

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS
RENOVÁVEIS

EDUARDO LOPES DORACENZI

GEOESPACIALIZAÇÃO DA FAVORABILIDADE CLIMÁTICA À OCORRÊNCIA DE
GIBERELA E BRUSONE DO TRIGO NO CERRADO BRASILEIRO

SOROCABA - SP

2024

EDUARDO LOPES DORACENZI

GEOESPACIALIZAÇÃO DA FAVORABILIDADE CLIMÁTICA À OCORRÊNCIA DE
GIBERELA E BRUSONE DO TRIGO NO CERRADO BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior
Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos

SOROCABA – SP

2024

Doracenzi, Eduardo Lopes

Geoespacialização da favorabilidade climática à ocorrência de giberela e brusone do trigo no Cerrado brasileiro. / Eduardo Lopes Doracenzi -- 2024.
70f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Waldir Cintra de, Jesus Junior
Banca Examinadora: Willian Bucker Moraes, Ricardo Trezzi Casa
Bibliografia

1. Favorabilidade climática. 2. Gibberella zeae. 3. Pyricularia oryzae. I. Doracenzi, Eduardo Lopes. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Eduardo Lopes Doracenzi, realizada em 26/02/2024.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior (UFSCar)

Prof. Dr. Willian Bucker Moraes (UFES)

Prof. Dr. Ricardo Trezzi Casa (UDESC)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Dedico este trabalho a todos aqueles que me inspiraram e apoiaram ao longo desta jornada enriquecedora.

AGRADECIMENTO

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha família pelo apoio incondicional, amor, compreensão e incentivo ao longo de toda a minha trajetória e foram fundamentais para minha perseverança e motivação durante os momentos desafiadores.

Também gostaria de estender meus sinceros agradecimentos aos meus orientadores Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior e Dr. Alexandre Rosa dos Santos, pela orientação excepcional, sabedoria e apoio contínuo ao longo deste projeto. Seus ricos conhecimentos e perspicazes foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e profissional.

RESUMO

DORACENZI, Eduardo Lopes. Geoespacialização da favorabilidade climática à ocorrência de giberela e brusone do trigo no Cerrado Brasileiro. 2024. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba-SP, 2024. Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior. Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

O trigo é um cereal de grande importância na alimentação humana e desempenha um papel crucial na segurança alimentar global, representando 30% da produção mundial de grãos. Cultivado extensivamente em todo o mundo, é o segundo alimento mais consumido e fornece uma fonte significativa de calorias, proteínas e nutrientes essenciais para milhões de pessoas. A produção mundial de trigo é economicamente e socialmente relevante, com uma área cultivada que ultrapassa 222 milhões de hectares e uma produção total de 789,5 milhões de toneladas de grãos na safra 2022/23. No Brasil, o 14º maior produtor, o trigo é cultivado principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, abrangendo mais de 90% da área cultivada e da produção nacional. Nos últimos anos, o país tem registrado aumentos recordes na produção, impulsionados pela alta demanda interna, expandindo a fronteira agrícola do trigo para as regiões do Cerrado Brasileiro, principalmente nos estados da Bahia, Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais. Apesar das condições edafoclimáticas favoráveis do Cerrado, o clima propício e as diferentes regiões de cultivo no país também podem proporcionar condições propícias para o desenvolvimento de doenças, como a giberela (*Gibberella zeae*) e a brusone (*Pyricularia oryzae*), que podem comprometer a qualidade e a produtividade das lavouras. Nesse contexto, o mapeamento e a espacialização das condições climáticas e a avaliação da favorabilidade para a ocorrência dessas doenças podem ser fundamentais para melhorar a compreensão da dinâmica entre patógenos e características edafoclimáticas locais, auxiliando na tomada de decisões sobre estratégias de manejo eficazes. O objetivo deste estudo foi analisar a distribuição da favorabilidade climática para a ocorrência da giberela e brusone do trigo no Cerrado, além de compreender o efeito da dinâmica de diferentes épocas de plantio nessas condições. Com base nos resultados verificou-se que a maioria das áreas do Cerrado apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento da giberela e brusone do trigo e a época de plantio tem influência no período de infecção e de desenvolvimento das doenças. Os períodos críticos de favorabilidade à ocorrência da giberela ocorrem nos meses de julho, agosto e setembro,

sendo recomendado realizar o plantio de materiais genéticos com ciclo precoce em março ou materiais genéticos com ciclo tardio em maio para reduzir a favorabilidade de ocorrência das doenças. Plantios realizados em março, abril e maio apresentam os meses de agosto e setembro com maiores índices de favorabilidade climática para infecções por brusone e giberela. Os resultados obtidos oferecem uma visão abrangente da dinâmica geográfica (espacial) e temporal das condições de favorabilidade para as doenças. A espacialização das classes de favorabilidade climática para a ocorrência das doenças é uma estratégia importante para o planejamento, tomada de decisões assertivas no manejo integrado e melhorar tanto a produtividade quanto a qualidade da produção.

