

# Utilização do modelo Cropgro-drybean na determinação das melhores épocas de semeadura da cultura do feijão para a região de Maringá, Estado do Paraná, Brasil

Rivanildo Dallacort<sup>1\*</sup>, Roberto Rezende<sup>1</sup>, Paulo Sérgio Lourenço de Freitas<sup>1</sup>, Rogério Teixeira de Faria<sup>2</sup>, Tedson Luis de Freitas Azevedo<sup>1</sup> e João Batista Tolentino Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>Instituto Agronômico do Paraná (Iapar), Londrina, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência. e-mail: rivanildo@pop.com.br

**RESUMO.** O presente estudo foi realizado para o município de Maringá, Estado do Paraná, (latitude de 23°27'S, longitude de 51°57' e altitude de 542 metros). Nele, utilizou-se o modelo de simulação de crescimento e desenvolvimento da cultura do feijão, Cropgro-Drybean. Esse modelo simula o desenvolvimento fenológico e crescimento da cultura, considerando o balanço de água no solo. As simulações foram realizadas durante o período de 1980 a 2000, em um total de vinte safras, considerando-se a semeadura da cultivar Iapar 57, nas seguintes datas: 1, 10 e 20 de março, 1 de abril, 20 e 30 de julho, 10 e 30 de agosto e 1 de setembro. Os dados de entrada para as simulações foram dados meteorológicos diários de temperaturas máxima e mínima, precipitação e radiação solar global, características físico-hídricas do solo correspondentes à capacidade de campo, ponto de murchamento permanente, densidade, etc. Os resultados revelaram maiores produtividades nas semeaduras em 10 e 20 de agosto e 1 de setembro, e menores em 1 de abril e 20 de julho, sendo estas, em média, 25% inferiores.

**Palavras-chave:** Cropgro-drybean, feijão, simulação.

**ABSTRACT: Simulation of bean culture productivity, using the Cropgro-drybean model, for the region of Maringá, Paraná State, Brazil.** The present study was carried out in the region of Maringá, Paraná State, (latitude of 23°27'S, longitude of 51°57' and altitude of 542 meters) where the model of growth and development simulation of the bean culture, the Cropgro-dry bean model, was used. This model simulates the fenologic development and culture growth considering water balance in the soil. Simulations from 1980 to 2000 in a total of twenty crops, considering the sowing of Iapar 57 cultivar in the following dates: 1<sup>st</sup>, 10<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> of March, 1<sup>st</sup> of April, 20<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup> of July, 10<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> of August and 1<sup>st</sup> of September. The entrance data for the simulations were climatological diaries of maximum and minimum temperatures, total precipitation and global solar radiation; physical hydric characteristics of the soil, permanent wilting point, density, etc. Results showed higher productivity on the 10<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> of August sowings and on the 1<sup>st</sup> of September. The 1<sup>st</sup> of April and 20<sup>th</sup> of July sowings were the lowest with 25% less on average than the highest.

**Key words:** Cropgro-drybean, bean, simulation.

## Introdução

A previsão da produtividade ou data de ocorrência de estádios fenológicos são de grande importância para o planejamento econômico da propriedade e para a programação das operações agrícolas. As instituições públicas, empresas agrícolas e outras entidades de planejamento necessitam conhecer, por exemplo, as datas previstas de ocorrência das fases fenológicas de crescimento das espécies cultivadas, assim como as reservas de umidade do solo, com o objetivo de adotar medidas adequadas de cultivo e de políticas de apoio e organização agrícola. Necessitam saber também as datas previstas de maturação e

colheita, bem como os rendimentos esperados, com a finalidade de preparar antecipadamente a maquinaria necessária, a mão-de-obra requerida, a armazenagem, o transporte e a comercialização, inclusive os planejamentos de importações e exportações.

