

Palmas, TO / Junho, 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Risco climático e época de semeadura do arroz irrigado no estado do Tocantins

Balbino Antonio Evangelista⁽¹⁾, Laura Resplandes de Sousa Paz⁽²⁾, Tais Souza dos Santos Dias⁽³⁾, Silvando Carlos da Silva⁽⁴⁾, Luís Fernando Stone⁽⁵⁾, Alberto Baêta dos Santos⁽⁶⁾, Alexandre Bryan Heinemann⁽⁷⁾, Artemísia Soares Limeira⁽⁸⁾, Júlia Stephane Melo Eneas⁽⁹⁾

⁽¹⁾Analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO. ⁽²⁾Bolsista de Estímulo a Inovação da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO. ⁽³⁾Bolsista CAPES, Universidade de São Paulo – USP/Esalq, Piracicaba, SP. ⁽⁴⁾Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO. ⁽⁵⁾Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO. ⁽⁶⁾Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO. ⁽⁷⁾Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO. ⁽⁸⁾Bolsista de Estímulo a Inovação da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO. ⁽⁹⁾Bolsista de Estímulo a Inovação da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO.

Resumo – No ambiente tropical, o arroz é produzido nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e ocupa 13,2% da área total cultivada no Brasil. Apesar de ser responsável por somente 20% da produção nacional, o arroz cultivado no ambiente tropical apresenta importante contribuição para a segurança alimentar do país. Este estudo teve como objetivo otimizar o uso dos recursos naturais (temperatura, radiação solar e precipitação) por meio da compreensão das relações da cultura com os componentes solo e clima, com o intuito de minimizar riscos de perda de produção da cultura por eventos climáticos. Para isso, utilizou-se o modelo de simulação de crescimento e rendimento do arroz, ORYZAv.3, que foi parametrizado, calibrado e validado com o uso de dados de clima, solo e de desenvolvimento e produtividade da cultura, para obter o zoneamento agrícola de risco climático do arroz tropical irrigado para o estado do Tocantins. De acordo com os resultados obtidos, observou-se que é possível obter bons rendimentos de arroz irrigado quando cultivados no período de agosto até fevereiro, mas o estudo indica também que as maiores produtividades com baixos riscos (máximo de 20%) podem ser alcançados com semeaduras entre 1 de outubro e 20 de novembro, especialmente na região de várzeas do Tocantins. A semeadura precoce, de modo geral, está associada à restrição hídrica; enquanto a tardia, à redução da radiação solar global no período de enchimento de grãos e ao aumento da temperatura do ar.

Termos para indexação: *Oryza sativa* L., plantio, modelos de simulação de cultura.

Climatic Risk and Sowing Period of Irrigated Rice in the State of Tocantins

Abstract – In the tropical environment, rice is produced in the North, Northeast and Center-West regions and occupies 13.2% of the total area cultivated in Brazil. Despite accounting for only 20% of national production, rice grown in the tropical environment makes an important contribution

Embrapa Pesca e Aquicultura

Avenida NS 10,
Loteamento Água Fria,
Caixa Postal nº 90,
Palmas, TO
Fone: (63) 3229-7800
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Roberto Manolio Valladão Flores
Secretário-executivo
Diego Neves de Sousa
Membros
*Alexandre Uhlmann, Clenio Araújo,
Fabrício Pereira Rezende, Hellen
Christina de Almeida Kato, Jefferson
Cristiano Christofoletti, Luciana
Cristine Vasques Villela, Luiz
Eduardo Lima de Freitas*

Edição executiva
Alexandre Uhlmann

Revisão de texto
Clenio Araújo

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Júlio César da Silva Delfino

Publicação digital (2024): PDF

to food security in Brazil. The aim of this study was to optimize natural resources (temperature, radiation and rainfall) by understanding the relationship between the crop and the soil and climate components, with the goal of minimizing the risk of loss of crop production due to climatic events. To do this, the rice growth and yield simulation model, ORYZAv3, was parameterized, calibrated and validated using climate, soil and crop development and productivity data, in order to obtain the agricultural zoning of climate risk for irrigated tropical rice for the state of Tocantins. According to the results obtained, there are good yields of irrigated rice when sown in the period from August to February, but the study also indicates that the highest yields with low risks (maximum 20%) can be achieved with sowings between October 01st and November 20th, especially in the Tocantins floodplain region. Early sowing is generally associated with water restriction, while late sowing is associated with a reduction in global solar radiation during the grain-filling period and an increase in air temperature.

Index terms: *Oryza sativa* L., Planting, Crop Modeling.

Introdução

Importância da cultura e características do cultivo no Tocantins

O arroz (*Oryza sativa* L.) está entre os três cereais mais cultivados no mundo e presente na base alimentar da maior parte da sociedade. O Brasil é o 11º maior produtor mundial deste cereal, com aproximados 11,6 milhões de toneladas em 2021 (IBGE, 2022). Existem dois sistemas de cultivo no país: o de várzeas, irrigado por inundação controlada; e o de terras altas, que são os cultivos de sequeiro, praticados durante a estação chuvosa, sem a necessidade do uso de irrigação. O cultivo do arroz sob irrigação apresenta rendimentos bem superiores em relação ao método de sequeiro. O arroz irrigado é produzido em diferentes regiões do país, do Rio Grande do Sul a Roraima. Basicamente, a produção é dividida em dois ambientes, de acordo com as condições climáticas: o ambiente subtropical responsável por 80% da produção nacional, com destaque aos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina; e o ambiente tropical, sendo a maior área de produção localizada no estado do Tocantins (Conab, 2020).

A produção de arroz irrigado em ambiente tropical apresenta importantes contribuições para a

segurança alimentar: facilita a logística de distribuição do arroz para estados do Norte e do Nordeste do Brasil; minimiza o risco de oferta em decorrência dos impactos de fenômenos climáticos severos que podem reduzir a produção do arroz no Sul do Brasil (Santos et al., 2017).

O Tocantins é o terceiro maior produtor de arroz do país e o único produtor expressivo deste cereal na região Norte, sendo responsável por aproximadamente 6% da produção nacional, com 82,2 mil hectares de área plantada e 518,7 mil toneladas produzidas no ano safra 2022/23 (Conab, 2023). As áreas cultivadas estão concentradas nas várzeas do Vale do Araguaia (Sudoeste do estado), região que abrange cerca de 1,2 milhão de hectares de várzeas tropicais planas, o que confere à região grande potencial de expansão da atividade orizícola.

Esta publicação apresenta aderência à meta 2.4 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável, que prevê para até 2030: i) pelas Nações Unidas, acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável; e ii) pelo Brasil, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e melhorando progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar.

Principais características, necessidades e respostas da cultura ao clima

Os fatores climáticos são os que mais influenciam o rendimento final da cultura do arroz. As variáveis climáticas limitantes para a produção do arroz irrigado na região são: a luminosidade, quando não ocorre o número suficiente de horas de sol durante a safra, as reduções da insolação e da taxa fotossintética são consequências da grande presença de nuvens no período de produção; e as altas temperaturas.

A temperatura do ar ótima para o desenvolvimento da planta está entre 20°C e 35°C, sendo esta faixa a ideal para a germinação, de 30°C a 33°C para a floração e de 20°C a 25°C para a maturação. Temperaturas do ar superiores a 35°C podem ser prejudiciais à cultura, causando esterilidade das

espiguetas e queda na produção (Steinmetz et al., 2013).

A radiação solar insuficiente impacta o rendimento da cultura, especialmente em duas fases da planta: a reprodutiva; e a de maturação. Na primeira, desde a diferenciação da panícula à floração, o aporte de radiação solar global abaixo do ideal afeta o número de grãos por panícula; e na segunda, da floração à maturação fisiológica do grão, a baixa incidência de energia reduz o enchimento e a massa ideal dos grãos (Steinmetz et al., 2013).

Em função do exposto, deduz-se que a época de semeadura é uma das práticas de manejo que desempenha papel de destaque na redução do risco climático. Isto se dá pelo fato de aumentar as chances de que as fases críticas ou sensíveis da planta não coincidam com a maior frequência de ocorrência dos elementos climáticos adversos.

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo identificar as épocas de semeadura para a cultura do arroz irrigado no estado do Tocantins com baixo risco de quebra de rendimento das lavouras por eventos climáticos, especificamente as janelas de plantio limitadas com risco de 20%, 30% e 40% de redução da produtividade das lavouras por efeito da umidade do solo, da temperatura do ar e da radiação solar.

