

ISSN 0104-1347

Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia

Regional climatic risks zoning for upland rice in the states of Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins, and Bahia, Brazil

Silvando Carlos da Silva¹ e Eduardo Delgado Assad²

Resumo – Utilizando-se um modelo de simulação de balanço hídrico (BH) associado com técnicas de geoprocessamento foi possível identificar as melhores datas de semeadura para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. As variáveis consideradas foram: precipitação pluvial com série histórica mínima de 15 anos de dados diários, tipos de solo (alta, média e baixa capacidade de retenção de água) e coeficientes de cultura, evapotranspiração potencial e duração de ciclo. Foi adotado como critério de corte para o índice de satisfação da necessidade de água para a cultura (ISNA), definido como a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (E_{Tr}/E_{Tm}), o valor 0,65. Para todos os casos onde a simulação de BH apresentou resultados de ISNA, com frequência mínima de 80%, superior ao valor do critério adotado, a data foi considerada adequada para a semeadura. Nestas condições, as melhores datas de semeadura de arroz de sequeiro na região Centro-Oeste do Brasil estão compreendidas entre 1º de outubro e 31 de dezembro. Aumentando-se a capacidade de retenção de água no solo e considerando-se um menor ciclo para a cultura, o risco climático será menor.

Palavras-chave: época de semeadura, balanço hídrico, Cerrado, *Oriza sativa* L., Brasil.

Abstract – Using a simulation model of water balance associated with geoprocessing techniques, it was possible to identify better sowing dates for upland rice in the states of Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins, and Bahia, Brazil. Variables considered were: daily rainfall data of a minimum of 15 years, type of soils (low, medium and high water storage capacity), crop coefficients, potential evapotranspiration and crop growth cycle. A cut index criterion for crop water minimum requirement (ISNA), defined as the relation between the actual and maximum evapotranspiration (E_{Tr}/E_{Tm}), with a value of 0.65 was adopted. Using this criterion, when the simulation model results shows ISNA index higher than 0.65 value, with a minimum frequency of 80%, the data was considered adequate for sowing purpose. Under these conditions, best sowing dates for the West Center Region of Brazil were established from October 1st to December 31st. There is less climatic risk under higher soils storage capacity and shorter crop growth cycle.

Key words: sowing date, water balance, Cerrado, *Oriza sativa* L., Brazil.

¹ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: silvando@cnpaf.embrapa.br

² Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, CEP 13089-970 Campinas, SP. E-mail: assad@cnpia.embrapa.br

Introdução

O arroz constitui um dos alimentos básicos da população brasileira. Esta cultura em condições de sequeiro é considerada de alto risco climático, especialmente, por depender da precipitação pluvial.

A produtividade de arroz de sequeiro na região Centro-Oeste tem oscilado ao longo dos anos (Figura 1), sendo considerada a quantidade e a distribuição de chuvas o principal elemento climático responsável por esta oscilação. Isto se deve ao fato de que na estação chuvosa (outubro a abril), é comum a ocorrência de períodos sem chuva, os quais, dependendo do período de desenvolvimento da planta, podem provocar redução na produção de grãos.

Para explicar o efeito dos elementos meteorológicos sobre a produção de arroz é necessário investigar o efeito dos mesmos sobre o rendimento da cultura. Contudo, no presente estudo, o único elemento meteorológico limitante à produção de arroz de sequeiro foi a precipitação pluvial, visto que, no período definido para a realização deste estudo (outubro a dezembro), a temperatura do ar e a radiação solar global não são limitantes. Os valores médios de temperatura do ar e radiação solar global, nestas regiões, são 22°C e 350 cal.cm⁻².dia⁻¹, respectivamente (BRASIL, 1992). Em condições nas quais predominam valores semelhantes a estes, o desenvolvimento do arroz de sequeiro não é afetado.