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar cenários, considerando as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas. Dessa forma, é possível avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição, podendo modificar a estratégia de irrigação para prever as alterações nos componentes de produção e de outras variáveis, como a

evapotranspiração e as necessidades de água da cultura. Além disso, é possível combinar os resultados do modelo com os fatores econômicos, para a análise de riscos associados a cada estratégia (Jones e Ritchie, 1990).

Os modelos de crescimento de culturas apresentam potencial de uso para responder questões em pesquisa, manejo de culturas e planejamento, auxiliando no entendimento sobre as interações genéticas, fisiológicas e do ambiente, como também nas decisões de práticas culturais antes e durante o período da cultura no campo, como aplicações de fertilizantes e irrigação (Boote *et al.*, 1996).

Os modelos de simulação de culturas são ferramentas muito importantes no estudo das funções de produção, os quais interagem submodelos dos distintos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, para a previsão de crescimento, desenvolvimento e produção das culturas. Os modelos são dinâmicos e funcionais, pois descrevem mudanças diárias nas variáveis da cultura, considerando os principais processos morfofisiológicos que ocorrem na cultura. Whisler *et al.* (1986) e Jones e Ritchie (1990) descreveram uma série de modelos de simulação das culturas, que podem ser usados em estudos diversos, entre eles a irrigação.

Dentre os vários modelos de crescimento de culturas disponíveis na literatura, destacam os incluídos no sistema computacional DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). Esse sistema tem sido utilizado por muitos pesquisadores nas mais diversas condições climáticas e de solo para obtenção de informações que auxiliam no planejamento e no manejo agrícola (Hoogenboom *et al.*, 1994).

Os estudos de produção de culturas são tradicionalmente conduzidos por meio de experimentos agrônomicos de campo, e as funções de produção são derivadas de análises estatísticas, sem entendimento dos princípios biológicos e físicos envolvidos no processo. Recentemente, as aplicações de conhecimentos com base em sistemas de manejos de culturas têm obtido popularidade, em virtude da expansão do conhecimento dos processos envolvidos no crescimento de plantas. O Dssat permite ao usuário combinar modelos de crescimento de culturas com aspectos econômicos e avaliações dos impactos ambientais (Jame e Cutforth, 1996).

O alcance da aplicabilidade de modelos localizados pode se estender para o planejamento regional e para a análise da produtividade, pela combinação de suas capacidades com os sistemas de informações geográficas (Cabelguenne *et al.*, 1995).

Cabelguenne e Jones (1989) utilizaram modelos de simulação para definir as estratégias de irrigação e manejo e o estudo da viabilidade econômica das

culturas.

No Brasil, Faria *et al.* (1997a), calibraram o modelo Benagro, que é o precursor do Cropgro-DryBeans, para o feijoeiro nas condições de Londrina, Estado do Paraná, com intuito de testar sua performance em simular a fenologia, a produção de matéria seca e os grãos dessa cultura sob diferentes condições ambientais. Com o modelo calibrado, Faria *et al.* (1997b) avaliaram diferentes estratégias de manejo de irrigação visando ao melhor benefício econômico para a cultura do feijoeiro no Estado do Paraná. Heinmann *et al.* (2000) também avaliaram o manejo da irrigação, do feijoeiro sob pivô central, usando simulações com esse modelo. Mais tarde, Heinmann *et al.* (2002) determinaram a necessidade de irrigação pela cultura do feijoeiro no nordeste da bacia do rio Tibagi, no Estado do Paraná, utilizando o Cropgro-DryBean associado a um sistema de informações geográficas para regionalizar as informações. Bastos *et al.* (2000) adaptaram o modelo Cropgro para a cultura do caupi e o utilizaram em um estudo de avaliação do manejo de irrigação sobre a produtividade econômica de grãos em comparação com o cultivo sem irrigação. Meirelles *et al.* (2003) calibraram o modelo Cropgro-DryBeans para quantificar decréscimos de produtividade da cultura de feijão semeado em 36 épocas de semeadura, em uma localidade do Estado de Goiás.