Material e Métodos

Área de estudo

Neste estudo, a etapa inicial de calibração e validação do modelo de rendimento, crescimento e desenvolvimento do arroz irrigado ocorreu nos municípios do estado do Tocantins que integram a Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, destacados aqueles como maiores produtores de arroz irrigado: Dueré; Cristalândia; Lagoa da Confusão; Formoso do Araguaia; e Pium. O clima predominante nessa região é o subúmido com deficiência hídrica moderada (C2W), de acordo com a classificação de Thornthwaite-Mather (Tocantins, 2012). Ainda sobre os aspectos climáticos dessa região, segundo o método de Thornthwaite, a bacia apresenta clima úmido com deficiência hídrica moderada a nula, precipitação média anual entre 1.300 e 1.800 mm e temperatura média anual entre 25,5°C e 26°C (Tocantins, 2007).

A maior área dedicada ao arroz irrigado, de relevo plano e altitude em torno de 200 m, se concentra em cinco municípios, como mostra a Figura 1. Esta região de várzea é responsável por 96% da produção de arroz no Tocantins. A caracterização da produção de arroz irrigado tropical na

região Sudoeste do estado identificou 110 propriedades que cultivam arroz; a área destinada à cultura na Lagoa da Confusão é de 60.897 hectares, em Formoso do Araguaia de 21.088 ha, Pium e Cristalândia de 14.008 ha e Dueré de 12.017 ha (Fragoso et al., 2019).

O arroz irrigado cultivado na planície sedimentar do Rio Araguaia predomina-se em solos da classe dos Plintossolos Argilúvicos e Gleissolos, caracterizados pela baixa fertilidade natural e pelos baixos valores de pH. Em relação aos Plintossolos dessa região, a característica mais marcante é a presença de plintita no perfil, sem ou com pouca petroplintita, que geralmente permanecem saturados com água ou submersos na maior parte do ano. A presença de plintita em profundidade acaba por formar uma camada de impedimento à drenagem, o que favorece a manutenção da lâmina d'água e proporciona melhores condições de umidade no perfil do solo na época da estiagem. Os Gleissolos presentes na região de produção, por sua vez, são marcados por baixa fertilidade natural, muitos dos quais com elevados teores de alumínio extraível em profundidade, dificultando a neutralização da acidez com a calagem (Santos et al., 2008).

Calibração e validação do modelo de simulação da produtividade, do crescimento e do desenvolvimento do arroz

Nesta etapa do estudo, o desenvolvimento e a produtividade da cultura em resposta às condições climáticas da região foram analisados através do modelo de simulação do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do arroz denominado ORYZAv3. Modelos como esse são utilizados para calibrar e validar o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento de cada cultivar adaptada e recomendada para dada região.

De maneira simplificada, o modelo utiliza uma série de módulos ou processos para simular o desenvolvimento, o crescimento e a produtividade da planta de arroz. Para isso, são considerados fatores e variáveis relacionados ao solo, ao clima, à cultivar ("características genéticas") e ao manejo da cultura. No que diz respeito ao clima, o modelo utiliza como variável de entrada os dados diários de temperatura mínima e máxima do ar, a radiação solar global e a precipitação pluvial.

O modelo ORYZAv3 vem sendo amplamente utilizado no Brasil, com níveis relativamente altos de acurácia, para estimar a produtividade das principais cultivares de arroz irrigado nas distintas regiões produtoras do país (Heinemann et al., 2012, 2015, 2019,

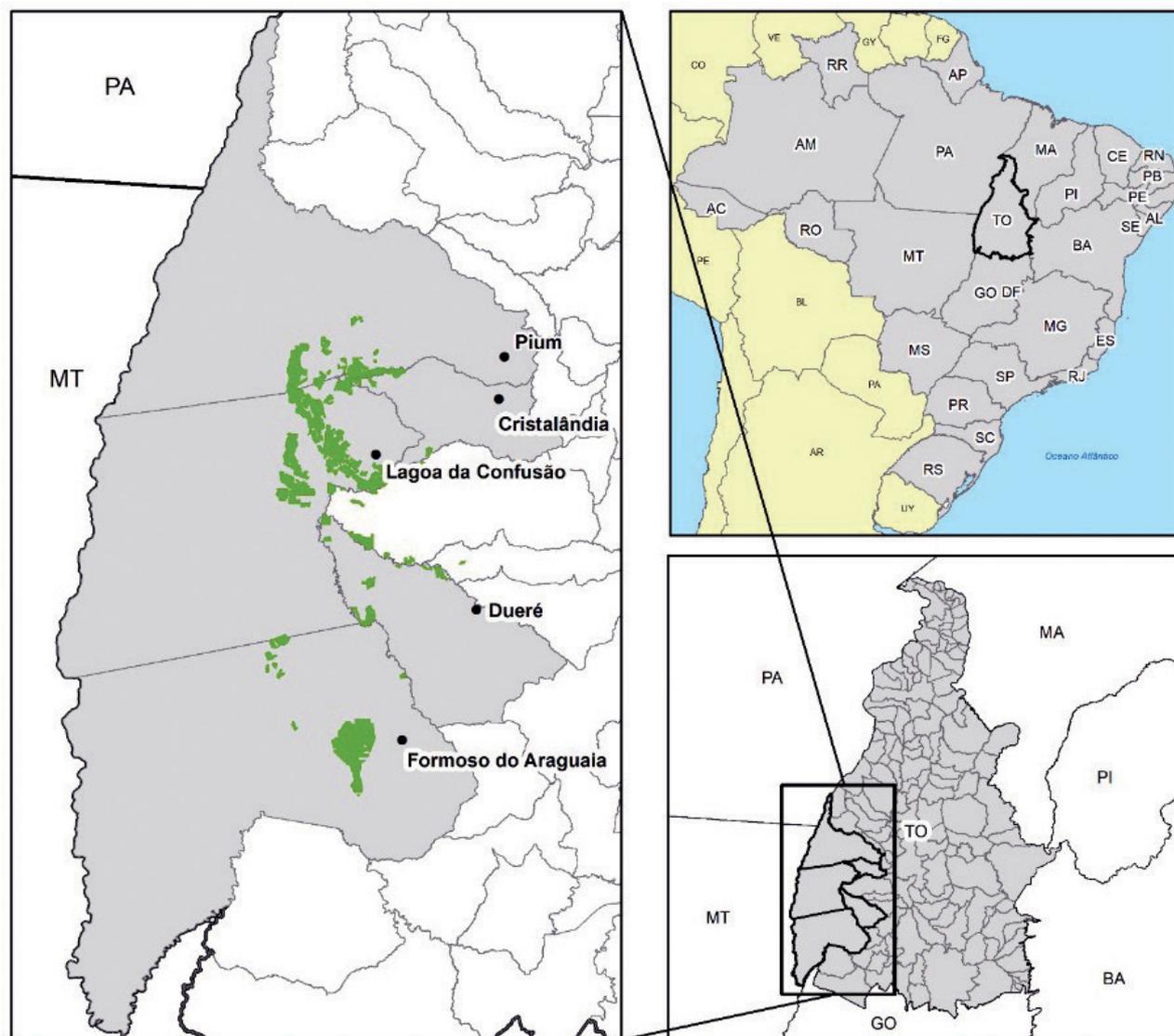


Figura 1. Distribuição geográfica das áreas com produção de arroz irrigado no estado do Tocantins (em verde) e localização geográfica do estado e dos municípios produtores de arroz irrigado.

2021). Por apresentar bom desempenho gerando simulações precisas e aceitáveis para representar a realidade de campo, o ORYZAv3 foi recentemente adotado nas pesquisas e na operacionalização dos estudos de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) no Brasil.

Vale destacar que, no processo de calibração do modelo para simular o desenvolvimento e o rendimento do arroz irrigado, não foram consideradas as ocorrências de deficiência hídrica, de nutrientes e de estresses bióticos durante o cultivo. Assim, admite-se que o produtor adotará o sistema de produção com uso de tecnologia para garantir bom desenvolvimento da planta e ofertas de água e nutrientes, bem como que o controle de pragas e doenças será realizado

conforme preconizado para garantir a sanidade das plantas.

A parametrização do modelo é o processo pelo qual se obtêm os coeficientes específicos de uma cultivar por meio de dados observados em experimentos de campo, índices que expressam a produtividade da cultivar por meio da sua interação com o ambiente e o manejo. Neste estudo, o ORYZAv3 foi parametrizado para simular a cultivar BRS Catiana por meio de dados provenientes de ensaios realizados em Goianira (GO) e na região de Formoso do Araguaia (TO). Essa cultivar foi desenvolvida pela Embrapa para ser cultivada na região tropical, apresenta ciclo de desenvolvimento médio, de aproximadamente 124 dias. Com o acompanhamento do desenvolvimento da planta, foram

parametrizados a fenologia e os parâmetros específicos da cultivar relacionados ao crescimento da cultura, isto é, área foliar específica; coeficiente de extinção de luz; coeficientes de partição entre órgãos; coeficiente de senescência foliar; e taxas de remobilização de carboidratos para armazenamento de reservatórios de caule, raiz e folha.