Palavras-chave: Favorabilidade climática, *Gibberella zeae*, *Pyricularia oryzae*.

ABSTRACT

DORACENZI, Eduardo Lopes. Geospatialization of climatic favorability to the occurrence of Fusarium head blight and wheat blast in the Brazilian Cerrado. 2024. Dissertation (Master's in Planning and Use of Renewable Resources) – Federal University of São Carlos, Sorocaba-SP, 2024. Advisor: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior. Co-advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

Wheat is a cereal of great importance in human nutrition and plays a crucial role in global food security, representing 30% of world grain production. Cultivated extensively around the world, it is the second most consumed food and provides a significant source of calories, protein and essential nutrients for millions of people. World wheat production is economically and socially relevant, with a cultivated area that exceeds 222 million hectares and a total production of 789.5 million tons of grains in the 2022/23 harvest. In Brazil, the 14th largest producer, wheat is cultivated mainly in the South, Southeast and Center-West regions, covering more than 90% of the cultivated area and national production. In recent years, the country has recorded record increases in production, driven by high domestic demand, expanding the wheat agricultural frontier to the Brazilian Cerrado regions, mainly in the states of Bahia, Goiás, Distrito Federal and Minas Gerais. Despite the favorable soil and climate conditions of the Cerrado, the favorable climate and different growing regions in the country can also provide favorable conditions for the development of diseases, such as Fusarium head blight (*Gibberella zae*) and blast (*Pyricularia oryzae*), which can compromise quality and crop productivity. In this context, the mapping and spatialization of climatic conditions and the assessment of the favorability for the occurrence of these diseases can be fundamental to improving the understanding of the dynamics between pathogens and local edaphoclimatic characteristics, helping to make decisions about effective management strategies. The objective of this study was to analyze the distribution of climatic favorability for the occurrence of Fusarium head blight and wheat blast in the Cerrado, in addition to understanding the effect of the dynamics of different planting times in these conditions. The results obtained offer a comprehensive view of the geographic and temporal dynamics of favorable conditions for diseases. It was observed that most Cerrado areas present favorable conditions for the development of Fusarium head blight and wheat blast and the planting time has an influence on the infection period during which the diseases develop. The critical periods of favor for the occurrence of FHB will be in the months of July,

August and September; It is recommended to plant an early cycle in March or a late cycle in May to reduce the likelihood of the disease occurring. Plantings carried out in March, April and May present the months of August and September with higher rates of climate favorability for blast infections. The spatialization of climate favorability classes for the occurrence of diseases is an important strategy for planning, making assertive decisions in integrated management and improving both productivity and production quality.

Keywords: Climate favorability, *Gibberella zeae*, *Pyricularia oryzae*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sintomas de giberela em espiga e espiguetas de trigo.	22
Figura 2 - Sintomas de brusone com espigas esbranquiçadas e esporulação acinzentada do fungo em espiguetas de trigo.	24
Figura 3 - Caracterização da área de estudo, que abrange o Bioma Cerrado Brasileiro.	27
Figura 4 – Etapas metodológicas para aquisição da base de dados meteorológicos do <i>TerraClimate</i>	28
Figura 5 - Etapas metodológicas para espacialização da favorabilidade climática à ocorrência da giberela e brusone do trigo.....	32
Figura 6 - Distribuição das temperaturas médias mensais para o Cerrado Brasileiro.	40
Figura 7 - Distribuição das umidades relativa do ar médias mensais para o Cerrado Brasileiro.	41
Figura 8 - Distribuição das precipitações médias mensais para o Cerrado Brasileiro.	42
Figura 9 - Distribuição do percentual da área do Cerrado Brasileiro para a classificação de favorabilidade à ocorrência de giberela em trigo.	44
Figura 10 - Mapas com classes de favorabilidade mensais à ocorrência da giberela em trigo no Cerrado Brasileiro.....	45
Figura 11 - Distribuição do percentual da área do Cerrado Brasileiro para a classificação de favorabilidade à ocorrência de brusone em trigo.....	47
Figura 12 - Mapas com classes de favorabilidade mensais à ocorrência da brusone em trigo no Cerrado Brasileiro.....	48
Figura 13 – Caracterização das fases fenológicas do trigo em diferentes épocas de plantio. ..	49
Figura 14 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da giberela no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de março.	52
Figura 15 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da giberela Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de abril.	53
Figura 16 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da giberela no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de maio.	54
Figura 17 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da brusone no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de março.	56
Figura 18 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da brusone no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de abril.	57