STONE (1982) observou que, em condições de estresse hídrico, a cultura de arroz de sequeiro apresentou redução no número de grãos cheios por panícula, no peso de grãos, no rendimento total de matéria seca, na altura de planta e no índice de colheita, bem como aumento na porcentagem de grãos vazios. Dependendo da idade da planta, os efeitos negativos devido ao estresse hídrico podem ser variáveis. Caso o estresse hídrico ocorra durante a fase vegetativa, poderá haver redução na altura da planta, no número de perfilhos e na área foliar; entretanto, a planta poderá recuperar-se, caso as necessidades hídricas sejam supridas em tempo de permitir a recuperação da floração (YOSHIDA & PARAO, 1976). Por outro lado, se o estresse ocorrer durante a fase reprodutiva, de nada adiantará suprir as necessidades hídricas nos períodos seguintes, pois o efeito é irreversível

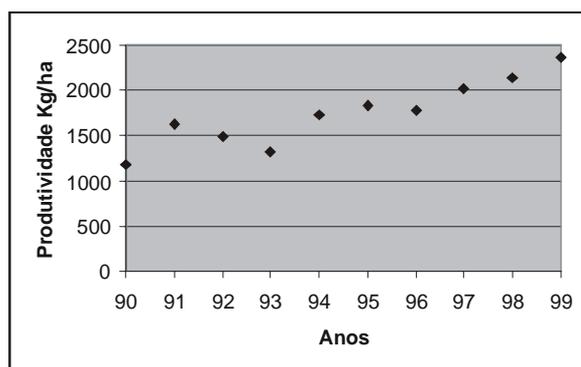


Figura 1. Produtividade média de arroz de sequeiro na região Centro Oeste do Brasil, no período de 1990 a 1999. Fonte IBGE (www.sidra.ibge.gov.br).

(MATSUSHIMA, 1962). As quebras no rendimento são, especialmente, acentuadas quando o estresse hídrico ocorre durante a floração, já que é neste estágio que são afetados os processos relacionados ao desenvolvimento reprodutivo, resultando em esterilidade e dessecamento das espiguetas (PINHEIRO, 1989).

O estudo regionalizado das variáveis agroclimáticas que definem a produtividade das culturas, tais como precipitação pluvial, evapotranspiração potencial e outras, exige uma análise mais abrangente tanto no tempo quanto no espaço. Neste sentido, a recente expansão da utilização de Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem permitido a caracterização espaço-temporal de variáveis ambientais, dentre as quais incluem-se as agroclimáticas.

Segundo FELGUEIRAS (1987), SIGs são sistemas que automatizam tarefas realizadas manualmente e facilitam a realização de análises complexas, por meio da integração de dados definidos geograficamente com latitude e com longitude.

Uma de suas características principais é a capacidade de coletar, armazenar, recuperar e integrar informações provenientes de fontes e formatos distintos, além da disponibilidade de programas computacionais para edição de mapas, textos e gráficos (MARBLE & PEUQUET, 1983). Segundo CÂMARA & MEDEIROS (1998), há pelo menos três maneiras de se utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; como banco de

dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial.

O objetivo deste trabalho é caracterizar o risco climático para a cultura de arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia em função da variação das necessidades de água da cultura, altamente dependente da precipitação pluvial no período de floração/enchimento de grãos, utilizando técnicas de modelagem agroclimática, associadas à modelagem espacial, por meio dos sistemas geográficos de informação.

Material e métodos

Neste estudo foi utilizado o modelo para cálculo do balanço hídrico para períodos de cinco dias, desenvolvido por FRANQUIN & FOREST (1977), já validado em vários trabalhos (DANCETTE, 1984; FOREST & KALMS, 1984; ASSAD, 1986; SILVA et al., 1994; MEIRELES et al., 1995; AFFHOLDER et al., 1997; SILVA et al., 1997, 1999).