Para validar o modelo ORYZAv3, processo que verifica se a parametrização da cultivar está adequada e é representativa de outros ensaios que expressam sua produtividade, utilizaram-se os dados de experimentos de campo (produtividade e data de florescimento) realizados pelo programa de melhoramento nas regiões de produção do arroz irrigado tropical denominados Valor de Cultivo (VCU).

Nesse estudo, utilizou-se uma base climática de 36 anos de dados diários (1980-2016) elaborada por Xavier et al. (2016) para Dueré, Cristalândia, Lagoa da Confusão, Piuim e Formoso do Araguaia, municípios representativos da região produtora de arroz irrigado do estado do Tocantins. Também foram utilizados dados físico-hídricos de um solo hidromórfico, representativo da região de várzea, caracterizado por apresentar lençol freático próximo à superfície durante a maior parte do ano e estar situado em áreas de relevo plano e que reúne as condições exigidas pela cultura.

As simulações de semeadura foram realizadas para o período de outubro a janeiro (05/out, 15/out, 25/out, 05/nov, 15/nov, 25/nov, 05/dez, 15/dez, 25/dez, 1/jan, 10/jan, 20/jan e 30/jan).

Foram utilizados os resultados de produtividade referentes às datas de semeadura para a determinação do risco climático e da indicação de época de semeadura, denominadas aqui como produtividade relativa (PRel). Numa etapa seguinte, os dados de PRel foram submetidos à análise estatística em que, por um processo de normalização, dividiu-se a PRel pela produtividade de referência (PRef). A PRef foi determinada a partir da análise do conjunto de produtividades simuladas (PRel) resultantes deste processo e representa, na escala de análise frequencial, o valor do percentil 0,95 (95%) da PRel, que nesta etapa do estudo foi de 10.000 kg ha⁻¹.

Definiram-se como condição adversa, de produtividade baixa ou inviável, os anos de safra que resultaram em produtividades (PRel) inferiores a 70% (30% de quebra da produtividade) da produtividade de referência (RRef). Assim, os níveis de risco, frequência dos anos em que o PRel foi maior ou igual a 70% do PRef, foram utilizados para a classificação municipal, sendo indicados para os níveis de risco de 10% (90% de sucesso), de 20% (80% de sucesso) e de 30% (70% de sucesso).

Indicação de épocas de semeadura do arroz irrigado no estado do Tocantins

Após a calibração e a validação do modelo ORYZAv3, nesta etapa do estudo a metodologia foi ajustada para analisar os riscos inerentes ao cultivo do arroz irrigado em todo o estado do Tocantins, dada a sua diversidade de ambientes, especificamente climática, que, na classificação de Thornthwaite-Mather, apresenta seis zonas climáticas, com predomínio do tipo C2W (clima subúmido com deficiência hídrica moderada). Este clima se caracteriza por apresentar um período chuvoso no verão, entre os meses de outubro e abril, e outro período seco e também quente no inverno, entre os meses de maio e setembro. A precipitação pluvial média anual varia entre 1.300mm e 2.100 mm, com maiores índices observados na região Noroeste e os menores acumulados de chuva na região Sudeste, na divisa com a Bahia. A temperatura média anual varia entre 25°C e 27°C (Tocantins, 2012).

Seguindo as premissas dos estudos de ZARC no âmbito do Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático, instrumento orientador das políticas de seguro agrícola e Programa de Subvenção ao Prêmio (PSR), esta fase do estudo teve como objetivo analisar os riscos climáticos e indicar as épocas de semeadura em três níveis de risco de quebra de rendimento de 20%, 30% e 40%, podendo também ser interpretado como chances ou probabilidades de sucesso de 80%, 70% e 60%, respectivamente.

Na aplicação do modelo calibrado, considerou-se que o solo hidromórfico, representativo de ambiente de várzea, pode estar presente em todo o território do Tocantins e foram adicionados à sua base de estudo os dados das demais estações meteorológicas do estadodisponibilizados por Xavier et al. (2016).

Nesta etapa do estudo, alterou-se também o período de análise de risco. As datas de semeadura foram agosto a fevereiro (05/ago, 15/ago, 25/ago, 05/set, 15/set, 25/set, 05/out, 15/out, 25/out, 05/nov, 15/nov, 25/nov, 05/dez, 15/dez, 25/dez, 05/jan, 15/jan, 25/jan, 05/fev, 15/fev e 25/fev).

Por meio do modelo ORYZAv3, foi simulada a produtividade da cultura do arroz irrigado tropical para todos os municípios tocantinenses, considerando as 21 datas de semeaduras e os 36 anos de dados climáticos históricos, ou seja, 36 índices de rendimento (kg ha⁻¹) por data de semeadura.

Para a determinação do risco climático, as produtividades simuladas pelo modelo para cada município, data de semeadura e ano, denominadas

aqui como Produtividade Relativa (PRel), foram normalizadas. Para o cálculo da normalização, dividiu-se a PRel pela produtividade de referência (PRef). A PRef representa o valor do percentil 0,90 (90%) da PRel, que neste estudo foi de 12.336 kg ha⁻¹. Ainda, definiu-se como condição adversa ou produtividade insuficiente os anos de safra que resultaram em produtividades (PRel) inferiores a 70% da produtividade de referência (RRef). Assim, os níveis de risco, frequência dos anos em que o PRel foi maior ou igual a 70% do PRef, foram utilizados para a classificação municipal, sendo classificados para os níveis de risco de 20% (80% de sucesso), de 30% (70% de sucesso) e de 40% (60% de sucesso).

Resultados e Discussão

Calibração e validação do modelo de simulação da produtividade, do crescimento e do desenvolvimento do arroz

As probabilidades de obtenção das produtividades simuladas (PRef) do arroz irrigado para os níveis de risco de 20% e 10% (80% e 90% de sucesso) nos municípios produtores que integram a área de estudo estão apresentadas na Tabela 1. Observa-se que, para o nível de risco para 20% (80% de sucesso), houve uma diminuição na probabilidade máxima de ocorrência de sucesso (100%), principalmente para as datas de semeadura após 25 de dezembro. Considerando o nível de risco de 10% (90% de sucesso), esse decréscimo na probabilidade de ocorrência

ocorre para todas as datas de semeadura, sendo mais pronunciado nas datas de semeadura após 5 de dezembro.

Os resultados da análise de probabilidades acumulativas de rendimento do arroz irrigado cultivado nos cinco maiores municípios produtores, para semeaduras nos dias 5, 15 e 25, data central de cada decêndio (períodos de dez dias) do mês, no período de outubro a janeiro, estão apresentados na Figura 2. Observa-se que as datas de semeadura de outubro até 25 de novembro, situadas nas curvas mais à direita na Figura 2, foram aquelas que apresentaram maior probabilidade de obter as maiores produtividades. Cultivos no mês de dezembro apresentam as produtividades intermediárias, mas acima de 9 t ha⁻¹, com frequência de ocorrência superior a 50% dos anos.

Nos meses de dezembro e janeiro, fatores climáticos como radiação solar global e temperaturas do ar, limitam o potencial produtivo da cultura do arroz. Para analisar os fatores climáticos e identificar aqueles que mais afetam o período de semeadura da cultura do arroz no estado do Tocantins, esse período foi dividido em três épocas de semeadura, conforme apresentado a seguir:

- i. Época 1: 1 de outubro a 30 de novembro;
- ii. Época 2: 21 de novembro a 31 de dezembro;
- iii. Época 3: 1 de janeiro a 31 de janeiro.

O impacto da radiação solar global no rendimento da cultura é importante principalmente na fase de enchimento de grãos (Santos et al., 2017; Streck et al., 2020). Para análise desse efeito, a

Tabela 1. Probabilidades de obtenção das produtividades simuladas (PRef) do arroz irrigado para os níveis de risco de 20% e 10% (80% e 90% de sucesso) nos municípios produtores da região de estudo.

