

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Arroz e Feijão  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 36***

## **Uso do Modelo de Simulação ORYZA/APSIM 2000 na Definição da População de Plantas para o Arroz de Terras Altas**

Alexandre Bryan Heinemann  
Luís Fernando Stone

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Arroz e Feijão**

Rodovia GO 462 - Km 12 - Zona Rural - Caixa Postal 179

75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO

Fone: (62) 3533 2123

Fax: (62) 3533 2100

www.cnpaf.embrapa.br

sac@cnpaf.embrapa.br

**Comitê Local de Publicações**

Presidente: *Alúcio Goulart Silva*

Secretário-Executivo: *Luiz Roberto Rocha da Silva*

Membros: *Flávia Aparecida de Alcântara*

*Luís Fernando Stone*

*Ana Lúcia Delalibera de Faria*

*Camilla Souza de Oliveira*

*Alcido Elenor Wander*

*Henrique César de Oliveira Ferreira*

*José Manoel Colombari Filho*

*Alberto Baeta dos Santos*

Supervisão editorial: *Camilla Souza de Oliveira*

Revisão de texto: *Camilla Souza de Oliveira*

Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*

Tratamento de ilustrações: *Fabiano Severino*

Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

**1ª edição**

Versão online (2011)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Arroz e Feijão**

---

Heinemann, Alexandre Bryan.

Uso do modelo de simulação ORYZA/APSIM 2000 na definição da população de plantas para o arroz de terras altas / Alexandre Bryan Heinemann, Luís Fernando Stone. – Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2011.

16 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 36)

1. Arroz de sequeiro – crescimento. 2. Arroz de sequeiro – época de semeadura.
3. Modelo de simulação. I. Stone, Luís Fernando. III. Título. IV. Embrapa Arroz e Feijão. V. Série.

CDD 003 (21. ed.)

---

© Embrapa 2011

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	12
Conclusões.....	13
Referências .....	15



# Uso do Modelo de Simulação ORYZA/APSIM 2000 na Definição da População de Plantas para o Arroz de Terras Altas

*Alexandre Bryan Heinemann<sup>1</sup>*

*Luís Fernando Stone<sup>2</sup>*

## Resumo

Com este trabalho se propôs simular a resposta do arroz de terras altas a diferentes populações de plantas, em várias épocas de semeadura, com o modelo de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade ORYZA/APSIM 2000, visando maximizar a produtividade dessa cultura. Para tanto, considerou-se as populações de plantas de 100, 150, 250 e 450 plantas m<sup>-2</sup>, as quais foram combinadas com cinco datas de semeadura: 01/11, 15/11, 01/12, 15/12 e 31/12. A produtividade de grãos simulada do arroz de terras altas apresentou resposta quadrática à população de plantas, com valores máximos sendo alcançados com populações acima de 350 plantas m<sup>-2</sup>. Contudo, considerando a maior eficiência técnica, as menores populações de plantas testadas são as mais adequadas. Há maior probabilidade de se obter altas produtividades de arroz de terras altas em datas de semeadura precoces, a partir de 01/11.

**Termos para indexação:** *Oryza sativa*, data de semeadura, produtividade de grãos.

---

<sup>1</sup> Engenheiro agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, alexbh@cnpaf.embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, stone@cnpaf.embrapa.br

# Use of ORYZA/APSIM 2000 Simulation Model to Define Plant Population for Upland Rice

---

*Alexandre Bryan Heinemann<sup>1</sup>*

*Luís Fernando Stone<sup>2</sup>*

## Abstract

This study aimed to simulate the response of upland rice to different plant population, in several sowing dates, based on ORYZA/APSIM 2000 crop model, in order to maximize the grain yield of this crop. For that, four plant populations were considered, 100, 150, 250, and 450 plants m<sup>-2</sup>, which were combined with five sowing dates, 11/01, 11/15, 12/01, 12/15, and 12/31. Simulated upland rice grain yield showed quadratic response to plant populations, with maximum values been reached with populations over 350 plants m<sup>-2</sup>. However, considering the greater technical efficiency, the lowest plant populations tested are the most appropriate. There is higher probability of obtaining higher upland rice grain yields in the earliest sowing dates, from 11/01.