Figura 19 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da brusone no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de maio.....	58
Figura 20 - Médias diárias para precipitação, temperatura e umidade relativa do ar do município de Cristalina (GO) para o período de junho a setembro.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de favorabilidade para o desenvolvimento da giberela no trigo.....	34
Tabela 2 - Condições de favorabilidade para o desenvolvimento da brusone no trigo.	34
Tabela 3 - Classes de favorabilidade climática à ocorrência das doenças.....	34
Tabela 4 - Médias mensais de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação máxima, precipitação mínima, umidade relativa do ar máxima e umidade relativa do ar mínima para o Cerrado Brasileiro.....	38

LISTA DE TABELAS

Equação 1.....	33
Equação 2.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	CULTURA DO TRIGO	20
2.2	PRINCIPAIS DOENÇAS DA ESPIGA DO TRIGO.....	21
2.2.1	Giberela	21
2.2.2	Brusone	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	ÁREA DE ESTUDO	26
3.2	OBTENÇÃO DO BANCO DE DADOS	27
3.2.1	Aquisição da base de dados no <i>TerraClimate</i>	29
3.2.2	Cálculo da média das variáveis	29
3.2.3	Identificação das áreas impróprias para a produção agrícola no Cerrado	30
3.2.4	Espacialização da favorabilidade climática à ocorrência da giberela e brusone	30
3.2.5	Dados meteorológicos para o município de Cristalina (GO)	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	37
4.2	ESPACIALIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA GIBERELA E BRUSONE DO TRIGO	43
4.2.1	Favorabilidade climática à ocorrência da giberela	43
4.2.2	Favorabilidade climática à ocorrência da brusone	46
4.3	EFEITO DA ÉPOCA DE PLANTIO NA DINÂMICA DE FAVORABILIDADE A OCORRÊNCIA DA GIBERELA E BRUSONE	49
4.3.1	Giberela	50
4.3.2	Brusone	54

5	ESTUDO DE CASO EM CRISTALINA (GO)	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7	CONCLUSÃO	62
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal de extrema importância para a alimentação humana, desempenha um papel crucial na segurança alimentar global e representa 30% da produção mundial de grãos. Amplamente cultivado, é o segundo alimento mais consumido no mundo e considerado um dos principais cereais básicos, fornecendo uma fonte significativa de calorias, proteínas e nutrientes essenciais para milhões de pessoas (Antunes, 2022).

A produção mundial de trigo tem relevância econômica e social significativa. Na safra 2022/23 a área cultivada ultrapassou 222 milhões de hectares, resultando em uma produção total de 789,5 milhões de toneladas de grãos. Esse cereal é cultivado em diversos países, incluindo os principais produtores como China, Índia, Rússia, Estados Unidos, Canadá e países da União Europeia (CONAB, 2023; FAO, 2023; SINDUSTRIGO, 2023).

No Brasil, o 14º maior produtor, o cultivo do trigo é predominante nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, abrangendo mais de 90% da área cultivada e da produção nacional. Nos últimos anos, o país tem alcançado índices recordes, com uma produção de mais de 10,5 milhões de toneladas em 2023. Esse crescimento é impulsionado pela alta demanda no mercado interno e para atender a demanda crescente por trigo, os agricultores e pesquisadores estão constantemente buscando melhorias na produtividade, resistência a pragas e doenças, adaptação a diferentes condições climáticas e aprimoramento de variedades (Pasinato, 2017; SINDUSTRIGO, 2023).