Municípios	Datas de semeadura												
	5	15	25	5	15	25	5	15	25	1	10	20	30
	Outubro			Novembro			Dezembro			Janeiro			
Probabilidades para nível de risco de 20%													
Cristalândia	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	100	97	92
Dueré	100	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	100	100
Fормoso do Araguaia	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	97
Lagoa da Confusão	100	100	97	100	100	100	100	100	100	94	97	100	89
Pium	100	100	100	100	100	100	100	100	94	97	97	94	89
Probabilidades para nível de risco de 10%													
Cristalândia	89	75	86	86	83	83	75	67	47	39	25	19	19
Dueré	100	94	92	83	92	94	92	75	67	64	47	36	33
Fормoso do Araguaia	83	78	86	86	89	89	86	69	53	53	36	25	22
Lagoa da Confusão	81	78	81	81	75	81	75	53	53	42	28	11	17
Pium	69	78	75	69	69	67	50	33	28	25	14	11	08

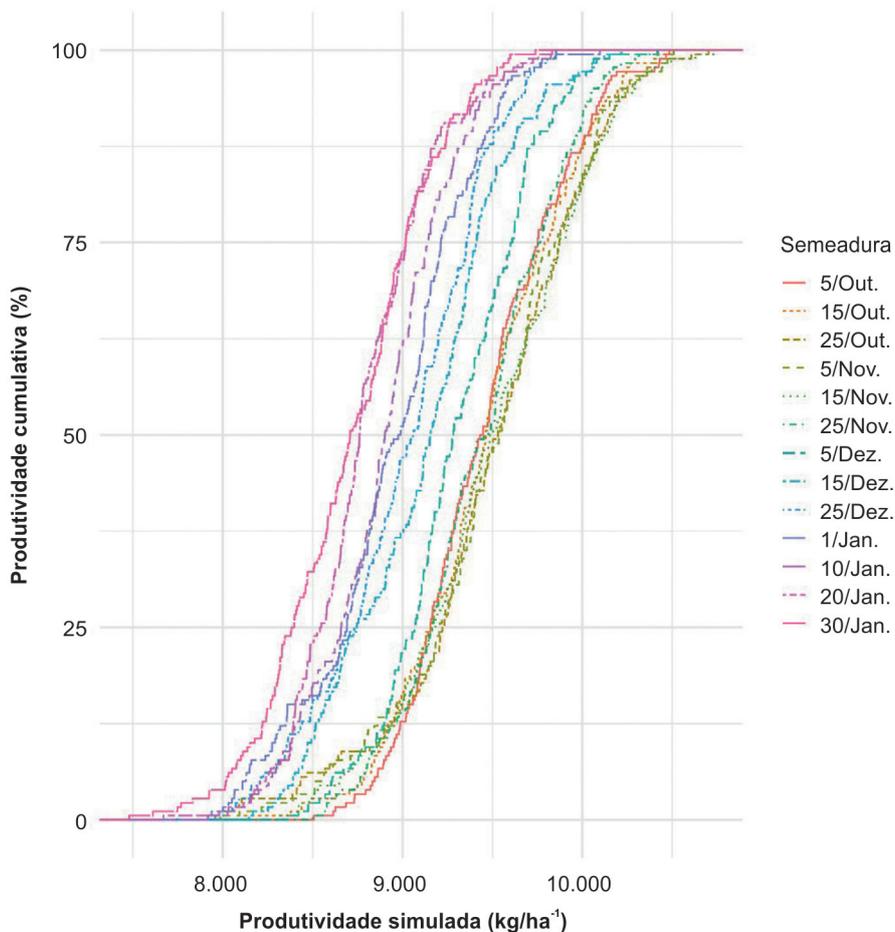


Figura 2. Probabilidade cumulativa da produtividade simulada de arroz irrigado no período de semeadura de outubro a janeiro.

distribuição da série de valores diários de radiação solar (RSol) em escala de frequência de ocorrência nas fases vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos, considerando plantios nos meses de outubro a janeiro, está apresentada na Figura 3. Observa-se que:

- i. para semeaduras entre 1 de outubro e 20 de novembro, aproximadamente 90% dos valores de RSol ocorrem entre 13 e 25 MJ m⁻² dia⁻¹ (300 e 600 cal cm⁻² dia⁻¹) na fase de enchimento de grãos (R4 a R9), sendo 85% observados na fase reprodutiva da cultura. Esses índices de RSol nessas fases são considerados ideais para que o arroz expresse rendimento elevado, conforme Heinemann et al. (2009) e Steinmetz et al. (2013). Em seus estudos, Santos e Rabelo (2008) também descrevem que o Tocantins, em geral, não apresenta limitação de RSol para o cultivo do arroz;
- ii. As semeaduras no período de 21 de novembro a 31 de dezembro também apresentam

frequência elevada (80%) de RSol na faixa ideal na fase de enchimento de grãos. Entretanto, concentra valores extremos (10%), acima de 25 MJ m⁻² dia⁻¹ (600 cal cm⁻² dia⁻¹), tanto nas fases reprodutiva quanto vegetativa; e

- iii. Semeaduras no mês de janeiro apresentam as maiores frequências de ocorrência de valores extremos de RSol, máximos e mínimos, ou seja, acima de 25 MJ m⁻² dia⁻¹ (600 cal cm⁻² dia⁻¹) e abaixo de 13 MJ m⁻² dia⁻¹ (300 cal cm⁻² dia⁻¹). Cerca de 25% dos valores estão fora da faixa ideal em todas as três fases fenológicas.

Outro elemento do clima que é determinante do rendimento do arroz e que está relacionado com a radiação solar é a temperatura do ar. Estudos apontam que as faixas de temperatura ótima para o cultivo do arroz variam de 20°C a 35°C para a germinação, de 30°C a 33°C para a floração e de 20°C a 25°C para a maturação (Steinmetz et al., 2013). Assim sendo, a análise da frequência de ocorrência de temperatura

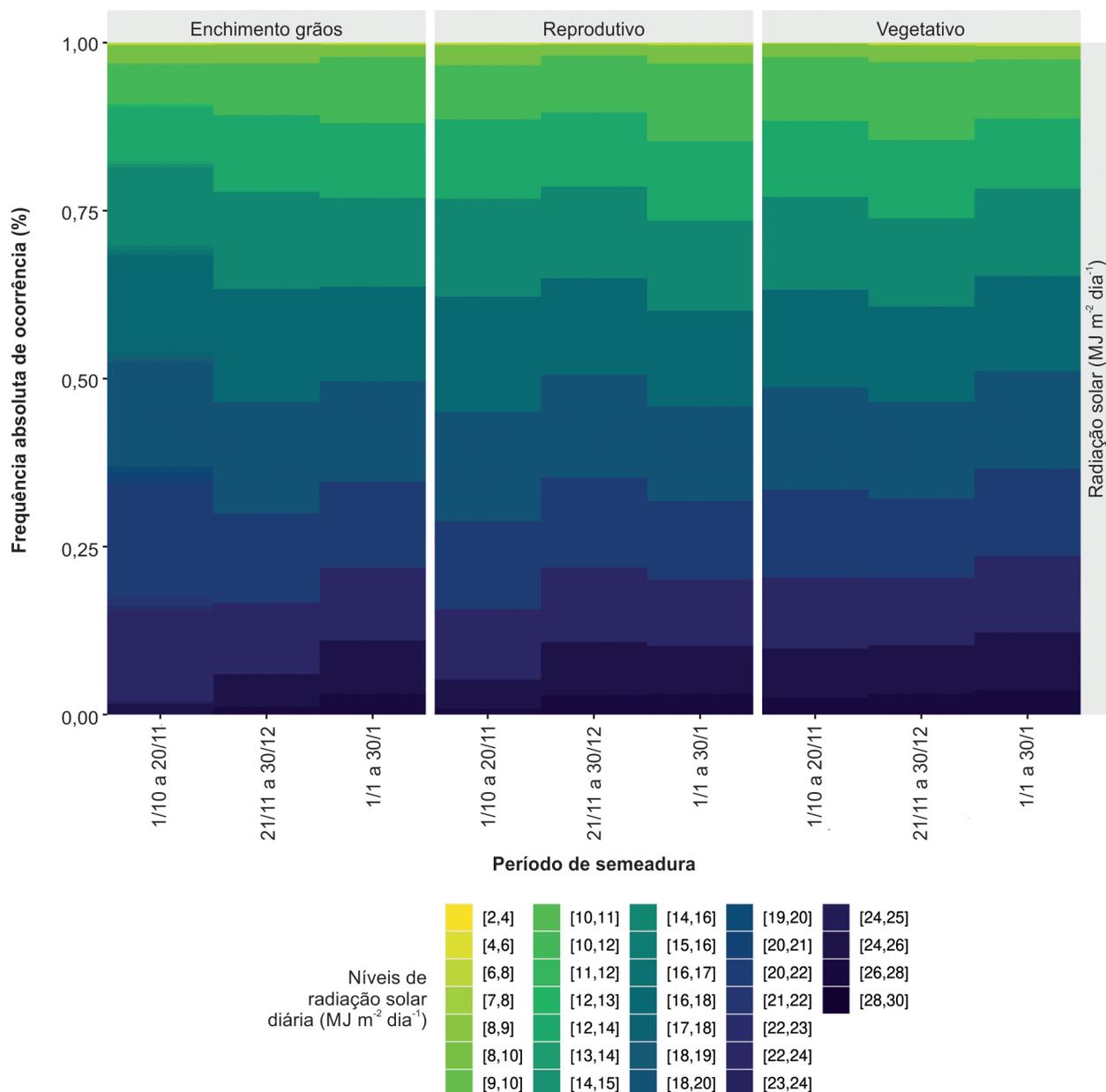


Figura 3. Frequência de ocorrência de radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) nas fases vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos da cultura do arroz para períodos de semeadura de outubro a janeiro.

máxima do ar ($T_{\text{máx}}$) e da temperatura mínima do ar ($T_{\text{mín}}$) apresentadas nas Figura 4 e 5, respectivamente, permitem fazer as seguintes interpretações:

- As menores frequências de ocorrência de T_{max} extrema (superior a 35°C) nos períodos vegetativo (5%), reprodutivo (3%) e de enchimento de grãos (7%) ocorrem quando as semeaduras se iniciam em outubro e finalizam em 20 de novembro;
- As semeaduras que ocorrem entre 21 de novembro e 31 de dezembro estão sujeitas a baixa frequência de T_{max} extrema (superior a 35°C) na fase de enchimento de grãos e

leve aumento nos períodos reprodutivo (5%) e vegetativo (10%); e

- Para semeaduras tardias, no mês de janeiro, existem maiores riscos de ocorrência de temperaturas extremas, especialmente na fase vegetativa com 20% de frequência, 10% no período reprodutivo e 10% no enchimento de grãos.