O modelo de simulação Cropgro-DryBeans, descrito por Hoogenboom *et al.* (1994), foi utilizado no presente trabalho com o objetivo de determinar as melhores épocas de semeadura da cultura para a região de Maringá, Estado do Paraná.

## Material e métodos

O estudo foi realizado para o município de Maringá, Estado do Paraná, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 23°02'7"S, longitude de 51°57' e altitude de 542 metros. As simulações foram realizadas utilizando-se um modelo de simulação Cropgro versão 3.5 (Hoogenboom *et al.*, 1994). Foram usados dados de 1980 a 2000, em um total de vinte safras, sendo simuladas nove datas de semeadura: 1, 10 e 20 de março, 1 de abril, 20 e 30 de julho, 10 e 30 de agosto e 1 de setembro. Para avaliar o crescimento da cultura no período preconizado, assumiu-se que o solo tinha condições adequadas de umidade por ocasião da semeadura, atribuíram-se valores correspondentes à capacidade de campo como condição inicial. O conjunto das variáveis meteorológicas diárias de entrada utilizados pelo modelo, correspondente aos valores diários de temperatura máxima e mínima do ar (°C), precipitação pluviométrica (mm) e radiação solar (MJ m<sup>-2</sup>), foram obtidos na estação meteorológica da UEM – Universidade Estadual de Maringá, Estado do Paraná.

O solo predominante na região do estudado é classificado como Nitossolo Distrófico, tendo relevo plano e textura argilosa. As características químicas e físicas (retenção de água e granulometria) foram determinadas no Laboratório de Solos do departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, cujos valores são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

**Tabela 1.** Características químicas do solo estudado.

| H                |                  | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |                                    |                                     |                  | mg dm <sup>-3</sup> |    |       | G dm <sup>-3</sup> |
|------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------------|----|-------|--------------------|
| %Cl <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Al <sup>+++</sup>                  | H <sup>+</sup> + Al <sup>+++</sup> | Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> | Ca <sup>++</sup> | K <sup>-</sup>      | P  | C     |                    |
| 0,8              | 5,4              | 0,20                               | 6,64                               | 7,48                                | 4,56             | 0,30                | 16 | 21,95 |                    |

**Tabela 2.** Características físico-hídricas do solo estudado.

| Camada(c<br>m) | Capacidade de<br>Campo(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | Ponto de<br>Murcha(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | Densidade<br>Global (g/cm <sup>3</sup> ) |
|----------------|---|---|--|
| 0 - 40         | 0,44  | 0,38  | 1,28                                     |

**Tabela 3.** Características granulométricas do solo estudado.

| Camada<br>(cm) | Areia<br>(%) | Silte<br>(%) | Argila<br>(%) | Densidade do<br>solo (g cm <sup>-3</sup> ) |
|----------------|--------------|--------------|---------------|--|
| 0-15           | 04           | 09           | 87            | 1,23                                       |
| 15-30          | 04           | 11           | 85            | 1,28                                       |
| 30-45          | 06           | 16           | 78            | 1,34                                       |

Para a calibração dos coeficientes genéticos que caracterizam o comportamento da cultivar no modelo Cropgro, foram utilizados dados de campo da cultivar Iapar 57, obtidos em experimento previamente conduzido pela Coodetec - Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. Os dados foram contados em dias julianos, iniciando-se na data de emergência. A semeadura do experimento foi realizada colocando as sementes a três centímetros de profundidade, sob um sistema de plantio direto, utilizando-se na semeadura o número de sementes que correspondesse a 17 plantas/m (determinados pelo teste de germinação) e a um espaçamento de 0,45 m entre linhas. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, no qual se calcularam as médias para a utilização como dados observados no ajuste

**Tabela 4.** Coeficientes genéticos da cultivar Iapar 57.

| CULTIVAR | CSDL  | PPSEN | EM-FL | FL-SH | FL-SD | SD-PM | FL-LF |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IAPAR 57 | 12,17 | 0,000 | 25,0  | 5,0   | 8,0   | 21,00 | 23,00 |
| LFMAX    | SLAVR | SIZLF | XFRT  | WTPSD | SFDUR | SDPDV | PODUR |
| 1,00     | 350   | 133,0 | 1,00  | 0,550 | 12,0  | 3,37  | 8,0   |