Além dos locais tradicionais de cultivo, o Brasil está explorando novas áreas e expandindo as fronteiras agrícolas do trigo, como as regiões que abrangem o Cerrado do Brasil Central, o que amplia consideravelmente a importância dessa cultura para o setor agrícola do país. De acordo com as Regiões Homogêneas de Adaptação de Cultivares de Trigo (RHACT), os estados que se destacam com maior potencial de produção do cereal são Distrito Federal, Minas Gerais, Goiás, Bahia e Mato Grosso. Essas regiões apresentam uma forte tendência de crescimento nos últimos anos, alcançando cerca de 388 mil toneladas de trigo, produzidos em 125 mil hectares, no ano de 2019. Para viabilizar o cultivo de trigo nessas regiões emergentes é necessário considerar as características edafoclimáticas regionais, mercado, sazonalidade, infraestrutura e os desafios fitossanitários (Albrecht *et al.*, 2007, Albrecht, Andrade e Chagas, 2022; Chagas *et al.*, 2021).

Dentre as novas fronteiras exploradas para o cultivo de trigo no Brasil, destaca-se o bioma Cerrado, que apresenta um potencial produtivo significativo. As condições

edafoclimáticas favoráveis e um período de safra diferenciado conferem maior lucratividade e competitividade a esse mercado em particular. Além disso, a capacidade do Cerrado de responder bem aos avanços tecnológicos têm contribuído para superar os desafios associados ao cultivo nessa região (Soares *et al.*, 2023; Vale *et al.*, 2022; Zhang, 2023)

No entanto, o clima favorável e as diferentes regiões de cultivo no país proporcionam condições propícias para o desenvolvimento de várias doenças que podem comprometer os rendimentos, a qualidade e a lucratividade dos produtores. Existem diversas doenças que afetam o trigo, sendo que a giberela e brusone possuem grande potencial de causar danos (Chagas *et al.*, 2021; Del Ponte *et al.*, 2004; Maciel *et al.*, 2020).

A giberela (*Gibberella zeae*), também conhecida como fusariose da espiga, é uma doença fúngica que afeta o trigo em várias regiões do mundo, podendo reduzir a produção e a qualidade dos grãos, resultando em perdas econômicas significativas para os agricultores. Sua infecção está associada à antese da cultura e os sintomas incluem murchamento e descoloração da espiga durante a floração do trigo, com o aspecto acastanhado ou rosado. Os grãos afetados tornam-se chochos, enrugados e podem conter micotoxinas (como por exemplo a desoxinivalenol - DON), representando riscos para a saúde humana e animal. Condições climáticas com temperaturas médias entre 20 e 30°C e umidade relativa do ar acima de 80% e molhamento superior à 48h durante a fase de florescimento do trigo são ideais para o crescimento e disseminação do fungo (Lau *et al.*, 2020; Maciel *et al.*, 2020; Del Ponte *et al.*, 2004)

A brusone, também conhecida como branqueamento da espiga, é causada pelo fungo *Pyricularia oryzae* patótipo Triticum (PoT) Carava (telemorfo *Magnaporthe oryzae* patótipo Triticum (MoT) B.C. Couch) (Couch e Kohn, 2002; Maciel *et al.*, 2024; Valent *et al.*, 2019). Assim como a giberela, essa doença também tem impactos negativos na produção de trigo. No Brasil, foi relatada pela primeira vez no Paraná em 1985 e desde então se disseminou para outros estados, especialmente nas regiões Sul e Central do país. Como destacam Rocha *et al.* (2014), Lau *et al.* (2020) e Maciel *et al.* (2020), a brusone pode afetar todas as partes da planta de trigo, incluindo folhas, colmos e espigas. Os sintomas incluem lesões marrons e acinzentadas nas folhas, descoloração das espigas e manchas escuras nas raquis onde ocorre a infecção. Sua ocorrência é mais comum em condições climáticas de temperatura elevada (25-30°C) e alta umidade relativa do ar (acima de 90%) durante a fase de florescimento.

Com relação a essas doenças, a falta de cultivares com alta resistência genética, a capacidade dos fungos de colonizar restos de culturas hospedeiras e a adoção de medidas de

controle isoladas são obstáculos importantes para o manejo efetivo das mesmas e a maximização da produção de trigo. Em regiões de alta favorabilidade, recomenda-se o uso de cultivares menos suscetíveis, controle químico adequado e monitoramento das condições climáticas favoráveis (Caldas, 2021; Maciel *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o mapeamento e espacialização das condições climáticas e informações quanto a favorabilidade para a sua ocorrência podem ser grandes aliados para dar suporte e melhorar a compreensão da dinâmica entre patógeno e características edafoclimáticas locais, bem como uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão de estratégias mais assertivas no manejo eficiente das doenças (Kurz e Wondell Filho, 2020).