A distribuição da série de temperatura do ar mínima diária durante os meses de outubro a janeiro está apresentada na Figura 5. Pode-se observar a ocorrência de valores entre $16,5^{\circ}\text{C}$ e $27,5^{\circ}\text{C}$ em toda a série histórica. Mas, ao tomar 20°C como limite

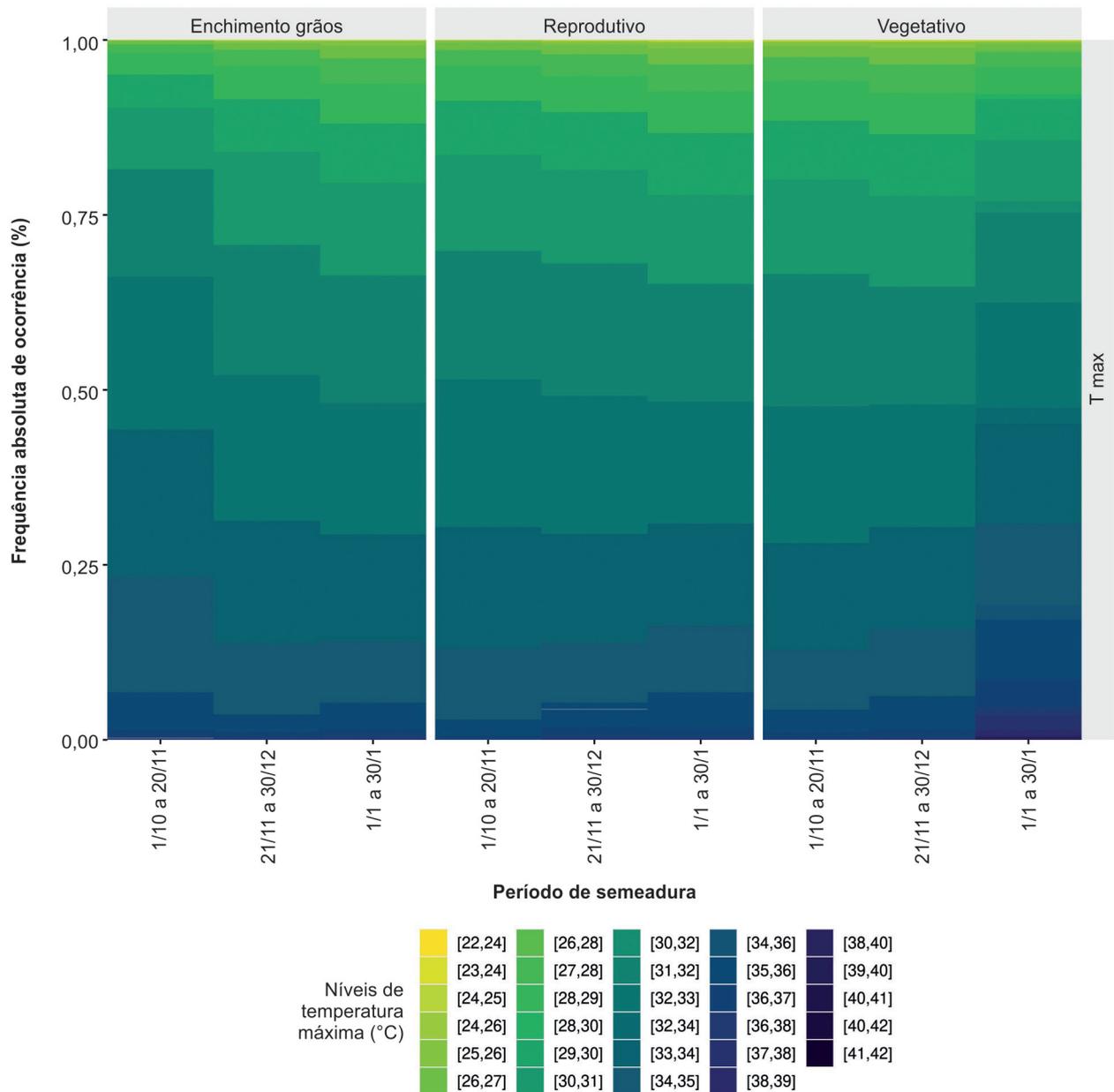


Figura 4. Frequência de ocorrência de temperatura do ar máxima nas fases vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos da cultura do arroz para períodos de semeadura de outubro a janeiro.

de temperatura mínima ideal para a planta, pode-se afirmar que a frequência de ocorrência (ou risco) nas três fases de desenvolvimento da cultura é mínima e insignificante (menor que 5%).

Os impactos da radiação solar e da temperatura no rendimento do arroz irrigado podem ocorrer a partir de suas interações. Índices elevados de radiação solar podem ser benéficos para o arroz, mas podem acarretar quebra de rendimento se estiverem associados a temperaturas máximas extremas (superiores a 35°C). Vale ressaltar que este cenário ocorre quando a atmosfera se encontra com baixa ou com nenhuma nebulosidade.

Em resumo, as semeaduras realizadas entre 01 de outubro e 20 de novembro são aquelas que apresentam os menores riscos de quebra de rendimentos, enquanto os plantios no mês de janeiro representam o período de maior risco. Os maiores valores de temperaturas máxima e mínima do ar nas fases vegetativa e reprodutiva em plantios tardios causam aumento no gasto de energia devido à maior respiração da planta e consequente redução da duração da fase vegetativa, com menor assimilação de carboidratos (menor rendimento de grãos) nessa fase.