**Index Terms:** *Oryza sativa*, sowing date, grain yield.

## Introdução

O arroz de terras altas deixou de ser cultivado apenas nas áreas recém-desmatadas, onde geralmente se adota baixo nível de tecnologia para participar de sistemas de produção mais tecnificados, como nas áreas de cultivo de soja e de integração lavoura-pecuária. Sua produtividade nesses sistemas tem passado de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>, quando as condições climáticas são favoráveis e adotam-se cultivares produtivas e manejo fitotécnico adequado (GUIMARÃES et al., 2003).

Entre as cultivares disponibilizadas para esses sistemas encontra-se a BRS Primavera, com qualidade de grãos altamente competitiva, ciclo precoce e arquitetura de planta moderna, com folhas mais eretas. Cultivares com essas características apresentam resposta diferenciada aos tratos culturais, como menores espaçamentos entre linhas em relação aos das cultivares tradicionais, com folhas decumbentes (GUIMARÃES et al., 2003).

O uso de populações de plantas mais adequadas, na época mais favorável ao seu desenvolvimento, constitui medida indispensável à maximização da produtividade do arroz (MORAIS et al., 1989). A excessiva população de plantas acarreta maior autossombreamento, induzindo a um menor aproveitamento da luz solar, maiores possibilidades de acamamento e susceptibilidade às doenças (MENDES, 1978), além do aumento da demanda da cultura por água (SOARES et al., 1979) e do risco de perda pela ocorrência de veranicos. Por outro lado, populações aquém da ideal resultam em subaproveitamento do solo e emissão de perfilhos tardios e improdutivos, indesejáveis na lavoura (SOARES et al., 1979).

De modo geral, as recomendações de espaçamento e densidade de semeadura para o arroz de terras altas são de 100 a 200 sementes viáveis por metro quadrado distribuídas em espaçamentos que variam de 40 cm a 60 cm (CRUSCIOL et al., 2000). Entretanto, esses autores constataram que, sob irrigação por aspersão, o espaçamento de 30 cm proporcionou maior produtividade de grãos da cultivar IAC 201 e que densidades de semeadura entre 100 e 200 sementes por metro quadrado não tiveram

efeito sobre ela. Para essa mesma cultivar, Crusciol et al. (2003), em condições de sequeiro, observaram que o espaçamento adequado também foi o de 30 cm, utilizando 100 sementes por metro quadrado.

Santos et al. (2002), sob irrigação por aspersão, verificaram que as cultivares Canastra e Confiança produziram mais nos espaçamentos entre linhas de 30 cm e 40 cm e que densidades de semeadura entre 50 e 90 sementes por metro não afetaram a produtividade do arroz. Para a cultivar BRSMG Conai, Carvalho et al. (2008) constataram que, sob condições de sequeiro, o espaçamento entre linhas de 30 cm maximizou a produtividade do arroz e densidades de semeadura entre 50 e 110 sementes por metro não a afetaram significativamente. Contudo, recomendaram usar a densidade de 80 sementes por metro.

Jakelaitis et al. (2009), para as cultivares BRS Primavera e BRSMG Curinga, observaram que o uso do espaçamento de 25 cm, com 300 sementes por metro quadrado, reduziu a interferência das plantas daninhas na cultura em relação ao espaçamento de 50 cm, contribuindo para maior produtividade.

Verifica-se, assim, que para as cultivares de arroz de arquitetura de planta moderna, espaçamentos entre linhas mais reduzidos, ao redor de 30 cm, têm propiciado maiores produtividades (CRUSCIOL et al., 2000, 2003; GUIMARÃES et al., 2003; CARVALHO et al., 2008). Por sua vez, densidades de semeadura entre 100 e 550 sementes por metro quadrado (CRUSCIOL et al., 2000; SANTOS et al., 2002, CARVALHO et al., 2008) não têm afetado significativamente a produtividade do arroz.

Este trabalho objetivou simular a resposta do arroz de terras altas a diferentes populações de plantas, em várias épocas de semeadura, com o modelo de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade ORYZA/APSIM 2000, visando maximizar a produtividade dessa cultura.

## **Material e Métodos**

### **Caracterização da área de estudo**

A área de estudo compreendeu o Município de Santo Antônio de Goiás, GO. A série de dados climáticos diários utilizados neste estudo foi

proveniente da estação meteorológica localizada na Embrapa Arroz e Feijão, nesse município. O período de estudo foi de 1984 a 2008 e as variáveis climáticas utilizadas foram precipitação, temperatura máxima, mínima e radiação solar global.