O modelo utiliza simplificações na estimativa da evapotranspiração real que apresenta uma margem de erro pequena, inferior a 10%, quando comparadas às medições da umidade do solo obtidas pela sondagem de nêutrons e pelo método aerodinâmico do balanço de energia (ASSAD, 1987). AFFHOLDER et al. (1997) na região central do Brasil, em diferentes tratamentos, compararam a variação do armazenamento de água medido e o estimado obtendo um r^2 próximo de 0,8.

Uma das premissas é que o modelo considera o solo como um compartimento homogêneo, isotrópico e monofásico, o que na realidade não ocorre. Entretanto, considerando que na sua grande maioria, os solos da região estudada são forte e moderadamente drenados, que os teores de argila permanecem constantes ao longo do perfil ou aumentam, levemente, sem proporcionar alteração de horizonte, e que 2/3 da água disponível nesses solos são removidos entre as tensões de 1/10 a 1 bar (GOEDERT, 1986), as aproximações feitas no modelo são aceitáveis. É importante ressaltar que o modelo utilizado considera a cultura de arroz de sequeiro sem limitação nutricional e com o controle adequado de pragas, de doenças e de invasoras.

As variáveis de entrada do modelo são:

- precipitação pluvial diária: foram utilizadas as séries de dados diários de chuva, registrados durante 15 anos em 727 estações pluviométricas, (Figura 2). Essas informações foram fornecidas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica);
- solo: foram considerados três tipos de solo com diferentes capacidades de armazenamento de água: solos do tipo 1: baixa capacidade de armazenamento de água (30 mm) - Areia Quartzosa e solos Aluviais Arenosos, teores de argila < 15%; solos do tipo 2: média capacidade de armazenamento de água (50 mm) - Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo (15% < argila < 35%); tipo 3: alta capacidade de armazenamento de água (70 mm), teores de argila > 35% - Podzólicos Vermelho-Amarelo; Podzólicos Vermelho-Escuro (Terra Roxa Estruturada), Cambissolos Roxo e Latossolos Roxo, Latossolos Vermelho-Escuro (argila > 35%);
- coeficiente de cultura: foram utilizados dados de coeficiente de cultura obtidos por STEINMETZ et al. (1985), (Tabela 1);
- evapotranspiração potencial: foi estimada pela equação de Penman, e calculada para cada dez dias do ano, sendo então gerados 36 dados de evapotranspiração;
- ciclo das cultivares de arroz de sequeiro: foram utilizadas cultivares de ciclo curto (110 dias) e médio (135 dias). Considerou-se um período crítico (floração/enchimento de grãos) de 35 dias, o qual está compreendido entre o 65° e o 100° dia após a emergência para cultivares de ciclo curto, e para as de ciclo médio do 85° ao 120° dia.

Os balanços hídricos foram determinados no período compreendido entre 1° de outubro e 31 de dezembro, considerando-se primeiro, segundo e terceiro decêndio de cada mês. Uma das saídas mais importantes do modelo é o índice de satisfação da necessidade de água pela cultura (ISNA), expresso pela relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ETr/Etm), indicando a quantidade de água que a planta irá consumir e o total necessário para garantir a sua máxima produtividade.

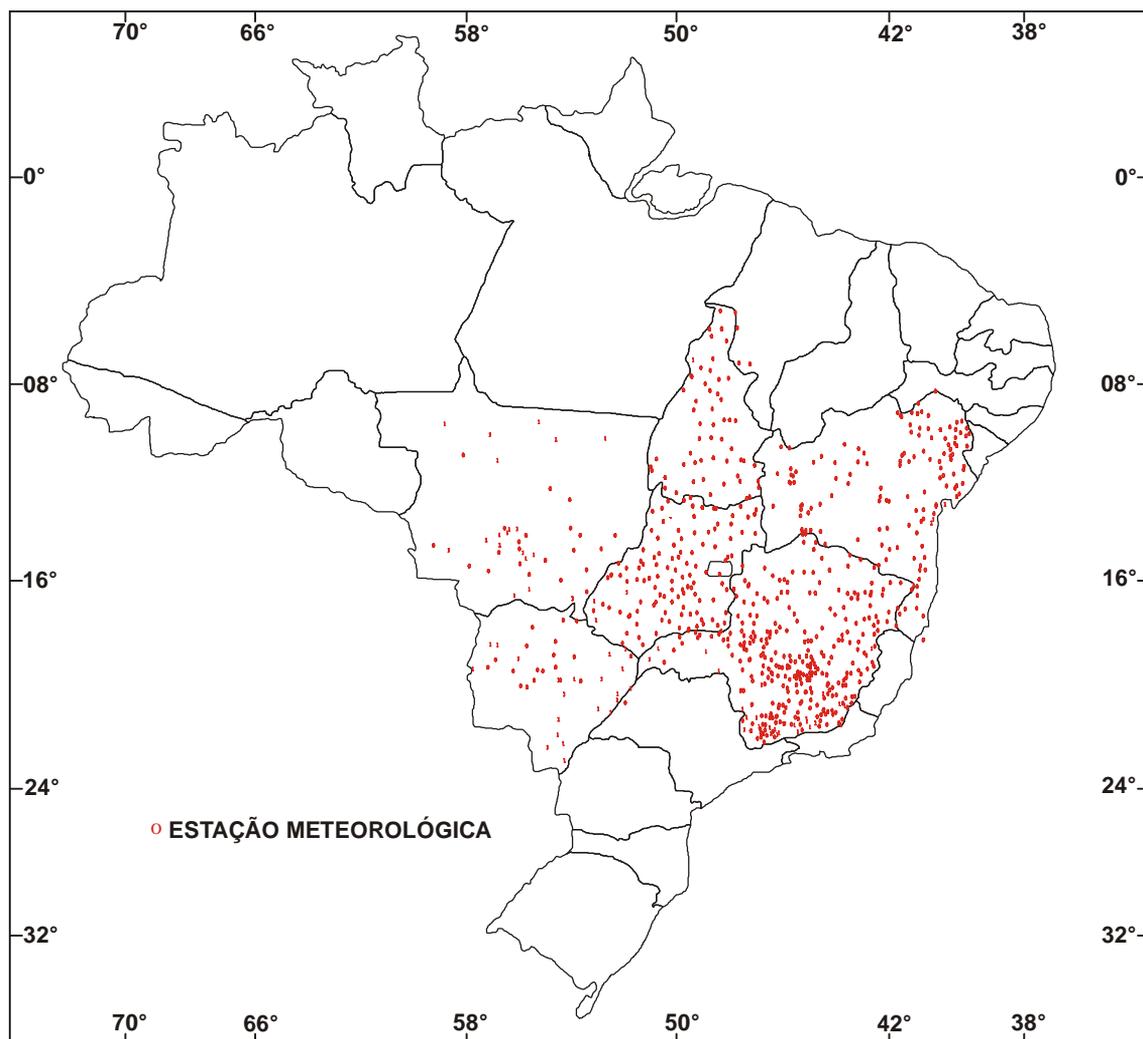


Figura 2. Distribuição espacial das estações pluviométricas nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Minas Gerais e Bahia.

Tabela 1. Coeficiente de cultura (Kc) por decêndio para a cultura de arroz de sequeiro.

Ciclo (dias)	Decêndio													
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
110	0,60	0,70	0,91	1,06	1,15	1,17	1,20	1,19	1,15	1,01	0,85	-	-	-
135	0,43	0,75	0,80	0,90	1,05	1,10	1,10	1,20	1,30	1,29	1,25	0,97	0,87	0,80

Para a caracterização do risco climático ao cultivo de arroz de sequeiro foram estabelecidas três classes de E_{Tr}/E_{Tm} , conforme STEINMETZ et al. (1985), para etapa de enchimento de grãos:

- $E_{Tr}/E_{Tm} > 0,65$ - a cultura de arroz de sequeiro está exposta a um baixo risco climático.
- $0,65 > E_{Tr}/E_{Tm} > 0,55$ - a cultura de arroz de sequeiro está exposta a um risco climático médio.

- $E_{Tr}/E_{Tm} < 0,55$ - a cultura de arroz de sequeiro está exposta a um alto risco climático.

A simulação do balanço hídrico permitiu, então, calcular os índices E_{Tr}/E_{Tm} ao longo do ciclo. Para um determinado ano, numa certa data, num tipo de solo e uma cultivar de arroz com ciclo médio, calcula-se o valor de E_{Tr}/E_{Tm} ao longo do ciclo. Como o ciclo da cultura está dividido em quatro fases fenológicas, e a fase de enchimento de

grãos é a mais determinante da produtividade final, estima-se o valor de E_{Tr}/E_{Tm} naquela fase. Passa-se então para o ano dois, data um, solo um, ciclo médio, e assim, sucessivamente, até o último ano. A partir deste cálculo, estabelece-se a função de frequência do ISNA (E_{Tr}/E_{Tm}) e seleciona-se a data onde o valor calculado é maior ou igual ao critério de risco adotado ($ISNA > 0,65$), em 80% dos casos (Figura 3).

Os testes são feitos para uma série pluviométrica mínima de 15 anos de dados diários, nove datas de semeadura, três tipos de solos e dois ciclos da cultura, totalizando 810 simulações por estação pluviométrica. No estabelecimento das datas de semeadura nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia, foram feitas 588.870 simulações.

Os valores calculados de ISNA, para definir o risco climático foram espacializados utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Para espacialização dos resultados foram adotados os seguintes procedimentos: digitação de arquivos de pontos (em formato ASCII), organizados em três colunas, com latitude, longitude e valores da relação E_{Tr}/E_{Tm} com 80% de frequência de ocorrência; transformação das coordenadas geográficas em coordenadas de projeção cartográfica utilizadas (no caso, projeção policônica); leitura do arquivo de pontos; organização das amostras; e geração de uma grade regular (grade retangular, regularmente espaçada

de pontos, em que o valor da cota de cada ponto é estimado a partir da interpolação de um número de vizinhos mais próximo).

Por se tratar, basicamente, de uma análise bidimensional, na qual as variações de E_{Tr}/E_{Tm} foram espacializadas em função do tempo, desconsiderou-se os efeitos orográficos. O interpolador escolhido foi aquele que mais se aproximou de um resultado linear. Assim, foi selecionada a média ponderada dos N pontos mais próximos por quadrante da grade regular, com peso $W=1/d^n$, sendo o expoente “ n ” definido como quatro.

Convertidos os dados e feitas as transformações necessárias, a imagem foi fatiada e reclassificada. Isto consiste em classificar os valores interpolados, ou seja, agrupar em classes os valores de E_{Tr}/E_{Tm} calculados pelo balanço hídrico. Verificados os erros e ajustados os valores das interpolações, foram confeccionadas 54 figuras, identificando-se as regiões de maior ou menor risco climático ao cultivo de arroz de sequeiro nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Minas Gerais e Bahia.

Resultados e discussão

Este estudo, que é ilustrado originalmente por 54 mapas, dentre os quais os quatro ora apresentados com vários períodos de semeadura, diferentes solos e cultivares de ciclo distintos (Figuras 4, 5, 6 e 7), mostra como é heterogênea a demanda pluvial, e como este fato, associado às condições de armazenamento de água no solo, resultam na variação espacial do risco climático para o arroz de sequeiro.

Para solos com capacidade de armazenamento de água de 30 mm (tipo 1), cultivar de 110 dias de ciclo e semeadura entre 1º e 10 de novembro, observa-se, na Figura 4, que regiões situadas no Pantanal e no sul do Mato Grosso do Sul, no norte de Minas Gerais, no sul do Tocantins e no estado da Bahia apresentam condições de alto risco climático para o cultivo de arroz de sequeiro, enquanto regiões localizadas no estado do Mato Grosso, no centro-norte de Mato Grosso do Sul e no sul de Minas Gerais apresentam condições de baixo risco climático.