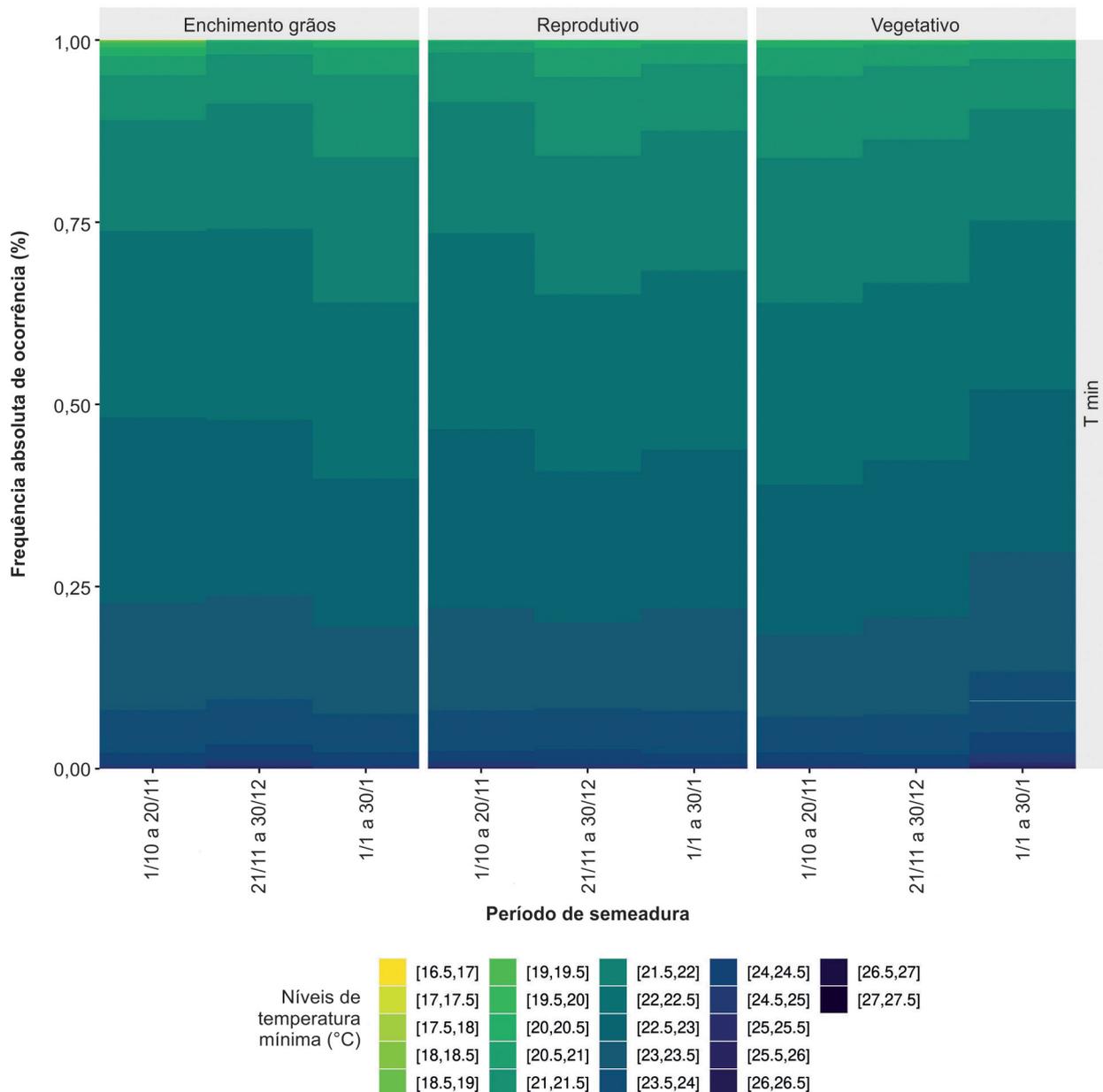


Figura 5. Frequência de ocorrência de temperatura do ar mínima (°C) nas fases vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos da cultura do arroz para períodos de semeadura de outubro a janeiro.

Vale destacar que não são apenas os fatores climáticos associados às características dos solos e adaptação da cultivar ao ambiente de produção que condicionam a época de semeadura, sendo fundamental considerar também as peculiaridades do sistema de produção e manejo da lavoura. Em grande parte das áreas onde o arroz irrigado é cultivado no Tocantins, ocorre a sucessão pela cultura da soja para produção de sementes, conduzida com subirrigação. A janela de semeadura da soja nas várzeas tropicais tocantinenses inicia em 20 de abril e segue até 31 de maio, na região que compreende os municípios de Lagoa da Confusão,

Pium, Formoso do Araguaia, Guaraí e Dueré, conforme estabelece a Instrução Normativa nº 003, de 14 de abril de 2020. Normalmente, o prazo para a colheita da soja se encerra no dia 30 de setembro, isto em função de determinação da Agência de Defesa Agropecuária (Adapec) do Tocantins, por meio de normativa específica. Desta forma, considerando que o preparo do solo para o cultivo da soja deve ser feito com a devida antecedência para permitir a decomposição da palhada no arroz, isso implica em que a colheita do arroz seja concluída até o final de março, podendo se estender até o início de abril.

Em estudo que também faz referência ao manejo da lavoura, Santos e Rabelo (2008) recomendam que no estado do Tocantins a semeadura do arroz deve ocorrer no início do período chuvoso, ou seja, no mês de outubro, estendendo-se até 20 de dezembro, o que favorece a germinação das sementes e o estabelecimento da cultura. Isto porque, nas semeaduras mais tardias, as chuvas podem dificultar a operação de semeadura.

Ainda, outro aspecto que merece ser destacado, é o da importância do bom manejo integrado de pragas e doenças. Nesse sentido, resultados de pesquisa têm mostrado que, quanto mais se retarda a semeadura, maior é a probabilidade de ocorrência de brusone, a principal doença que acomete a cultura do arroz.

Nesse contexto, o presente estudo demonstra que, para manter o potencial produtivo das cultivares de arroz irrigado, a semeadura deve ser realizada até o 2º decêndio do mês de novembro, embora a região Leste do estado apresente janela recomendada até 28 de fevereiro. Assim, o período de semeadura ideal obtido como resultado da simulação, 1 de outubro a 20 de novembro, está coerente quando se considera o sistema de produção preconizado e predominante nas regiões de várzea do Tocantins.

Indicação de épocas de semeadura do arroz irrigado no estado do Tocantins

Em relação à aplicação do modelo calibrado e ajustado para a elaboração do zoneamento agrícola de risco climático para indicação de épocas de semeadura do arroz irrigado para todo o estado do Tocantins, conforme preconizado como instrumento de gestão do Proagro e do Programa de Seguro Rural brasileiro (PSR), os resultados estão apresentados nas Figuras 6 a 8, sendo delimitadas as janelas de semeadura para riscos de até 40% ou de até 60% de sucesso, separadas para as três escalas de riscos, sendo:

- i. 80% de sucesso ou risco de 20% (Figura 6);
- ii. 70% de sucesso ou risco de 30% (Figura 7);
- e
- iii. 60% de sucesso ou risco de 40% (Figura 8).

Vale ressaltar que os riscos referidos são de quebra de rendimento das lavouras por eventos climáticos e que os períodos de semeadura são indicados para as cultivares de ciclo médio, a maioria dos materiais cultivados no Tocantins.

Na Figura 6, está apresentado o mapa contendo as épocas de semeadura com os riscos menores, limitados a 20% de quebra de rendimento das lavouras ou chances de 80% de sucesso. Diante das 22

janelas de semeadura listadas nesse cenário, observa-se que na parte Leste do Tocantins os municípios apresentam datas semelhantes, sendo a região com maior intervalo de semeadura, entre 01/08 e 28/02. Já na porção Noroeste, é possível observar uma maior diversidade de épocas de plantio do arroz irrigado, variando entre 01/08 e 31/12, com janela menor e intervalos entre os períodos. O extremo Norte do estado, parte da região do Bico do Papagaio, não apresenta indicações de cultivo, os riscos são superiores a 20%.

O mapa que representa as épocas de semeadura do arroz de ciclo médio, com cultivo irrigado em solos de várzea (hidromórficos), com risco de 30% (70% de sucesso), está apresentado na Figura 7. Observam-se 40 diferentes períodos de plantio, sendo que na maioria deles ocorre interrupção da janela entre as datas de início e fim, ou seja, apresentam duas janelas distintas de semeadura. Nessa condição de risco, nos municípios localizados nas porções Oeste e Central do estado, os períodos de plantio normalmente iniciam em agosto e finalizam até o 1º decêndio de dezembro, enquanto no extremo da região Leste não foi observada semeadura por se enquadrar em outros riscos.

Em condições de 40% de risco de perda de rendimento (Figura 8), ou seja, com possibilidade de sucesso limitada a 60% (seis anos de cultivos viáveis de cada dez), as janelas de semeadura estão concentradas nas regiões Norte e Oeste do Tocantins. Nessa condição, de maneira geral os cultivos se iniciam no mês de agosto (Norte) e se encerram em fevereiro, seguindo o sentido da direção Norte-Sul.

Por fim, considerando os riscos maiores (30% e 40%), observa-se que nos municípios da região Leste do Tocantins não são recomendados cultivos; eles apresentam janelas amplas de plantio, de agosto a fevereiro, com risco máximo de 20%.

A janela máxima de semeadura para cada município, com risco máximo de 40% ou possibilidades mínimas de 60% de sucesso de obter bom rendimento da lavoura, pode ser estimada pela soma dos períodos de plantio apresentados em cada um dos mapas apresentados nas Figuras 6, 7 e 8. Esta informação pode ser útil, por exemplo, no planejamento de plantios escalonados, uma forma de reduzir risco e obter maiores rendimentos.