Neste estudo, a cultivar de arroz de terras altas considerada foi a BRS Primavera. Características fisiomorfológicas dessa cultivar estão descritas em Heinemann et al. (2009). Essa cultivar foi parametrizada e validada para o modelo ORYZA/APSIM 2000 e os seus coeficientes fenológicos utilizados estão descritos em Lorençoni et al. (2010). A profundidade efetiva máxima do sistema radicular foi considerada 40 cm. As características físico-hídricas e o número de camadas que caracterizam um Latossolo Vermelho distrófico, solo predominante na região e utilizado pelo modelo, estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características físico-hídricas do solo utilizadas pelo modelo ORYZA/APSIM 2000.

<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Densidade (Mg m<sup>-3</sup>)</i>	<i>Saturação (mm)</i>	<i>Capacidade de campo (mm)</i>	<i>Ponto de murcha (mm)</i>
0-10	1,21	47	35	20
10-20	1,33	42	36	23
20-30	1,41	41	32	20
30-40	1,24	44	30	20
40-50	1,11	47	31	22
50-60	1,02	48	31	20
60-70	1,08	49	35	21

## Descrição do modelo ORYZA/APSIM 2000

O ORYZA/APSIM 2000 é um modelo de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz. Neste estudo, somente os principais processos do modelo serão descritos. Maiores detalhes podem ser obtidos em Bouman et al. (2001) e Bouman e Van Laar (2006).

O modelo segue um regime de cálculos diários para simular o desenvolvimento fenológico e o crescimento da matéria seca dos diversos órgãos da planta. Sob condições ótimas de manejo, radiação e temperatura são fatores determinantes no crescimento da cultura. A radiação dentro do dossel da cultura é calculada em função da

área foliar total e sua distribuição é considerada vertical. Enquanto o dossel não está completamente fechado, o desenvolvimento da área foliar é calculado por meio da temperatura média diária e, após o seu fechamento, por meio do aumento na massa da folha, que é regida pela equação que descreve a área específica foliar durante o ciclo da cultura.

A fotossíntese de uma única folha depende da concentração de N na folha, intensidade da radiação (separada em radiação direta e difusa), concentração de  $\text{CO}_2$  no estômato e temperatura. Para obter o acúmulo de matéria seca diária, expresso em kg de carboidratos por ha dia<sup>1</sup>, os requerimentos para a respiração de manutenção são subtraídos da taxa de assimilação bruta. Os carboidratos produzidos são distribuídos entre as diferentes partes da planta (raiz, folha, caule e panícula) utilizando coeficientes empíricos de partição em função do estágio de desenvolvimento da planta, o qual é função da temperatura média do ar e fotoperíodo.

A conversão de carboidratos em matéria seca estrutural é baseada na equação derivada de Penning de Vries e Van Laar (1982). A densidade de panículas no florescimento é derivada da quantidade total de matéria seca acumulada no período entre a iniciação da panícula e o florescimento. A demanda potencial da planta por N é calculada em função da taxa de crescimento e da quantidade de N nos órgãos da planta. A demanda de N para as folhas e colmo é calculada em função da diferença entre a quantidade máxima e atual de N nos órgãos existentes e nos que estão se formando.

A quantidade máxima de N das folhas modifica-se em função do estágio de desenvolvimento da cultura. A quantidade de N no colmo é considerada metade da existente na folha e a quantidade máxima de N nos grãos é calculada em função do N total absorvido pela cultura até a data de florescimento, considerando um máximo de 0,0175 kg N por kg de matéria seca. Todo N alocado para as panículas é proveniente da translocação do colmo e folhas após o florescimento.

A absorção diária de N é limitada pelo menor valor entre a máxima demanda fisiológica de N pela planta e a quantidade de N disponível para

absorção no solo. O modelo não considera as dinâmicas dos processos de transformação do N que ocorrem no solo. A área efetiva da raiz é considerada como um único compartimento no qual todo N mineral está disponível para absorção pela cultura.

O balanço hídrico utilizado no modelo é unidimensional, com multicamadas determinadas pelo usuário, sendo o mesmo sistema utilizado pelo modelo CERES (JONES; KINIRY, 1986). As características da água no solo são especificadas em termos de conteúdo de água na saturação do solo, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. A quantidade de água recebida pelo solo por meio de precipitação e irrigação é considerada para o cálculo da evapotranspiração e perdas por percolação. A evaporação do solo e a transpiração da planta são calculadas considerando preferencialmente a camada inicial do solo e as camadas dentro da profundidade efetiva do sistema radicular.

## **Características das simulações**

Para as diferentes simulações consideraram-se as populações de plantas de 100, 150, 250 e 450 plantas  $m^{-2}$ . Essas populações foram combinadas com cinco datas de semeadura: 01/11, 15/11, 01/12, 15/12 e 31/12. Em razão do fato das datas de semeadura terem sido fixadas a priori no modelo, independente da ocorrência de chuva, uma restrição foi imposta, permitindo que a emergência ocorresse somente se a umidade média na primeira camada do solo fosse maior ou igual a 70% da capacidade de campo, nos dez dias subsequentes à semeadura. A aplicação de nitrogênio representou a recomendação local, 20  $kg\ ha^{-1}$  de N na data semeadura, 40  $kg\ ha^{-1}$  no início do perfilhamento, estágio V4, e 40  $kg\ ha^{-1}$  na iniciação da panícula, estágio R1 (COUNCE et al., 2000). Para melhor representar as características de produção do arroz de terras altas, o módulo irrigação não foi acionado para as simulações.

O início das simulações se deu em março, considerando 50% da capacidade de campo, para permitir um estabelecimento mais realístico do perfil de água do solo, baseado nas ocorrências de precipitação pluvial antes das datas de semeadura.

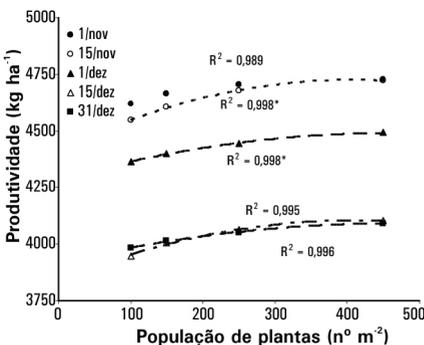
Como critério para determinar as opções de população de plantas e data de semeadura que maximizem a produtividade, utilizou-se o método de regressão e também a probabilidade de exceder, que é definida pela equação 1.

$$E(x) = 1 - F(x), F(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

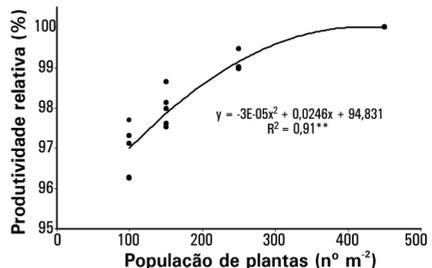
Sendo,  $E(x)$  a probabilidade de exceder, %,  $F(x)$  a função de distribuição acumulativa, %, e  $P(X \leq x)$  a probabilidade da variável  $X$  ser menor ou igual a  $x$ .

## Resultados e Discussão

Em todas as épocas de semeadura consideradas para a série histórica de dados climáticos, a produtividade de grãos simulada apresentou resposta quadrática à população de plantas (Figura 1), com valores máximos sendo alcançados com populações acima de 350 plantas  $m^{-2}$ . Contudo, em termos percentuais (Figura 2) e em probabilidade de se obter maiores produtividades (Figuras 3a a 3e), as diferenças entre as populações de plantas foram pouco expressivas. Esses resultados corroboram com os obtidos por Crusciol et al. (2000), Santos et al. (2002) e Carvalho et al. (2008), que constataram que densidades de semeadura entre 100 e 550 sementes  $m^{-2}$  não têm afetado significativamente a produtividade do arroz de terras altas.



**Figura 1.** Produtividade de grãos simulada da cultivar de arroz BRS Primavera em várias épocas de semeadura em função de populações de plantas, considerando a série histórica de dados climáticos de 1984 a 2008.



**Figura 2.** Produtividade relativa simulada da cultivar de arroz BRS Primavera em função de populações de plantas, considerando as várias épocas de semeadura.

Na análise econômica do uso de insumos tem sido considerada a dose responsável por 90% da produtividade máxima como a de maior eficiência técnica (FAGERIA et al., 2010). Por esse critério, verifica-se que as menores populações de plantas testadas seriam as adequadas para o arroz de terras altas.

Em todas as populações de plantas consideradas, a maior probabilidade de se obter altas produtividades resultou da semeadura em datas mais precoces, a partir de 1 de novembro (Figuras 3f a 3i). De fato, Silva e Assad (2001) constataram que, para os estados de GO, MT, MS, MG, TO e BA, o risco de ocorrência de deficiência hídrica no estágio de enchimento dos grãos do arroz de terras altas se acentua quanto mais tarde for a semeadura a partir de outubro, independente do solo e do ciclo da cultura. Heinemann et al. (2008) também constataram que a cultura do arroz de terras altas, quando semeada em datas precoces (início de novembro), tem maior probabilidade de não sofrer deficiência hídrica severa.

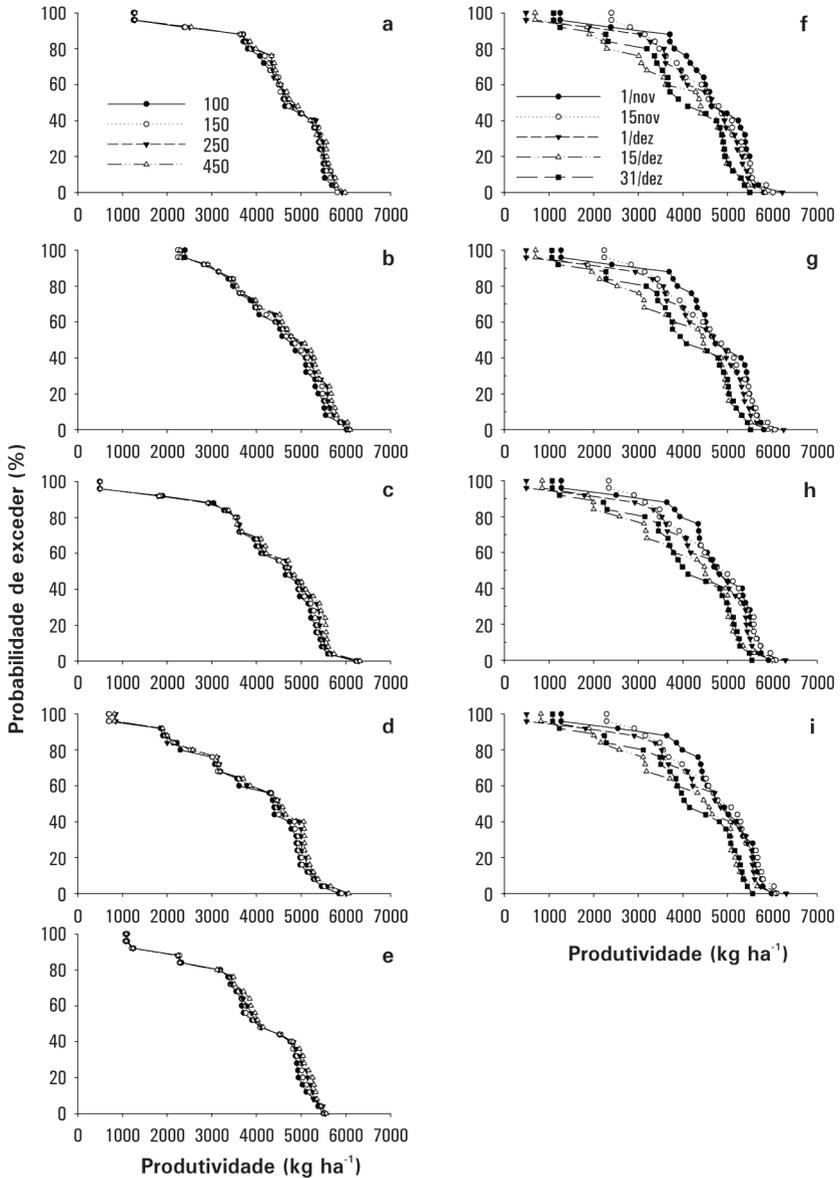
O modelo ORYZA/APSIM 2000 é sensível às variações climáticas e condições de umidade do solo durante o ciclo da cultura, como pode ser visto neste estudo em que foi ressaltada a importância da época de semeadura para a maximização da produtividade do arroz de terras altas.

## Conclusões

A produtividade de grãos simulada do arroz apresentou resposta quadrática à população de plantas, com valores máximos sendo alcançados com populações acima de 350 plantas  $m^{-2}$ .

Considerando a maior eficiência técnica, as menores populações de plantas testadas são as mais adequadas para o arroz de terras altas.

Há maior probabilidade de se obter altas produtividades de arroz de terras altas em datas de semeadura precoces, a partir de 1 de novembro.



**Figura 3.** Probabilidade de exceder a produtividade simulada do arroz de terras de acordo com as datas de semeadura (a) - 01/11; (b) - 15/11; (c) - 01/12; (d) - 15/12 e (e) - 31/12 e populações de plantas (f) - 100; (g) - 150; (h) - 250 e (i) - 450 plantas m<sup>2</sup>.

## Referências

BOUMAN, B. A. M.; VAN LAAR, H. H. Description and evaluation of rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. **Agricultural Systems**, Barking, v. 87, n. 3, p. 249-273, Mar. 2006.

BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TUONG, T. P.; WOPEREIS, M. C. S.; TEN BERGE, H. F. M.; VAN LAAR, H. H. **ORYZA 2000**: modelling lowland rice. Manila: International Rice Research Institute, 2001. 235 p.

CARVALHO, J. A. de; SOARES, A. A.; REIS, M. de S. Efeito de espaçamento e densidade de semeadura sobre a produtividade e os componentes de produção da cultivar de arroz BRSMG Conai. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 785-791, maio/jun. 2008.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHEL, A. J. A uniform objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, Mar./Apr. 2000.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; ANDREOTTI, M. Produtividade do arroz de terras altas sob condições de sequeiro e irrigado por aspersão em função do espaçamento entre fileiras. **Agroномia**, Itaguaí, v. 37, n. 1, p. 10-15, 2003.

CRUSCIOL, C. A. C.; MACHADO, J. R.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Produtividade do arroz irrigado por aspersão em função do espaçamento e da densidade de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 6, p. 1093-1100, jun. 2000.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. 560 p.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; SILVA, F. X. **Espaçamento entre linhas para o arroz de terras altas com arquitetura de planta moderna**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 67).

HEINEMANN, A. B.; DINGKUHN, M.; LUQUET, D.; COMBRES, J. C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 162, n. 3, p. 395-410, Aug. 2008.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; CASTRO, L. M. de. Evaluation of physiological traits in upland rice for adaptation to no-tillage system. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 21, n. 2, p. 113-122, 2009.

JAKELAITIS, A.; ARAÚJO, R.; PITTELKOW, F. K.; OLIVEIRA, A. A. de; QUARESMA, J. P. de S. Resposta de duas cultivares de arroz de terras altas ao espaçamento entre linhas e a convivência com plantas daninhas. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 2, n. 3, p. 16-28, set./dez. 2009.

JONES, C. A.; KINIRY, J. R. **CERES-Maize**: a simulation model of maize growth and development. College Station: Texas A&M University, 1986. 194 p.

LORENÇONI, R.; DOURADO NETO, D.; HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 605-613, out./dez. 2010.

MENDES, M. C. **Espaçamentos e densidades de semeadura para a cultura do arroz de sequeiro no sul do Estado de Mato Grosso**. Dourados: Embrapa-UEPAE de Dourados, 1978. 26 p. (Embrapa-UEPAE de Dourados. Comunicado técnico, 2).

MORAIS, O. P. de; SILVA, J. G. da; SILVA, S. C. da. Método, espaçamento, densidade, profundidade e época de plantio. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 161, p. 25-31, 1989.

PENNING DE VRIES, F. W. T.; VAN LAAR, H. H. **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1982. 308 p.

SANTOS, P. G.; CASTRO, A. P. de; SOARES, A. A.; CORNÉLIO, V. M. de O. Efeito do espaçamento e densidade de semeadura sobre a produção de arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 3, p. 480-487, maio/jun. 2002.

SILVA, S. C da; ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 536-543, 2001.

SOARES, P. C.; MORAIS, O. P. de; SOUZA, A. F.; DEL GIUDICE, R. M. Preparo do solo, época e densidade de plantio. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 5, n. 55, p. 33-39, 1979.