#### Comportamento das safras de maior e de menor produtividades

Para demonstrar os resultados simulados pelo modelo nas condições do estudo, apresentam-se os resultados da simulação com semeadura em 30 de julho de 1988, correspondente à menor produtividade simulada (212 kg ha<sup>-1</sup>), e da safra de 10 de agosto de 1981, que resultou na maior produtividade simulada de todas as safras (3.197

kg ha<sup>-1</sup>). As distribuições da precipitação durante os períodos de desenvolvimento da cultura são apresentadas na Figura 1, totalizando 606 mm e 295 mm, respectivamente, para as safras de maior e de menor produtividade simuladas. Na semeadura em 30 de julho de 1988, ocorreu a primeira precipitação aos 47 dias após a semeadura, resultando em penalização severa da produtividade. Em condições de campo, o

dos coeficientes genéticos do modelo. O processo de calibração foi realizado conforme procedimento descrito por Faria *et al.* (1997a). Iniciou-se a calibração utilizando-se os coeficientes genéticos da cultivar Carioca, fornecidos no programa, simulando-se o desenvolvimento da cultura durante o mesmo período de condução dos experimentos. A calibração do modelo consistiu no ajuste dos coeficientes genéticos para a cultivar Iapar 57, de tal forma que os valores simulados de produção de matéria seca e grãos e das datas de florescimento e maturação fisiológica coincidissem com os valores experimentais.

## Resultados e discussão

### Calibração dos coeficientes genéticos

Os coeficientes genéticos calibrados (Tabela 4) para a cultivar do feijoeiro Iapar 57 foram semelhantes aos obtidos por Faria *et al.* (1997a) na região de Londrina para a mesma cultivar. Assumiu-se a cultivar como sendo insensível ao fotoperíodo (PPSEN = 0), com requerimentos térmicos, em dias fototérmicos (dft), para atingir o florescimento a partir da emergência (EM-FL) de 27 dft, aparecimento da primeira vagem (FL-SH), primeiro grão (FL-SD), adição de vagem (PDUR) e término de crescimento de folhas (FL-LF) a partir do florescimento iguais a 5, 8, 8 e 23 dft, respectivamente, e término de enchimento do grão (SFDUR) e maturação fisiológica (SD-PM) a partir da formação da semente de 12 e 21 dft. Os coeficientes correspondentes às características de folhas foram iguais a 350 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> para área máxima da folha e de 133 cm<sup>2</sup> para área foliar específica. Assumiu-se que a Iapar 57 apresenta eficiência fotossintética (LFMAX) de 1.0 mg CO<sub>2</sub>.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> com os demais coeficientes, refletindo as características agrônomicas observadas a campo, tais como massa de grãos (WTPSD) e número de grãos por vagem (SDPF) iguais a 0,55 g e 3,37 g, respectivamente.

kg ha<sup>-1</sup>). As distribuições da precipitação durante os períodos de desenvolvimento da cultura são apresentadas na Figura 1, totalizando 606 mm e 295 mm, respectivamente, para as safras de maior e de menor produtividade simuladas. Na semeadura em 30 de julho de 1988, ocorreu a primeira precipitação aos 47 dias após a semeadura, resultando em penalização severa da produtividade. Em condições de campo, o

agricultor eliminaria essa cultura prejudicada pela estiagem ocorrida e realizaria uma nova semeadura em uma data mais apropriada.

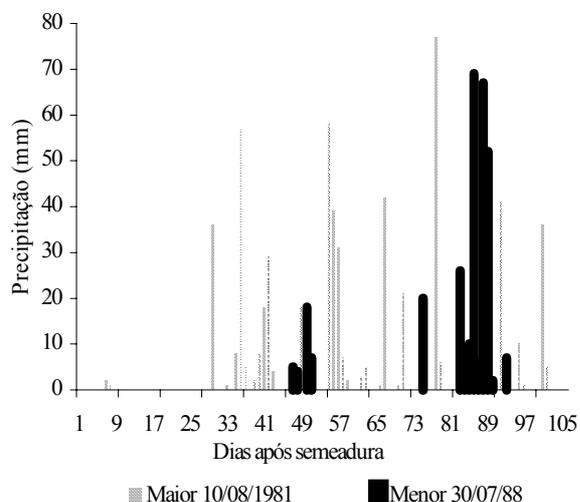


Figura 1. Distribuição da precipitação para duas safras em análise.

Na simulação com semeadura realizada em 10 de agosto de 1981, a produtividade foi a mais elevada, apesar das condições iniciais de precipitação também não terem sido adequadas ao desenvolvimento e ao crescimento da cultura até os 29 dias após a semeadura, tendo chovido apenas 3 mm, regularizando-se o regime hídrico após essa data. A evolução do índice de área foliar simulado para as duas safras é apresentado na Figura 2. Na simulação com época de semeadura em 30 de julho de 1988, o crescimento foliar foi severamente reduzido, apresentando valor máximo de IAF de  $0,49 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , aos 55 dias após a semeadura. Na safra de maior produtividade, o IAF foi baixo na fase inicial, devido ao estresse hídrico, mas regularizou-se ao longo do ciclo de cultivo, atingindo o valor máximo de  $3,34 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  aos 68 dias após a semeadura.

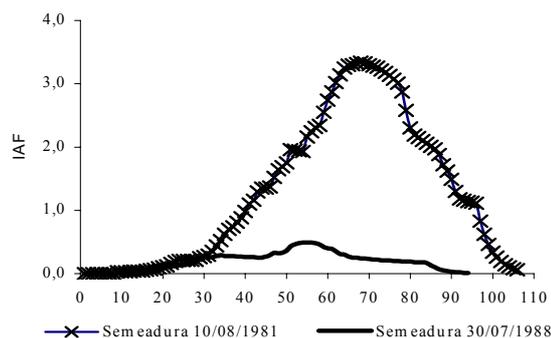


Figura 2. Índice de área foliar, simulado para as duas safras

O comportamento da massa seca acumulada é apresentado na Figura 3, equivalente a  $4.423 \text{ kg ha}^{-1}$  na simulação com semeadura em 10/08/1981 e  $358 \text{ kg ha}^{-1}$  na semeadura em 30/07/1988. Obviamente, esse valor encontrado na safra de menor produtividade está diretamente relacionado com o baixo IAF, ambos consequência da baixa e da má distribuição da precipitação ocorrida nessa safra.

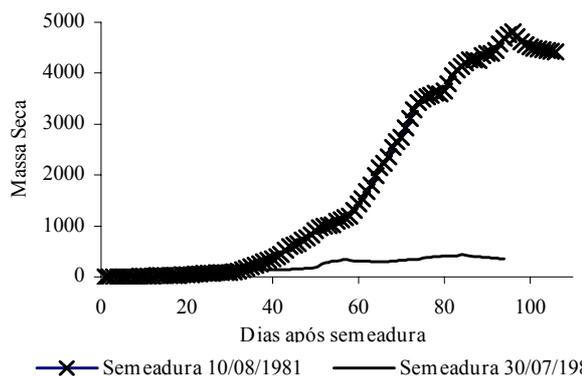


Figura 3. Massas secas simuladas para as duas safras

#### Análise da precipitação nas nove datas de semeadura em estudo

O comportamento da precipitação nas nove datas de semeadura, para os 20 anos simulados, é apresentada na Tabela 5. O menor total médio de precipitação dos 20 anos ocorreu no ciclo de cultivo com semeadura em 20 de julho, que também apresentou a mínima precipitação ocorrida no ciclo da cultura nos 20 anos e das nove datas.

Tabela 5. Análise da precipitação ocorrida nas 20 safras nas nove datas de semeadura simuladas.

| Data de Semeadura | Precipitação (mm) |        |        |               |
|-------------------|-------------------|--------|--------|---------------|
|                   | Média             | Máxima | Mínima | Desvio Padrão |
| 1 de março        | 414,30            | 713    | 156    | 153,64        |
| 10 de março       | 423,4             | 728    | 157    | 145,43        |
| 20 de março       | 415,6             | 680    | 244    | 134,05        |
| 1 de abril        | 409,7             | 742    | 214    | 134,14        |

|               |       |     |     |        |
|---------------|-------|-----|-----|--------|
| 20 de julho   | 369,0 | 700 | 106 | 148,82 |
| 30 de julho   | 396,9 | 675 | 152 | 133,39 |
| 10 de agosto  | 412,4 | 646 | 159 | 142,61 |
| 20 de agosto  | 433,5 | 670 | 191 | 141,20 |
| 1 de setembro | 459,4 | 816 | 160 | 168,14 |

As semeaduras de 1 de abril e de 30 de julho também apresentaram baixas precipitações em comparação com os totais médios mais elevados para a semeadura em 1 de setembro, seguida pelas datas de semeadura em 20 de agosto e 10 de março. Os maiores totais de precipitação foram também encontrados em 1 de setembro, seguidos pelos valores das semeaduras em 1 de abril e 10 de março. Como observado na Figura 1, a semeadura em 10 de agosto de 1981 apresentou a maior produtividade de todos os anos nas nove datas simuladas, somando 606 mm durante o ciclo da cultura, observando-se que a distribuição da precipitação durante o ciclo da cultura, principalmente em determinadas fases da mesma, é um dos fatores que influenciam diretamente na sua produtividade. O desvio padrão da precipitação mostra que a semeadura em 1 de setembro apresentou o maior desvio padrão, e em 30 de julho, o menor.

#### Produtividades simuladas nas nove datas de semeadura

Na Tabela 6, estão apresentadas as produtividades

simuladas nas vinte safras e as nove datas de semeadura. As maiores produtividades foram encontradas nas semeaduras de 10 e 20 de agosto e 1 de setembro, e as menores em 1 de abril e 20 de julho, sendo estas em média 25% a menos do que as maiores produtividades. As três datas de semeadura que apresentaram as maiores produtividades médias das 20 safras foram 10 e 20 de agosto e 1 de setembro, e as três menores foram em 1 de abril, 20 e 30 de julho, sendo estas em média 18,04% menores do que as datas de semeadura que apresentaram as melhores produtividades. Em 20 de março, 1 de abril e 1 de setembro, foram as datas simuladas em que se apresentaram os menores valores de produtividade mínima, e, em média, esses três anos apresentaram 37,81% a mais do que a média das outras datas de semeadura simuladas. O desvio padrão mais elevado foi encontrado para a data de semeadura que obteve as maiores produtividades médias, sendo inferiores para as outras datas de semeadura.

**Tabela 6.** Análise das produtividades simuladas nas 20 safras nas nove datas de semeadura.

| Data de Semeadura | Produtividades (kg há <sup>-1</sup> ) |          |        |               |
|-------------------|---------------------------------------|----------|--------|---------------|
|                   | Média                                 | Máxima   | Mínima | Desvio Padrão |
| 1 de março        | 1.111,02                              | 2.357,50 | 271,40 | 537,10        |
| 10 de março       | 1.073,47                              | 2.375,90 | 264,50 | 576,32        |
| 20 de março       | 1.090,49                              | 2.335,65 | 411,70 | 582,79        |
| 1 de abril        | 1.029,94                              | 2.234,45 | 420,90 | 531,29        |
| 20 de julho       | 1.005,27                              | 2.127,50 | 215,05 | 621,57        |
| 30 de julho       | 1.045,75                              | 2.296,55 | 211,60 | 629,50        |
| 10 de agosto      | 1.229,87                              | 3.197,00 | 247,25 | 832,95        |
| 20 de agosto      | 1.306,00                              | 2.778,40 | 280,60 | 836,98        |
| 1 de setembro     | 1.223,37                              | 2.739,30 | 365,70 | 782,21        |