No contexto deste estudo, entende-se que o momento de tomada de decisão de plantar ou não em determinado período de maior risco de perder rendimento da lavoura, igual ou superior a 40%, por exemplo, é definido por vários critérios e/ou cenários a serem considerados; entre eles, têm-se o custo atual de produção e o valor do produto no mercado

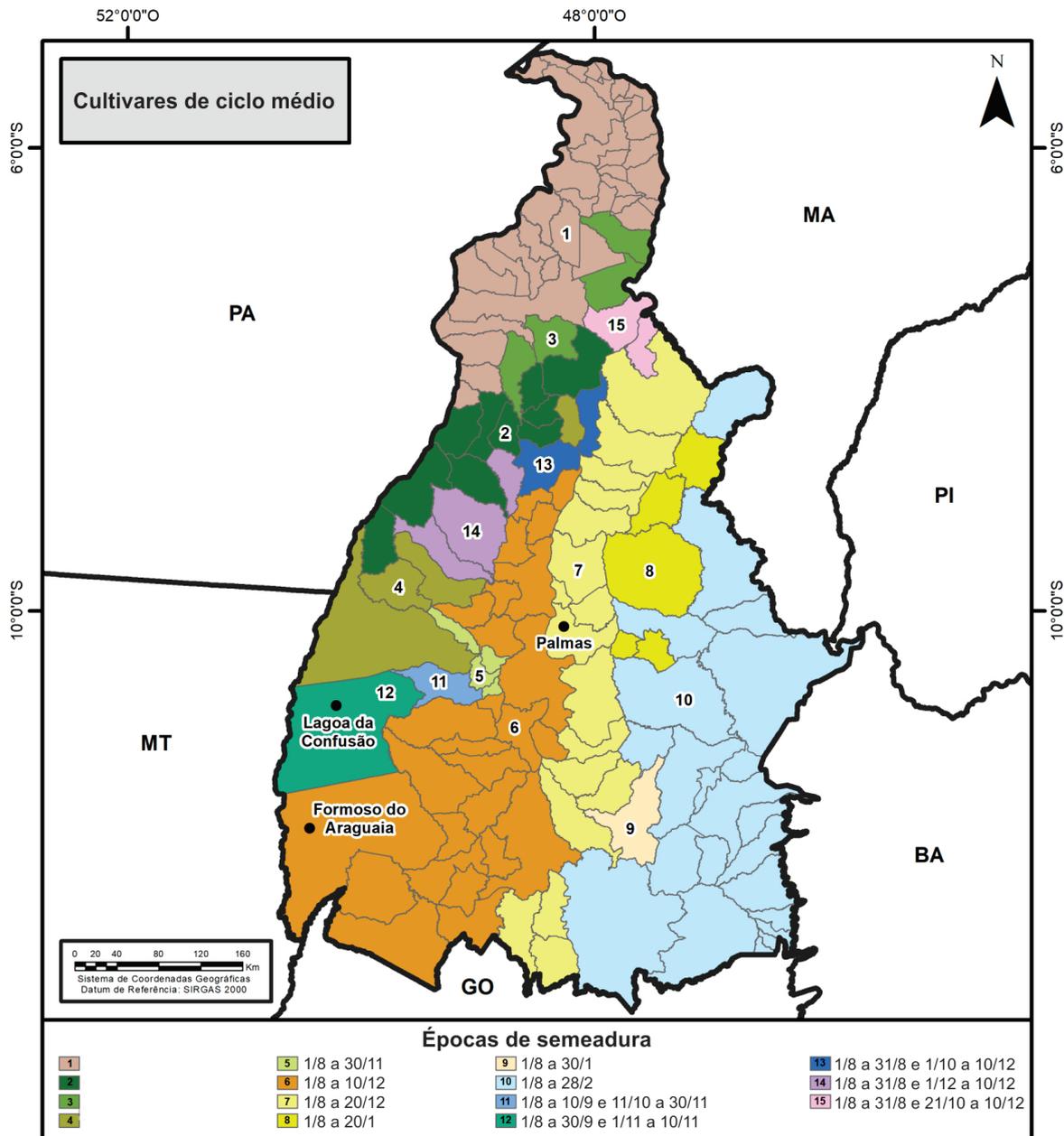


Figura 6. Época de semeadura do arroz irrigado, cultivares de ciclo médio, em solos hidromórficos do estado do Tocantins, com risco de 20% (80% de sucesso).

(interno e externo). Sendo assim, as épocas de plantio do arroz irrigado apresentadas anteriormente tornam-se uma ferramenta útil e eficaz para o planejamento agrícola. Além disso, o zoneamento agrícola de risco climático também pode ser definido como indutor de tecnologia de produção sustentável e de risco reduzido na medida em que considera:

- i. que a cultura tenha sua necessidade de água atendida durante todo o ciclo de produção para otimizar o seu rendimento;
- ii. adequar a janela de cultivo à duração do ciclo da cultura para reduzir os riscos de perdas por ocorrência de chuva na colheita, sendo esse item desconsiderado neste estudo;
- iii. semear a cultivar adaptada ao ambiente, no solo apto e na data indicada;
- iv. que os produtores devem estar atentos às demais tecnologias que compõem o sistema de produção do arroz irrigado, tais como preparo e correção de fertilidade do solo,

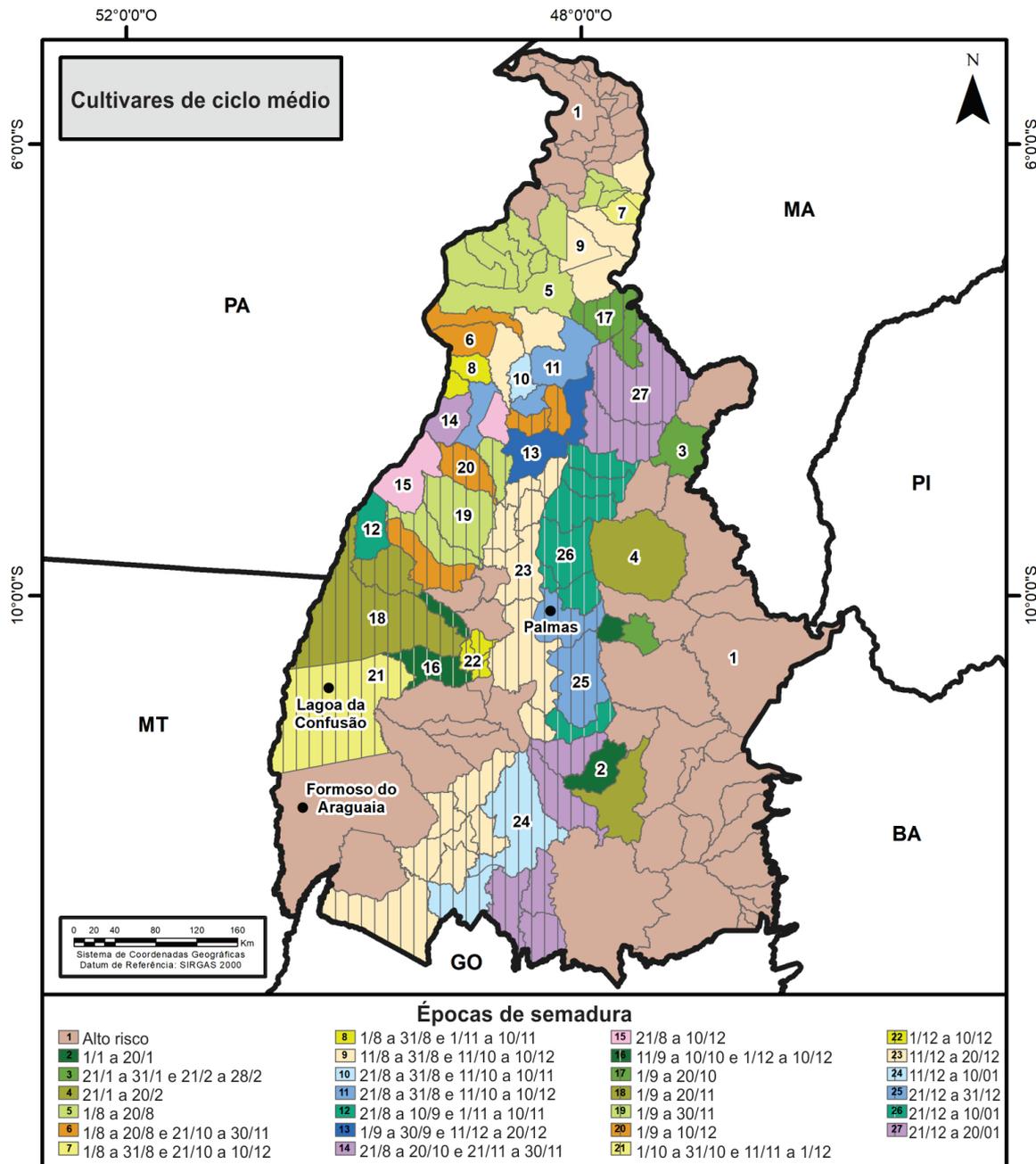


Figura 7. Época de semeadura do arroz irrigado, cultivares de ciclo médio, em solos hidromórficos do estado do Tocantins, com risco de 30% (70% de sucesso).

- v. que o cultivo do arroz irrigado ocorra nos ambientes de solos hidromórficos, em relevo plano e lençol freático próximo à superfície durante as fases mais sensíveis.