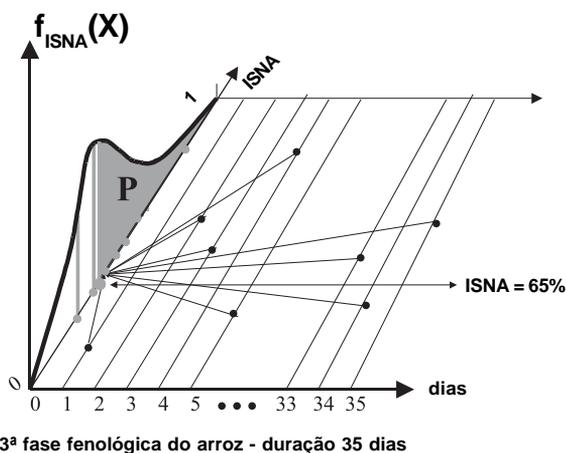


Figura 3. Esquema da simulação do balanço hídrico e cálculo do ISNA (período de enchimento de grãos).

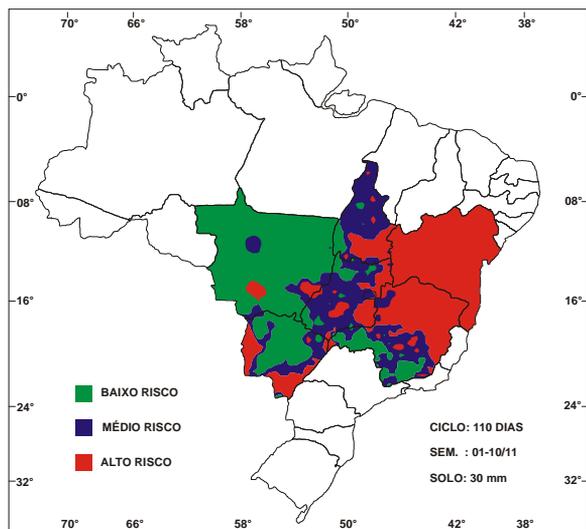


Figura 4. Espacialização de riscos climáticos para semeadura de arroz de sequeiro (110 dias), no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 30 mm.

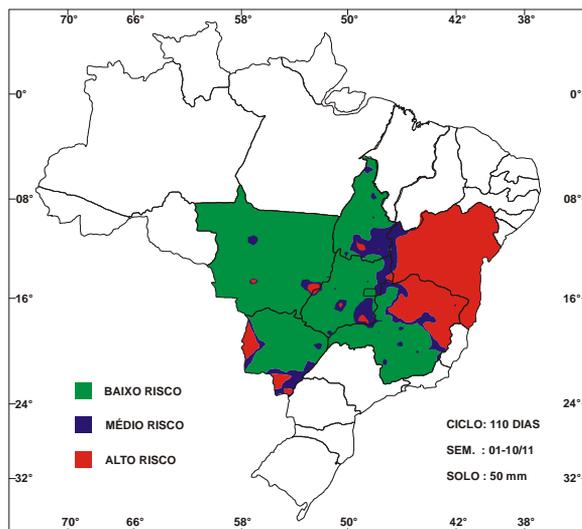


Figura 5. Espacialização de riscos climáticos para semeadura de arroz de sequeiro (110 dias), no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 50 mm.

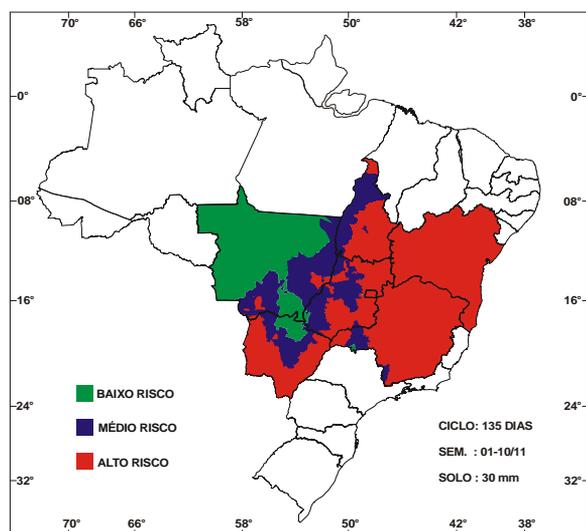


Figura 6. Espacialização de riscos climáticos para semeadura de arroz de sequeiro (135 dias), no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 30 mm.

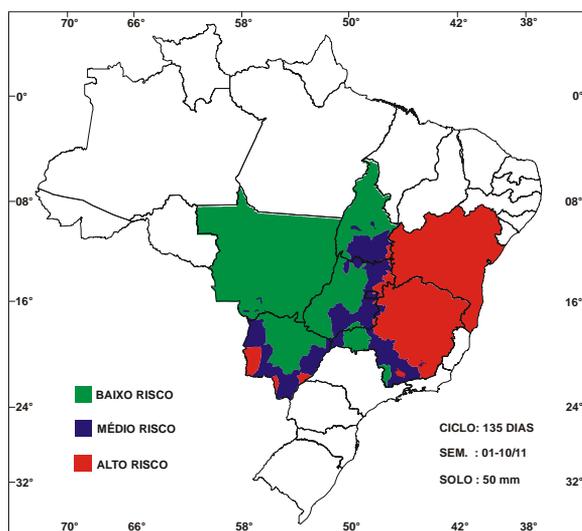


Figura 7. Espacialização de riscos climáticos para semeadura de arroz de sequeiro (135 dias), no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 50 mm.

Considerando-se a semeadura de 1º a 10 de novembro, cultivar com ciclo de 110 dias e solo com capacidade de armazenamento de água de 50 mm (tipo 2), verifica-se, na Figura 5, que cerca de 70% da área apresenta condição de baixo risco climático ao cultivo de arroz de sequeiro.

Ao comparar as Figuras 4 e 5, observa-se que, com o aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, ocorre um acréscimo de áreas com condição de baixo risco climático ao cultivo de arroz de sequeiro.

Variando o ciclo (135 dias) e, mantendo-se as

mesmas datas de semeadura (Figuras 6 e 7), o risco é mais acentuado, tanto para os solos de baixa retenção de água (30 mm), como para os de média retenção de água (50 mm). Neste caso, o risco de ocorrência de veranicos na fase fenológica de enchimento de grãos é maior.

Conclusões

As principais conclusões deste trabalho são:

- as simulações do balanço hídrico associadas a técnicas de geoprocessamento, permitiram identificar no tempo e no espaço, as melhores datas de semeadura de arroz de sequeiro na região Centro-Oeste do Brasil e da região do sudoeste baiano que é considerada como área de cerrado;
- com a probabilidade de 80% de chances de sucesso de se evitar o veranico na fase de enchimento de grãos, as variáveis a serem consideradas por ordem de importância são: retenção de água no solo e duração do ciclo. Quanto maior a capacidade de armazenamento de água no solo, associado ao ciclo mais curto, menor serão as perdas;
- o risco de perda se acentua quanto mais tarde for a semeadura, independente do solo e do ciclo da cultura, uma vez que as chances de ocorrerem veranicos nos períodos compreendidos entre janeiro e fevereiro são acentuadas nesta região incluindo o sudoeste baiano;
- de forma geral, para semeaduras realizadas após 20 de dezembro, o risco climático é bastante acentuado para a cultura de arroz de sequeiro, exceto em algumas localidades do estado de Mato Grosso, o qual apresenta uma distribuição pluvial bastante regular. Assim, é possível realizar semeadura de arroz de sequeiro até meados de janeiro em regiões localizadas, principalmente, no noroeste do estado de Mato Grosso.

Referências bibliográficas

AFFHOLDER, F., RODRIGUES, G.C., ASSAD, E.D. Modelo agroclimático para a avaliação do comportamento do milho na região dos cerrados. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, Brasília, v.32, n.10, p.993-1002, 1997.

ASSAD, E.D. **Simulation de irrigation et du drainage pour les pluvielles de riz de maiz en soils de bas-fonds a Brasília**. Montpellier: IRAT, 1986. 10p. (Memories et Travaux de IRAT, 13).

ASSAD, E.D. **Utilisation des satellites météorologiques pour lesuivi agroclimatique des cultures em zone sahelienne**: cas du Senegal. Montpellier: Université de Montpellier, 1987. 258p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**: 1961-1990. Brasília, 1992. 84p.

CÂMARA, G., MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistema de informações geográficos, aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa SPI. 2.ed., 1998. 434p.

DANCETTE, C. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en xone Soudanno-Sahellienne. **L'Agronomie Tropicale**, Paris, v.38, n.4, p.267-280, 1984.

FELGUEIRAS, C.A. **Desenvolvimento de um sistema de modelagem digital de terreno para microcomputadores**. 1987. 243p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

FOREST, F., KALMS, J.M. Influence du regime d'alimentation en eau sur production du riz pluvial et simulation du bilan hydrique. **L'Agronomie Tropicale**, Paris, v.39, n.1, p.42-50, 1984.

FRANQUIN, P., FOREST, F. Des programmes dévaluation et analyse fréquentielles des termes du bilan hydrique. **L'Agronomie Tropicale**, Paris, v.32, n.1, p.1-22, 1977.

GOEDERT, W.J. **Solos dos cerrados**: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel, 1986. 422 p.

MARBLE, D.F., PEUQUET, D.J. **Geographics information system and remote sensing**: manual of remote sensing. 2. ed. Falls Church: American Society of Photogrametry, 1983. p.923-958.

MATSUSHIMA, S. **Some experiments on soil-plant relationships in rice**. Kuala Lumpur: Kuala Lumpur Cooperative, 1962. 35p.

MEIRELES, E.J.L., SILVA, S.C. da, ASSAD, E.D. et. al. **Zoneamento agroclimático para o arroz de terras altas no estado de Tocantins**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 72p. (Documentos, 58).

PINHEIRO, B. da S. **Estudo das relações hídricas durante o processo de emissão de panículas e antese do arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.)**. 1989. Tese (Doutorado) UNICAMP, Campinas, 1989.

SILVA, S.C., ASSAD, E.D., SANO, E.E. et al. **Zoneamento agroclimático para o arroz de terras altas no estado de Goiás**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994.

SILVA, S.C. da, MEIRELES, E.J.L., ASSAD, E.D. et al. **Caracterização do risco climático para a cultura do arroz de terras altas no estado de Mato Grosso**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1997. 18p. (Documentos, 76).

SILVA, S.C. da, MEIRELES, E.J.L., ASSAD, E.D. et al. **Zoneamento agroclimático para o cultivo do arroz de terras altas no estado de Minas Gerais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 64p. (Documentos, 97).

STEINMETZ, S., REYNIERS, F.N., FOREST, F. Evaluation of the climatic risk on upland rice in Brazil. In: COLLOQUE "RESISTANCE A LA RECHERCHES EN MILLIEN INTERTROPICAL: QUELLES RECHERCHES AND YIELD POUR LE MOYEN TERME?", 1984, Dakar. **Proceedings**. Paris: CIRAD, 1985. p.43-54.

STONE, L.F. **Produtividade e utilização do nitrogênio pelo arroz (*Oryza sativa* L.)**: efeito de deficiência hídrica, cultivares e vermiculita. 1982. 200p. Tese (Doutorado em Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1982.

YOSHIDA, S., PARAO, F.T. Climatic influence on yield components of lowland rice in the tropics. In: SYMPOSIUM ON CLIMATE & RICE, 1974, Los Baños. **Proceedings**. Los Baños: IRRI, 1976. p.471-494.