Na Figura 4, observa-se o comportamento da distribuição de frequência das produtividades simuladas nas nove datas de semeaduras estudadas. Nas datas de semeadura em que se observaram as maiores produtividades médias também foram encontrados 31,47% das safras com produtividades simuladas acima de 1.500 kg há<sup>-1</sup>, subindo esse índice para 43,33% das safras com produtividades acima de 1.000 kg há<sup>-1</sup>, sendo o número de safras com essas produtividades inferiores nas outras datas de semeadura simuladas. Nas semeaduras de 20 e 30 de julho e 10 de agosto, foram encontrados em 53,33% das safras produtividades inferiores a

1000 kg há<sup>-1</sup>, mostrando serem as datas mais críticas para a realização da semeadura da cultura do feijão.

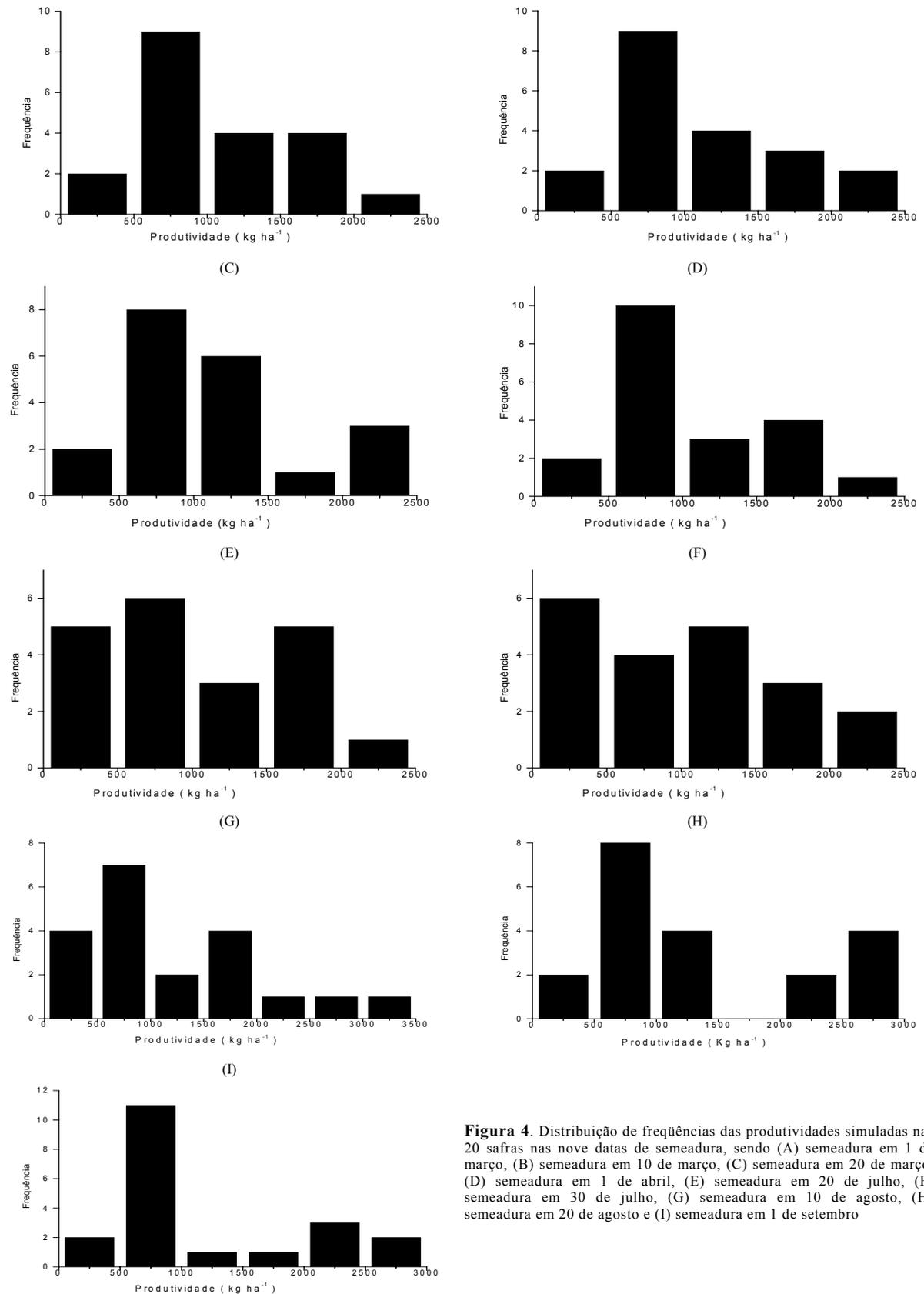
#### Conclusão

A partir dos resultados encontrados, conclui-se que:

- o período mais indicados para a semeadura da cultura do feijão é de 20 de agosto a 1 de setembro;
- o total de precipitação e sua distribuição no ciclo da cultura foram fatores que influenciaram diretamente o IAF, a massa seca e a produtividade.

(A)

(B)



**Figura 4.** Distribuição de frequências das produtividades simuladas nas 20 safras nas nove datas de semeadura, sendo (A) semeadura em 1 de março, (B) semeadura em 10 de março, (C) semeadura em 20 de março, (D) semeadura em 1 de abril, (E) semeadura em 20 de julho, (F) semeadura em 30 de julho, (G) semeadura em 10 de agosto, (H) semeadura em 20 de agosto e (I) semeadura em 1 de setembro

## Referências

- BASTOS, E.A. *et al.* Modelagem do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Documentos n°48: Embrapa, ISSN: 0104-866-X, 2000.
- BOOTE, K.J. *et al.* Potential uses and limitations of crop models. *Agrono. J.*, Madison., v. 88, p. 704-716, 1996.
- CABELGUENNE, M., JONES, C.A. Simulation of cropping systems in Southern France. In: *SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE*, Austin, Texas, 1989. Proceedings...Austin, Texas: 1989. p. 707-711.
- CABELGUENNE, M. de. *et al.* Strategies for limited irrigation of maize in southwestern France - a modeling approach. *Trans. ASAE*, St Joseph, v. 38, p. 507-511, 1995.
- FARIA, R.T. *et al.* Simulação da fenologia e produção do feijoeiro pelo modelo BEANGRO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997a. p. 141-142.
- FARIA, R.T. de *et al.* Determination of a long-term optimal irrigation strategy for dry beans in Parana state, Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 54, p. 155-164, 1997b. (Número especial).
- HEINMANN, A.B. *et al.* Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: an example for the state of Parana. *Agric. Water Manag.*, Dorchecht, v. 52, n. 3, p. 177-196, 2002.
- HEINMANN, A.B. *et al.* Center pivot irrigation management optimization using the CROPGRO model. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v. 43, n. 6, p. 1507-1516, 2000.
- HOOGENBOOM, G. *et al.* CROPGRO – DRY BEAN. In: TSUJI, G.Y. *et al.*, (Ed.). *Crop models: DSSAT v 3*. Honolulu: University of Hawaii, 1994. v. 2, p. 95-281.
- JAME, Y.M., CUTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. *Can. J. Plant Sci.*, Ottawa, v. 76, p. 9-19, 1996.
- JONES, J.W.; RITCHIE, J.T. Crop growth models. In: HOFFMAN, G. L. *et al.* (Ed.) *Management of farm irrigation system*. S. L.: 1990. p. 63-89
- MEIRELES, E.L. *et al.* Risco Climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003.
- WHISLER, F.D. *et al.* Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.*, San Diego, v. 40, p. 141-208, 1986.

Received on October 18, 2004.

Accepted on June 15, 2005.