Conclusões

O estudo permitiu delimitar as áreas ou regiões de risco de perda de rendimento das lavouras de arroz irrigado decorrente da ocorrência de eventos adversos do clima no estado do Tocantins. Também foi possível identificar as épocas ou os períodos de semeadura da cultura com 80%, 70% e 60% de

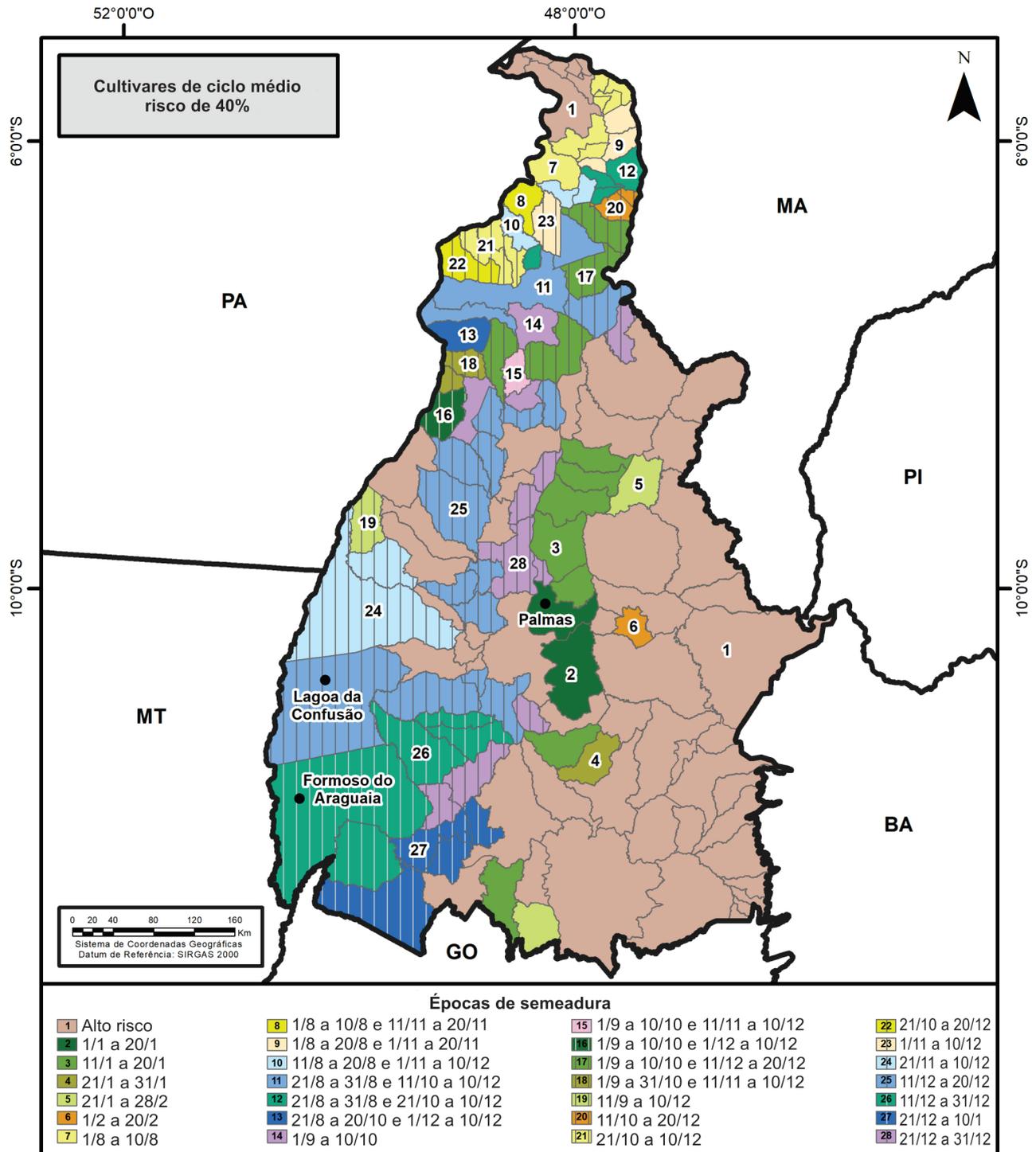


Figura 8. Época de semeadura do arroz irrigado, cultivares de ciclo médio, em solos hidromórficos do estado do Tocantins, com risco de 40% (60% de sucesso).

possibilidade de sucesso, ou seja, com riscos de quebra de rendimento das lavouras limitados a 20%, 30% e 40%.

Embora seja ampla a janela ou o intervalo de recomendação de plantio, é possível afirmar que o período ideal de semeadura, aquele que apresenta

o menor risco de quebra de produtividade do arroz irrigado no estado do Tocantins, especialmente na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, é de 01 de outubro a 20 de novembro. Em caso de atraso na semeadura, a redução da radiação solar global no período de enchimento de grãos e o aumento das

temperaturas do ar máximas e mínimas são responsáveis por reduzir a produtividade potencial da cultura.

É possível afirmar que a utilização dos resultados apresentados neste estudo trará benefícios aos produtores e aos demais integrantes da cadeia produtiva do arroz irrigado na medida em que permitirá reduzir riscos e aumentar o rendimento das lavouras.

A metodologia validada pela presente pesquisa fundamenta e operacionaliza o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), ferramenta importante e estratégica de gestão da política pública de seguro rural brasileiro (Proagro, Proagro Mais e Programa de Seguro Rural – PSR).

Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas que integram a rede de pesquisa em estudos de risco climático na agricultura (Rede ZARC) pelos conhecimentos compartilhados; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Agência Nacional das Águas (ANA) pelo financiamento da “Rede de Pesquisa para Gestão de Alto Nível dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Formoso – TO” no âmbito do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos – Chamada nº 16/2017; à CAPES também pelo apoio na concessão de bolsas de pesquisa; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins (FAPT), pelo apoio com a concessão de bolsa de produtividade em pesquisa (Edital nº 01/2019), que contribuíram para viabilizar o estudo.

Referências

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Arroz**: análise mensal. Brasília, DF. 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos**: 12º Levantamento – Safra 2022/23. Brasília, DF. 2023.

FRAGOSO, D. de B.; RANGEL, P. H. N.; CUSTÓDIO, D. P.; CARDOSO, E. A. Caracterização da produção de arroz irrigado tropical na região sudoeste do estado do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11., 2019, Balneário Camboriú. **Inovação e desenvolvimento na orizicultura**: anais eletrônico. Itajaí: Epagri: Sosbai, 2019.

HEINEMANN, A. B.; BARRIOS-PEREZ, C.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; ARANGO-LONDOÑO, D.; BONILLA-FINDJI, O.; MEDEIROS, J. C.; JARVIS, A. Variation and impact of drought-stress patterns across

upland rice target population of environments in Brazil. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 12, p. 3625-3638, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv126>.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; REBOLLEDO, M. C.; COSTA NETO, G. M. F.; CASTRO, A. P. Upland rice breeding led to increased drought sensitivity in Brazil. **Field Crops Research**, v. 231, p. 57-67, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.009>.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; STONE, L. F.; SILVA, A. P. G. A.; MATTA, D. H.; DIAZ, M. E. P. The impact of El Niño Southern Oscillation on cropping season rainfall variability across Central Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. S1, p. E283-E304, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6684>.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. Arroz. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 65-79.

HEINEMANN, A. B.; VAN OORT, P. A. J.; FERNANDES, D. S.; MAIA, A. de H. N. Sensitivity of APSIM/ORYZA model due to estimation errors in solar radiation. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 572-582, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000400016>.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html>.

SANTOS, A. B. dos; RABELO, R. R. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 135 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 218).

SANTOS, M. P.; ZANON, A. J.; CUADRA, S. V.; STEINMETZ, S.; CASTRO, J. R.; HEINEMANN, A. B. Yield and morphophysiological indices of irrigated rice genotypes in contrasting ecosystems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 3, p. 253-264, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4745955>.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: 2012. 80 p.

TOCANTINS. Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso – PBH Rio Formoso, no Estado do Tocantins**: Relatório síntese. Palmas: Consórcio Magma Eng. Ltda e ACL, 2007.

STEINMETZ, S.; DEIBLER, A. N.; SILVA, J. B. Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar. **Ciência Rural**, v. 43, n. 2, p. 206-211, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200003>

STRECK, N. A.; POERSCH, A. H.; DUARTE JUNIOR, A. J.; RIBEIRO, B. S. M. R.; RIBAS, G. G.; ROSSATO, I. G.; PILECCO, I. B.; MEUS, L. D.; SILVA, M. R. da; NASCIMENTO, M. de F do; SOUZA, P. M. de; STEINMETZ, S.; PEREIRA, V. F.; ZANON, A. J. Fatores e elementos climáticos. In: MEUS, L. D.; SILVA, M. R. da; RIBAS, G. G.; ZANON, A. J.; ROSSATO,

I. G.; PEREIRA, V. F.; PILECCO, I. B.; RIBEIRO, B. S. M. R.; SOUZA, P. M. de; NASCIMENTO, M. de F. do; POERSH, A. H.; DUARTE JUNIOR, A. J.; QUINTERO, C. E.; GARRIDO, G. C.; CARMONA, L. de C.; SRECK, N. A. (Ed.). **Ecofisiologia do arroz visando altas produtividades**. Santa Maria: [s.n.], 2020. p. 93-112.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA