultura cujo crescimento e desenvolvimento são fortemente influenciados pelas condições mesológicas, destacando-se a temperatura. Essa forte relação tem levado à difusão da conceituação das unidades térmicas, expressas em graus-dia, para descrever e prever os eventos fenológicos e mesmo o comprimento do ciclo dessa e de diversas outras culturas, preferencialmente a outras abordagens, tais como o número de dias após a emergência ou sementeira. Segundo Mc Master e Wilhelm (1997), a forma mais utilizada para o cálculo diário de graus-dia é feita da seguinte forma:

$$G = \frac{(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})}{2} - T_{\text{base}}, \quad (1)$$

em que,  $T_{\text{máx}}$  é a temperatura máxima diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{\text{mín}}$  é a temperatura mínima diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{\text{base}}$  é a temperatura abaixo da qual as plantas não se desenvolvem.

Nessa conceituação, as plantas desenvolvem-se numa taxa linear à medida que se acumulam os graus-dia acima de uma temperatura base, ao passo que abaixo dessa temperatura o crescimento e o desenvolvimento da planta se processam de forma muito reduzida ou mesmo cessam. Para o feijoeiro, a escolha dessa temperatura base tem sido feita de diferentes formas, todavia, no presente estudo, utilizou-se  $10^{\circ}\text{C}$  para todas as fases de desenvolvimento da cultura, conforme indicado por outros autores (Mullins e Straw, 1999; Medeiros *et al.*, 2000; Tisot *et al.*, 2005).

Entre as aplicações da abordagem de graus-dia acumulados ( $\Sigma G$ ), para a cultura do feijoeiro, podem-se citar o planejamento de safra para garantir o abastecimento das indústrias (Jenni *et al.*, 2000), o planejamento da época de cultivo (Vieira *et al.*, 1998; Balasubramanian *et al.*, 2004) e sua utilização na forma de sub-rotinas de cálculos computacionais em modelos matemáticos de crescimento dessa espécie vegetal (Hoogenboom *et al.*, 1994; Gutierrez *et al.*, 1994). Outra aplicação, pouco explorada para essa cultura, refere-se à relação entre o coeficiente de cultura ( $k_c$ ) ou coeficiente de cultura basal ( $k_{cb}$ ), a graus-dia acumulados (Medeiros *et al.*, 2000). A partir da estimativa de  $k_{cb}$  é possível determinar o consumo de água da cultura diariamente pela seguinte relação:

$$ET = k_{cb} \cdot ET_0 \quad (2)$$

em que  $ET$  é a evapotranspiração ou consumo de água da cultura [mm];  $k_{cb}$  é o coeficiente de cultura basal [adimensional] (Wright, 1982) e  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência [mm]

Diferentes fatores podem influenciar as relações entre o somatório de graus-dia e o crescimento, desenvolvimento e o consumo de água do feijoeiro, como a própria variação da

temperatura (Massignam *et al.*, 1998), a quantidade de chuva ao longo do ciclo (Mullins e Straw, 1999), o manejo dos nutrientes (Tisot *et al.*, 2005), o manejo da planta (Medeiros *et al.*, 2000; Gutierrez *et al.*, 1994), o cultivar (Balasubramanian *et al.*, 2004; Barbano *et al.*, 2001; Wutke *et al.*, 2000; Massignam *et al.*, 1998; Vieira *et al.*, 1998), dentre outros.

A despeito de o manejo do solo ser um importante fator no crescimento do feijoeiro (Stone e Silveira, 1999) e, conseqüentemente, exercer influência nas relações da cultura com o índice graus-dia acumulados, pouca atenção tem sido dispensada ao assunto, haja vista a escassa literatura nacional e internacional com tal abordagem.

Ressalte-se que a determinação de relações envolvendo o crescimento e o consumo de água da cultura e abordagens que incorporam o efeito de fatores ambientais, como a temperatura, assume uma importância nos dias atuais, como forma de avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas, notadamente o aquecimento global, sobre a disponibilidade dos recursos hídricos.

Portanto, o presente estudo objetiva avaliar a relação do desenvolvimento, do crescimento e do uso da água do feijoeiro irrigado com o índice graus-dia acumulados, submetido a diferentes sistemas de preparo do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Local do experimento e seu histórico**

O trabalho foi desenvolvido na área de pesquisa em Conservação do Solo e Água da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas - SP, longitude 47° 05' W, latitude 22° 54' S e altitude média de 606 m.

O solo da área foi classificado como Latossolo roxo distrófico, textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (Oliveira e Rotta, 1979). Na atual classificação brasileira de solos corresponde ao Latossolo vermelho distroférico, segundo EMBRAPA (1999).

Em tal área, construíram-se, em 1986, oito talhões coletores de solo e água, cada qual com uma área útil de 600 m<sup>2</sup>, sendo 30 m de comprimento de rampa por uma soleira concentradora de 20 m de largura, localizados no terço médio de uma encosta com 9% de declive, orientação Norte-Sul e exposição Oeste (Daniel *et al.*, 1997).

Nos anos agrícolas de 1986/87, 1987/88, 1988/89 e 1989/90 foram feitas subsolagens a 0,50 m de profundidade, semeando-se crotalária, milho, soja e milho, respectivamente, em todas as parcelas. No período de 1990 a 1998, somente a cultura do milho foi semeada em sete dos oito talhões. Dentre esses tratamentos, três foram selecionados para esse estudo, cuja descrição é apresentada a seguir:

- a) sistema arado escarificador: realiza-se a operação com escarificador de cinco hastes flexíveis a 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem leve de destorroamento/nivelamento;
- b) sistema convencional com arado de disco: utiliza-se arado reversível de três discos de 26” com uma aração de incorporação a 0,20 m de profundidade. À época de semeadura, realiza-se uma segunda aração a 0,25 m de profundidade, seguida de duas gradagens leves para destorroamento e nivelamento;
- c) sistema enxada rotativa: o preparo do solo foi realizado com uma única operação de rotavação a 0,18 m de profundidade, com uma enxada rotativa de rotor fixo, cuja operação provoca a incorporação de inços, destorroamento e nivelamento.

## 2.2. Instalação e desenvolvimento do ensaio

No dia 27 de agosto, teve início o preparo do solo em toda a área experimental, sendo o plantio e a adubação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade IAC Carioca, realizados no dia 31 de agosto, com semeadora de precisão, obtendo-se uma população final de aproximadamente 25 plantas m<sup>-2</sup> após a emergência, a qual ocorreu no dia 7 de setembro em todos os tratamentos.

O florescimento ocorreu aos 39 dias após a emergência (DAE), a qual se deu no dia 16 de outubro, em todos os tratamentos avaliados.

Encerrou-se o ensaio aos 81 DAE, 27 de novembro de 1999, procedendo-se, então, ao início da colheita no tratamento de sistema de preparo do solo rotavação. A colheita nos demais tratamentos ocorreu aos 85 DAE (1º de dezembro de 1999).

## 2.3. Sistema e manejo de irrigação

Utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento para a cultura do feijoeiro por não sofrer redução de sua uniformidade devido à ação do vento e por eliminar a influência da interceptação de água pela cultura no balanço hídrico. Tal sistema foi composto pelo tubo gotejador Streamline SL 80, da Netafim®, com diâmetro interno de 0,0159 m, gotejadores espaçados em 0,3 m e vazão de 1,49 L h<sup>-1</sup> para uma pressão de serviço de 8,5 m. Instalou-se uma linha de tubo gotejador de 20 m por linha de cultura, perfazendo um total de 60 tubos gotejadores por parcela, espaçados de 0,50 m. O coeficiente de uniformidade de aplicação de água foi de 91% e a vazão média do gotejador, 1,06 L h<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma lâmina média de 7,1 mm h<sup>-1</sup>.

O manejo nas parcelas consistiu em irrigar de forma a impedir que a tensão de água no solo, controlada por tensiômetros, excedesse a um valor de 50 kPa a 0,15 m de profundidade, segundo recomendação de alguns autores para essa cultura no Estado de São Paulo (Pires *et al.*, 1991; Libardi e Saad, 1994). A quantidade aplicada elevou a umidade no perfil até a capacidade de

campo. A frente de molhamento foi monitorada por tensiômetros instalados nas seguintes profundidades: 0,15, 0,30 e 0,50 m. As leituras de tensão de água no solo foram efetuadas com tensímetro digital de punção, cujo funcionamento foi descrito por Marthaler *et al.* (1983).

#### 2.4. Balanço hídrico de campo

No balanço hídrico de campo estimou-se a evapotranspiração, para intervalos de tempo variando de 5 a 7 dias, por meio da seguinte relação (Reichardt e Timm, 2004):

$$P + I \pm D_s - Q_e - ET = \Delta A$$

(3)

em que, P é a precipitação [mm]; I a irrigação [mm]; D<sub>s</sub> a drenagem profunda [mm]; Q<sub>e</sub> o escoamento superficial [mm]; ET a evapotranspiração [mm]; ΔA a variação de armazenamento de água no solo [mm].

No cálculo de ET, nas condições de campo, o balanço hídrico foi realizado num volume de controle de 0,40 m de profundidade, já que vários autores encontraram mais de 90% das raízes do feijoeiro concentrando-se nessa camada (Pires *et al.*, 1991; Stone e Pereira, 1994; Wutke *et al.*, 2000, entre outros).

A variação do armazenamento de água no solo, até a profundidade de 0,50 m, foi determinada a partir dos perfis consecutivos de umidade, obtida entre duas irrigações, ao longo do ciclo do feijoeiro.

Determinou-se a umidade do solo por meio do método gravimétrico, com base em amostras de solo coletadas com trado em intervalos de profundidades de 0,1 m, desde a superfície até 0,50 m, com três repetições casualizadas por tratamento e a 0,1 m da linha de cultura.

O termo drenagem profunda foi determinado pela equação de Darcy (Reichardt e Timm, 2004), sendo a condutividade hidráulica do solo  $k(\theta)$  determinada pelas equações derivadas por Van Genuchten (1980), por meio de programa computacional desenvolvido por Dourado Neto *et al.* (1990). O manejo de água conservativo, com aplicação controlada, possibilitou o uso desse modelo para a estimativa da drenagem profunda. Além disso, foram escolhidos períodos nos quais as perdas de água por drenagem profunda e pelo escoamento superficial não fossem significativas, se comparadas às outras componentes desse balanço.

Em alguns períodos, como 4 a 9 DAE e 62 a 68 DAE, ocorreram chuvas que impossibilitaram uma estimativa acurada dos fluxos de água subterrânea. Neles, considerou-se a evapotranspiração como sendo igual à evapotranspiração de referência.

## 2.5. Levantamentos meteorológicos

Os elementos meteorológicos monitorados durante o ensaio (8 de setembro a 6 de dezembro de 1999) foram discriminados pelo posto meteorológico da FEAGRI, localizado a menos de 100 m de distância do local do experimento. Além da precipitação, levantaram-se os dados climáticos necessários para se calcular a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), numa base diária, adotando a grama como cultura de referência.

Utilizou-se a equação de Penman-Monteith modificada pela FAO (Allen *et al.*, 1998) para o cálculo da  $ET_0$  por ser o método recomendado pela FAO, por ter um embasamento físico, por incorporar parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos e devido ao desenvolvimento de procedimentos para estimar parâmetros climáticos não determinados (Allen *et al.*, 1998), apresentando a seguinte forma:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (4)$$

onde,  $ET_0$  é a evapotranspiração da cultura de referência [ $\text{mm dia}^{-1}$ ];  $R_n$  é a radiação líquida na superfície da cultura [ $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ];  $G$  é o fluxo de calor do solo [ $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ];  $T$  a temperatura média do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ];  $U_2$  a velocidade do vento medida a 2 m de altura [ $\text{m s}^{-1}$ ];  $(e_s - e_a)$  o déficit de pressão de vapor [ $\text{kPa}$ ];  $\Delta$  a declividade da curva de pressão de vapor [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ];  $\gamma$  a constante psicrométrica [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]; e 900 um fator de conversão.

## 2.6. Desenvolvimento e crescimento do feijoeiro

Diariamente, avaliou-se a evolução fenológica da cultura, seguindo o método preconizado por Fernández *et al.* (1985), considerando-se que houve mudança de estágio quando 50% das plantas da parcela evidenciaram a diferenciação estipulada.

Avaliou-se o crescimento da cultura, tomando-se medidas de planta relacionadas ao índice de área foliar (IAF) e à porcentagem de cobertura vegetal ( $C_V$ ), em uma frequência de amostragem semanal.

Para a determinação desses parâmetros de crescimento, foram tomadas amostras de 3 m de linha de planta por tratamento, subdividida em extensões de 0,5 m de rua, perfazendo um total de seis amostras para cada sistema de preparo do solo. A determinação do IAF foi realizada por meio da relação entre a área foliar, medida no aparelho Li-Cor<sup>®</sup> LI 3000, e a área ocupada pela cultura.

Utilizou-se o método da fotografia, descrito por Medeiros *et al.* (2000), para a determinação da  $C_V$  do feijoeiro, tomando-se seis fotografias por tratamento.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Condições climáticas durante o ensaio**

Durante o ensaio, a precipitação foi escassa, acumulando 203 mm. Em setembro, as chuvas totalizaram 75,6 mm, correspondendo a 37% da precipitação verificada em todo o ciclo, e ocorreram somente nos oito primeiros dias após a emergência da cultura, de 8 a 15 de setembro.

Em outubro, durante o qual transcorreu o florescimento e início da formação de vagens, a precipitação foi apenas de 29,4 mm, ou 14% do total verificado ao longo de todo o ciclo. Já em novembro, observou-se o maior volume de chuvas ao longo do ensaio, 98 mm, correspondendo a 48% do total. Contudo, 39,6 mm ou aproximadamente 20% do total precipitado, ocorreram nos últimos 10 dias do experimento, quando a cultura já se apresentava senescente.

A temperatura média no período do ensaio foi de 22,2 °C, sendo a média das temperaturas máximas de 28,3 °C e a média das mínimas de 16,2 °C. Para as condições normais de Campinas (1961 a 1990), no período de setembro a novembro, a temperatura média é de 22 °C, sendo a média das temperaturas máximas de 27,9 °C e a média das mínimas de 16,2 °C, de acordo com dados fornecidos pelo Centro de Ecofisiologia e Biofísica do IAC.

Em termos de umidade relativa, nos meses de setembro e outubro obtiveram-se valores médios de 56% e 64% respectivamente, enquanto os valores normais (1961 a 1990) são de 65,5% e 69,2%, respectivamente, para os mesmos meses citados.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), pelo método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), atingiu um valor final acumulado de 430 mm, durante todo o ensaio, equivalendo a um valor médio diário de 4,7 mm dia<sup>-1</sup>, todavia, esse parâmetro agroclimatológico chegou a atingir 5,9 mm dia<sup>-1</sup>, no período de 28 de outubro a 1º de novembro de 1999, ou 51 a 55 DAE.

Portanto, a época durante a qual transcorreu o ciclo do feijoeiro caracterizou-se por apresentar demandas evaporativas altas, déficit hídrico em todos os meses avaliados e má distribuição de chuvas. Tais condições climáticas não teriam permitido uma produção econômica dessa cultura, sem o emprego da irrigação.

#### **3.2. Manejo de irrigação**

Foram aplicadas nove irrigações ao longo do ciclo da cultura, acumulando um valor de 251, 258 e 232 mm para os sistemas de preparo do solo escarificador (Esc), convencional com arado de disco (Ad) e rotavação (Rot) respectivamente. Essa aplicação de água permitiu a obtenção dos

valores médios de tensão de água no solo de 17 kPa para o sistema de preparo do solo Esc e de 14 kPa para os tratamentos Ad e Rot, no período de 6 a 81 DAE (13 de setembro a 27 de novembro), na profundidade de 0,15 m.

Para os tratamentos Esc, Rot e Ad, as máximas tensões médias de água no solo, para um período de dois dias, atingiram 47 kPa, 40 kPa e 49 kPa respectivamente. As épocas de ocorrência desses valores foram nos períodos de 46 a 47 DAE (23 a 24 de outubro), 47 a 48 DAE (24 a 25 de outubro) e 40 a 41 DAE (17 a 18 de outubro) para os tratamentos Esc, Rot e Ad respectivamente.

A partir desses resultados, observa-se que a tensão média de água no solo, mesmo durante curtos períodos, esteve abaixo do valor de tensão adotado para o manejo da água para o feijoeiro (50 kPa) a 0,15 m, para todos os tratamentos.

Portanto, o manejo da água na cultura do feijoeiro, submetida aos diferentes sistemas de preparo do solo, proporcionou condições hídricas semelhantes a todos os tratamentos. Tal fato evidencia que as diferenças observadas no crescimento da cultura devem-se aos efeitos acumulados dos sistemas de preparo do solo no decorrer dos anos.

### **3.3. Crescimento do feijoeiro e sua relação com graus-dia**

A evolução da cobertura vegetal, ao longo de todo o ciclo, levou ao fechamento completo da cultura em momentos distintos. Para os tratamentos Esc e Ad, esse momento foi alcançado quando se acumularam 578 graus-dia, aos 41 DAE (18 de outubro). Já para a cultura semeada na parcela submetida ao sistema rotavação o fechamento foi mais tardio e ocorreu somente aos 47 DAE (24 de outubro), quando se acumularam 651 graus-dia. Esse resultado está mais próximo daquele obtido por Medeiros *et al.* (2000), o qual observou o fechamento da cultura, semeada sob uma densidade de plantio de 28 plantas m<sup>-2</sup>, quando se acumularam por volta de 650 graus-dia.

Após o fechamento da cultura, o enfolhamento do feijoeiro continuou a se expandir, de forma que o máximo IAF foi observado aos 51 DAE (28 de outubro), atingindo 4,5 e 3,6 para os tratamentos Esc e Er respectivamente, quando se acumularam 695 graus-dia.

Para a cultura semeada na parcela experimental correspondente ao sistema Ad, o máximo IAF atingiu 3,4, aos 58 DAE (4 de novembro), após se acumularem 793 graus-dia. Tal resultado está bem próximo ao obtido por Medeiros *et al.* (2000), para essa mesma variedade, os quais observaram que o máximo IAF foi atingido após acumularem-se 812 graus-dia. Apresenta-se, na Tabela 1, as relações obtidas entre os parâmetros de crescimento avaliados e o índice de graus-dia.

As curvas ajustadas aos dados observados permitem constatar o alto grau de significância das relações obtidas, concordando com as observações de Medeiros *et al.* (2000), os quais também encontraram relações polinomiais altamente significativas entre a cobertura vegetal e o índice de área foliar com graus-dia acumulados para a cultura do feijoeiro irrigado.

Tabela 1. Equações polinomiais ( $Y = \beta_0 + \beta_1X + \beta_2X^2 + \beta_3X^3$ ) relacionando os parâmetros de crescimento do feijoeiro com o tempo termal ( $\Sigma G$ ), para os sistemas de preparo do solo (SPS): escarificador (Esc), convencional com arado de disco (Ad) e rotavação (Er), em Campinas-SP, no ano de 1999.

SPS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	n	R <sup>2</sup>
Porcentagem de Cobertura Vegetal (%)						
Esc	109,5	-0,716	$1,92 \times 10^{-3}$	$-1,26 \times 10^{-6}$	11	0,97**
Rot	114,5	-0,803	$2,05 \times 10^{-3}$	$-1,31 \times 10^{-6}$	12	0,97**
Ad	116,2	-0,763	$1,99 \times 10^{-3}$	$-1,30 \times 10^{-6}$	11	0,97**
Todos	111,1	-0,745	$1,95 \times 10^{-3}$	$-1,27 \times 10^{-6}$	34	0,95**
Índice de Área Foliar						
Esc	-3,36	$1,19 \times 10^{-2}$	$4,84 \times 10^{-6}$	$-1,16 \times 10^{-8}$	9	0,91**
Rot	-2,30	$5,43 \times 10^{-2}$	$1,60 \times 10^{-5}$	$-1,78 \times 10^{-8}$	9	0,95**
Ad	-2,36	$7,25 \times 10^{-2}$	$1,04 \times 10^{-5}$	$-1,37 \times 10^{-8}$	9	0,96**
Todos	-3,00	$1,01 \times 10^{-2}$	$7,27 \times 10^{-6}$	$-1,28 \times 10^{-8}$	27	0,93**

Observa-se que as diferenças de desempenho do crescimento da cultura, discutidas nesse texto, não se refletiram nos parâmetros das equações apresentadas na Tabela 1, o que permitiu a obtenção de relações altamente significativas mesmo quando todos os tratamentos foram avaliados como um só conjunto de dados. Portanto, torna-se possível a utilização de somente uma equação para descrever a evolução de cada índice de crescimento avaliado com base no índice graus-dia acumulados para a cultura do feijoeiro, submetida a diferentes sistemas de preparo do solo.

Com relação ao desenvolvimento da cultura, ele foi independente do sistema de preparo do solo, permitindo a utilização de somente uma escala de tempo termal para a predição dos eventos fenológicos do feijoeiro, a qual é apresentada na Tabela 2.

Nesse aspecto, pode-se considerar que o comprimento total do ciclo do feijoeiro atingiu 1.114 graus-dia, apesar de o tratamento rotavação ter completado o seu ciclo mais precocemente quando se acumularam 1.100 graus-dia.

Na comparação desse resultado com aqueles obtidos por outros pesquisadores consideraram-se apenas trabalhos nos quais a temperatura base adotada foi de 10° C ao longo de todo o ciclo, como os relatados por Tisot *et al.* (2005); Medeiros *et al.* (2000) e Mullins e Straw (1999).

Nesses trabalhos citados, a soma térmica acumulada durante todo o ciclo da cultura foi variável em função da época de plantio, cultivar e densidade de semeadura. Todavia, foram encontrados valores acumulados cuja variação esteve entre 1.017 e 1.605 graus-dia.

Tabela 2. Tempo termal das fases fenológicas do feijoeiro, variedade IAC Carioca, conforme definido por Fernández *et al.* (1985), em Campinas-SP, no ano de 1999.

Fase fenológica	Graus-dia acumulados
V0: germinação	15
V1: emergência	102
V2: folhas primárias	145
V3: primeiro trifólio	176
V4: terceiro trifólio	271
R5: prefloração	431
R6: floração	504
R7: formação de vagens	616
R8: enchimento de vagens	695
R9: maturação	897
Colheita	1.114

Mullins e Straw (1999) avaliaram a influência da data de plantio do feijoeiro sobre a quantidade de graus-dia acumulados desde o plantio até a colheita. Os autores encontraram uma faixa de variação na soma térmica de 1.017 a 1.605 graus-dia.

Experimento realizado por Tisot *et al.* (2005), com a variedade IAC Carioca Tybatã, em Piracicaba-SP, apresentou como resultado um total de 1.158 graus-dia acumulados durante todo o ciclo da cultura, enquanto Medeiros *et al.* (2000) verificaram que o feijoeiro, variedade IAC Carioca, acumulou 1.170 graus-dia desde a emergência até a colheita, ambos os resultados próximos ao obtido no presente trabalho.

O florescimento, correspondendo ao estágio R6 (Fernández *et al.*, 1985), ocorreu quando se acumularam 504 graus-dia. Esse resultado foi muito próximo ao obtido por Medeiros *et al.* (2000), para essa mesma variedade sob condições irrigadas, quando se acumularam 532 graus-dia. Tisot *et al.* (2005), por sua vez, encontraram 666 graus-dia acumulados para essa mesma fase fenológica, todavia a variedade estudada apresentou um ciclo mais longo do que aquela avaliada no presente trabalho.

### 3.4. Balanço hídrico de campo

O início do balanço foi a partir de 6 DAE (13 de setembro) e se prolongou até 78 DAE (24 de novembro). Os baixos valores de precipitação ocorridos durante a maior parte do ensaio fizeram com que a principal contribuição de água para a planta fosse pela irrigação.

Os consumos totais de água observados nos tratamentos foram semelhantes, sendo de 336, 350 e 335 mm, respectivamente, para escarificador, convencional com arado de disco e enxada rotativa.

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam a variação do coeficiente de cultura do feijoeiro observado durante todo o ciclo da cultura e determinado com base nos resultados do balanço hídrico de campo. Além disso, simulou-se o coeficiente de cultura basal do feijoeiro pela seguinte equação, desenvolvida por Medeiros *et al.* (2001):

$$k_{cb} = 0,367 - 1,44 \times 10^{-2}(IAF) + 0,206(IAF)^2 - 4,29 \times 10^{-2}(IAF)^3 \quad (5)$$

em que,  $k_{cb}$  é o coeficiente de cultura basal (Wright, 1982); IAF é o índice de área foliar do feijoeiro [ $m^2 m^{-2}$ ].

O índice de área foliar foi estimado diariamente utilizando-se das relações apresentadas na Tabela 1 e desenvolvidas para os sistemas escarificador, arado de disco e enxada rotativa respectivamente, com base nos dados observados durante o ensaio. Nos dias em que ocorreram chuvas ou irrigações, o coeficiente de cultura basal foi adotado como sendo 1,1 e pelos valores simulados, calculou-se a evapotranspiração da cultura, para cada tratamento, pelas equações 2 e 4, durante todo o ciclo do feijoeiro.

Os totais simulados da evapotranspiração do feijoeiro durante todo o ciclo da cultura atingiram 317, 310 e 305 mm para os tratamentos Esc, Ad e Er respectivamente. Essa proximidade no consumo de água acumulado durante todo o ciclo da cultura, deve-se à semelhança no crescimento entre os três cultivos e possibilita o uso de uma curva de coeficiente de cultura única, desde que baseada no desenvolvimento da planta.

A diferença percentual entre a ET observada e aquela simulada para os tratamentos Esc, Ad e Er correspondeu a de 6,0, 11,3 e 9,1% respectivamente. Tais diferenças podem ser consideradas excelentes sob condições de campo na agricultura irrigada.

O maior consumo de água simulado para o tratamento escarificador, seguido do arado de disco e enxada rotativa, ocorreu porque o coeficiente de cultura é diretamente proporcional ao índice de área foliar pela equação 5, e, naquele sistema, o desenvolvimento da cultura foi ligeiramente superior ao dos demais tratamentos.

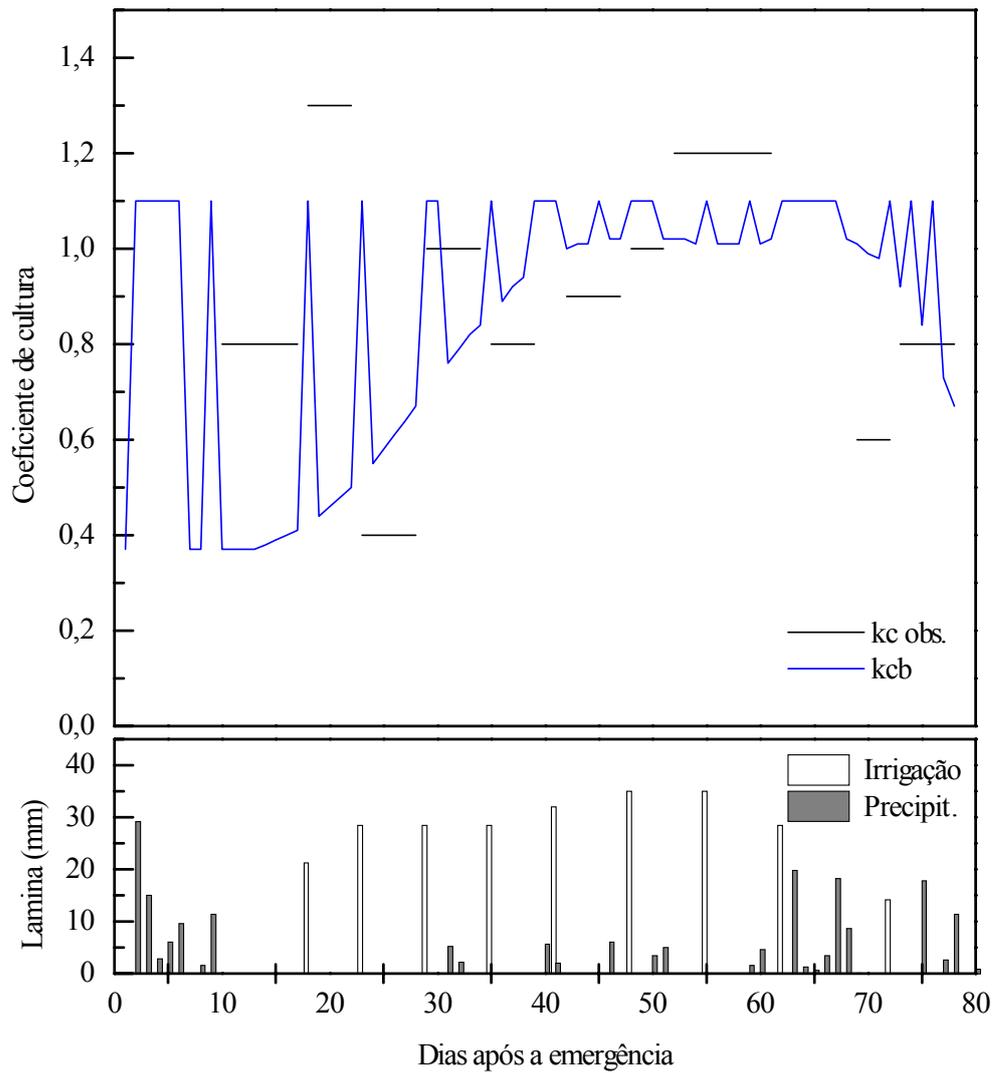


Figura 1. Coeficiente de cultura observado e simulado ao longo do ciclo do feijoeiro irrigado e semeado na parcela submetida ao sistema de preparo do solo com escarificador, em Campinas-SP, no ano de 1999.

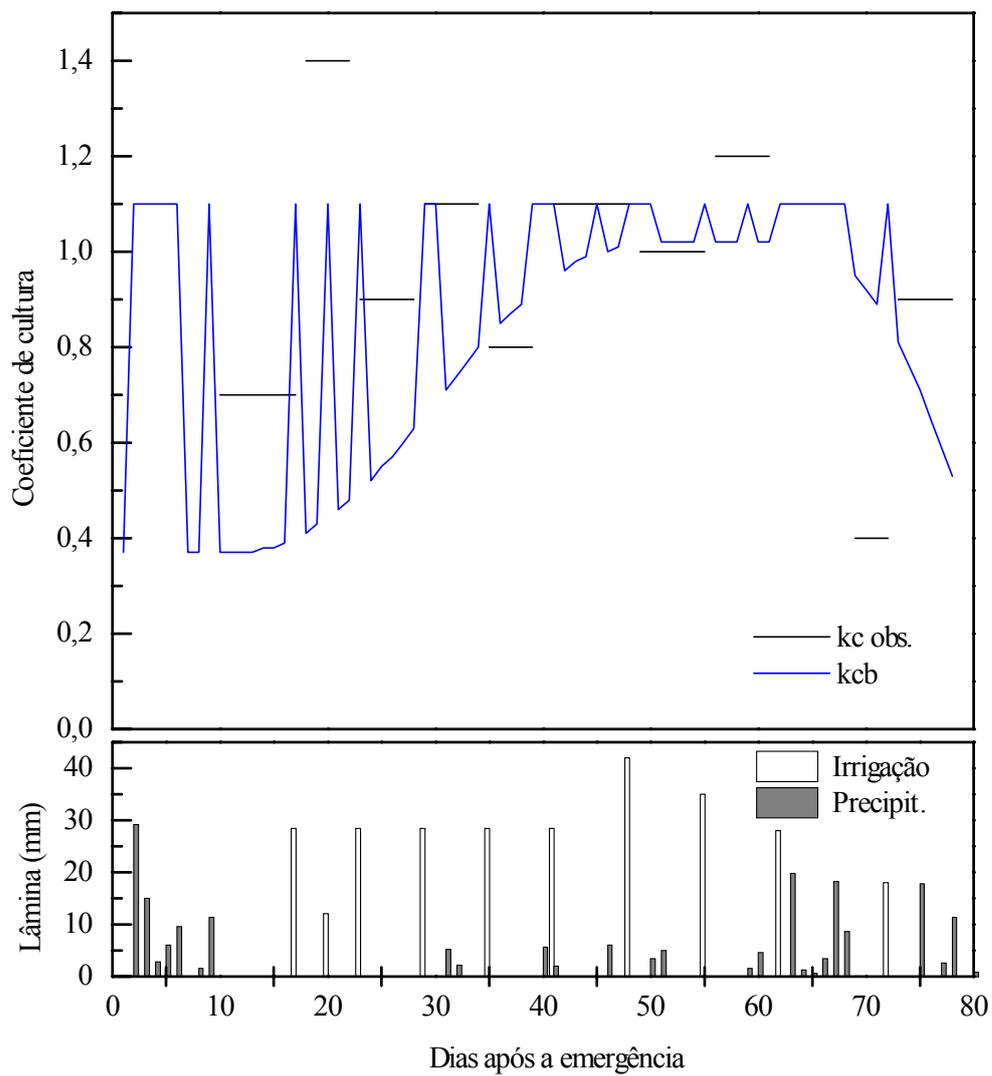


Figura 2. Coeficiente de cultura observado e simulado ao longo do ciclo do feijoeiro irrigado e semeado na parcela submetida ao sistema de preparo do solo arado de disco, em Campinas-SP, no ano de 1999.

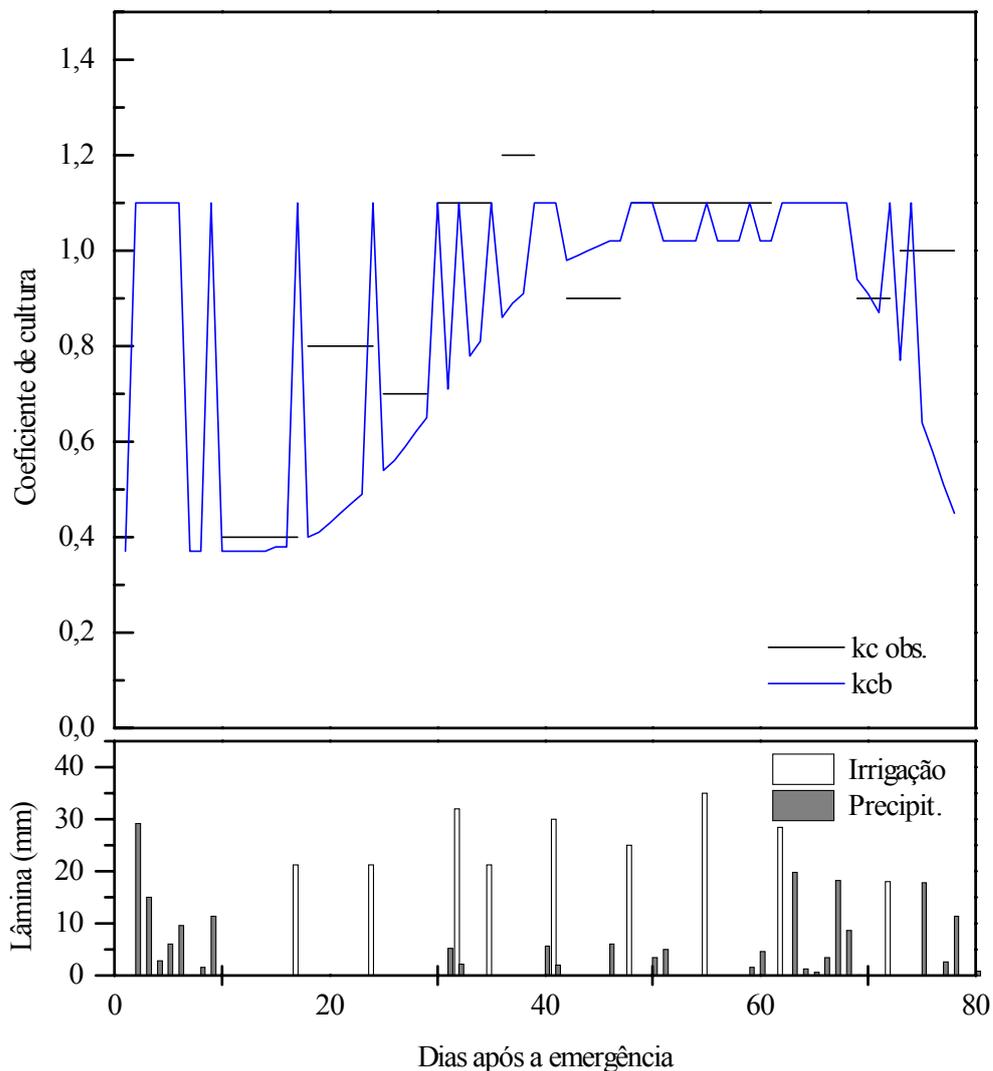


Figura 3. Coeficiente de cultura observado e simulado ao longo do ciclo do feijoeiro irrigado e semeado na parcela submetida ao sistema de preparo do solo enxada rotativa, em Campinas-SP, no ano de 1999.

#### 4. CONCLUSÃO

Encontrou-se uma relação altamente significativa entre a cobertura vegetal e o índice de área foliar com o índice graus-dia acumulados, mesmo quando se considerou uma única relação envolvendo todos os tratamentos de sistema de preparo do solo avaliados. Tal resultado permite concluir que a abordagem de graus-dia é adequada para a estimativa e simulação do crescimento da cultura do feijoeiro irrigado a partir de dados de temperatura.

As fases de desenvolvimento da cultura foram independentes dos tratamentos, demonstrando a efetividade da abordagem de graus-dia para a predição da fenologia do feijoeiro irrigado.

A pequena variação entre os resultados observados do consumo de água do feijoeiro, em condições de campo, e aqueles simulados permite concluir que pode-se usar uma única curva de coeficiente de cultura parametrizada em função do desenvolvimento da planta para a determinação do consumo de água do feijoeiro irrigado, mesmo quando submetido a diferentes manejos de solo.

A abordagem de graus-dia demonstrou sua efetividade para a estimativa do consumo de água do feijoeiro, submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. Tal fato demonstra a possibilidade de se predizer as necessidades hídricas das plantas a partir da temperatura média do ar, sendo essa uma importante informação para os órgãos gerenciadores de recursos hídricos.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro ao projeto (Proc. 1999/03221).

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998) *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Roma FAO, 300 p. Paper 56.
- BALASUBRAMANIAN, P.; VANDENBERG, A.; HUCL, P. (2004) “*Planting date and suboptimal seedbed temperature effects on dry bean establishment, phenology and yield*”. Canadian Journal of Plant Science, 84(1), pP.31-36.
- BARBANO, M. T.; BRUNINI, O.; WUTKE, E. B. *et al.* (2001) “*Comparação entre valores observados e estimados de duração dos diferentes sub-períodos de desenvolvimento da cultura do feijoeiro*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 9(1), pp.103-110.
- DANIEL, L.A., ESPÍNDOLA, C.R., LUCARELLI, J.R.F., MAIA, J.C.S. (1997) “*A mecanização e conservação do solo na FEAGRI/UNICAMP*”. in Anais do Seminário Ciência e Desenvolvimento sustentável, São Paulo, Jul. 1997, 1, pp.119-120.
- DOURADO NETO, D., LIER, Q. de J.V., BOTREL, T.A., LIBARDI, P.L. (1990) “*Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Van\_Genutchen*”. Engenharia Rural, Piracicaba, 1(2), pp.92-102.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. (1999) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro MAA, 412p.
- FERNÁNDEZ, F.; GEPTZ, P.; LÓPEZ, M. (1985) “*Etapas de desarrollo de la planta frijol*”. in *Frijol: investigación y producción* Org por López, M.; Fernández, F.; Van Schoonhoven, A. ed. PNUD/CIAT, Cali - Colombia, pp.61-78.

- GUTIERREZ, A. P.; MARIOT, E. J.; CURE, J. R.; RIDDLE, C. S. W.; ELLIS, C. K.; VILLACORTA, A. M. (1994) "A model of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth types I-III: factors affecting yield". *Agricultural Systems*, 44, pp.35-63.
- HOOGENBOOM, G.; WHITE, J. W.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. (1994) "BEANGRO: a process-oriented dry bean model with a versatile user interface". *Agronomy Journal*, 86, pp.182-190.
- JENNI, S.; BOURGEOIS, G.; LAURENCE, H.; ROY, G.; TREMBLAY, N. (2000) "Improving the prediction of processing bean maturity based on the growing-degree day approach". *HortScience*, 35(7), pp.1234-1237.
- LIBARDI, P.L., SAAD, A.M. (1994) "Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em latossolo roxo". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18, pp.529-32.
- McMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. (1997) "Growing degree-days: one equation, two interpretations". *Agricultural and Forest Meteorology*, 87, pp.291-300.
- MARTHALER, H.P., VOGELSANGER, W., RICHARD, F., WIERENGA, P.J. (1983) "A pressure transducer for field tensiometer". *Soil Science Society of American Journal*, 47, pp.624-630.
- MASSIGNAM, A. M.; VIEIRA, H. J.; FLESCHE, R. D.; HEMP, S. (1998) "Ecofisiologia do feijoeiro. III – influência de variáveis bioclimáticas na duração de sub-períodos fenológicos e determinação de temperatura-base e graus-dia". *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 6(1), pp. 47-54.
- MEDEIROS, G. A., ARRUDA, F. B., SAKAI, E., FUJIWARA, M. (2001) "The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.)". *Agricultural and Water Management*, 49(3), pp. 215-28.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. (2000) "Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(9), pp. 1733-1742.
- MULLINS, C. A.; STRAW, R. A. (1999) "Determining optimum maturity of bush romano beans for machine harvest". *HortTechnology*, 9(3), pp.448-451.
- OLIVEIRA, J. B.; ROTTA, C. L. (1979) *Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas*. Rio de Janeiro IBGE, 169 p.
- PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E., BORTOLETTO, N. (1991) "Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central". *Bragantia*, 50(1), pp. 153-162.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. (2004) *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri, SP Manole, 478 p.

- STONE, L.F., SILVEIRA, P.M. (1999) “*Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro*”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34(1), pp. 83-91.
- STONE, L.F., PEREIRA, A.L. (1994) “*Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d’água do feijoeiro*”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 29(6), pp.939-54.
- TISOT, D. A.; MAIA, A. H. N.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; FANCELLI, A. L.; FAVARIN, J. L.; LOPES, S. J.; MEDEIROS, S. L. P. (2005) “*Modelos referentes ao padrão de variação temporal dos componentes de produtividade da cultura do feijão caracterizado por graus-dia*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 13(1), pp.81-89.
- VAN GENUTCHEN, M. Th. (1980) “*A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*”. Soil Science Society of American Journal, 44, pp. 892-8.
- VIEIRA, A. R. R.; SCHNEIDER, L.; MARQUES JUNIOR, S.; JUSTINO, R. G. B.; VON ZUCCALMAGLIO, G.; SILVA, J. G. (1998) “*Caracterização térmica e hídrica da cultura do feijão-de-vagem na região da grande Florianópolis*”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33(6), pp.926-936.
- WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. 2000 “*Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24, pp. 621-633.