Diante disto, o objetivo geral deste trabalho foi espacializar as classes de favorabilidade à ocorrência da giberela e brusone no trigo na região do Cerrado Brasileiro, em três épocas de plantio. Para efetivar esta análise, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- i. Verificar os padrões temporais e espaciais das variáveis climáticas no Cerrado Brasileiro ao longo dos últimos 10 anos;
- ii. Espacializar as classes de favorabilidade climática à ocorrência de giberela e brusone;
- iii. Correlacionar os fatores climáticos e as condições de favorabilidade para ocorrência das doenças;
- iv. Compreender a dinâmica de diferentes épocas de plantio na ocorrência e desenvolvimento das doenças;
- v. Proporcionar recomendações específicas para os agricultores do Cerrado Brasileiro, visando a implementação de estratégias de manejo assertivas baseadas nos resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CULTURA DO TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais importantes do mundo, sendo a quarta commodity mais produzida e representa 30% da produção mundial de grãos. O cereal é o segundo alimento mais consumido, amplamente cultivado para a produção de alimentos básicos, como pão, massas e cereais matinais. Considerado essencial para alimentação humana, seus componentes nutricionais e valor energético são amplamente utilizados para compor dietas alimentares e segurança alimentar de inúmeras comunidades (Antunes, 2022).

A produção mundial da cultura para a safra 2021/22 foi de 778,8 milhões de toneladas, compreendidos em um total de 222,1 milhões de hectares plantados (CONAB, 2023). Segundo dados da (ABITRIGO, 2023), a estimativa de produção em 2022/23 deverá ser superior a 796 milhões de toneladas. Nos últimos anos o cultivo do trigo cresceu 4,6%, enquanto o consumo se elevou em 8%, ressaltando a relevância de se obter maiores produções e produtividades para atender essa demanda crescente (Antunes, 2022).

Os principais países produtores de trigo no mundo são União Europeia, China, Índia, Rússia, Estados Unidos, Austrália, Ucrânia, Paquistão, Canadá e Argentina. Estas dez regiões correspondem à 93,4% de todo volume exportado no mundo, impactando diretamente no cenário de comercialização e disponibilidade do cereal. Os destaques na exploração da cultura são da União Europeia, com montante de 138,4 milhões de toneladas, seguidos por China (136,9 milhões de toneladas) e Índia (109,3 milhões de toneladas) (CONAB, 2023; FAO, 2023).

O Brasil está 14º posição entre estes países, com volume de 9,5 milhões de toneladas do grão no ano de 2022, apresentando um crescimento de 76% na produção e 50% no total de áreas cultivadas nos últimos 5 anos. Apesar nos números recordes, o país não é autossuficiente para suprir a demanda interna, se consolidando entre os maiores importadores do trigo no mundo. Do total importado, 77,04% são de origem Argentina, 12,81% do Uruguai e 10,14% do Paraguai (CONAB, 2023).

No país, o trigo é cultivado nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, onde os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná concentram o maior volume produzido, correspondendo a cerca de 86% da produção brasileira. Atualmente, as áreas correspondentes ao Brasil Central têm intensificado o cultivo do cereal, o que vem resultado na ampliação do

cultivo no país e nos maiores rendimentos médios observados, principalmente, no Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais, Bahia e Mato Grosso. Em comparação com a safra 2022, houve elevação na produção de 42,9% na região Nordeste, 11,8 % no Centro-Oeste, 12,3% no Sudeste e uma retração de 11,4% na região Sul (CONAB, 2023).

Este avanço e expansão das fronteiras agrícolas do trigo para o Cerrado Brasileiro vai de encontro com as potencialidades da região na produção de cereais, que já corresponde a quase 50% da produção nacional de grãos. A sua boa resposta ao incremento de tecnologias junto aos excelentes resultados de melhoramentos genéticos adaptados, novas tecnologias aplicadas, zoneamentos agroclimáticos, implementação de sistema irrigado e mapas de favorabilidade climática, resultam no potencial produtivo apresentado (Albrecht *et al.*, 2007; Albrecht, Andrade e Chagas, 2022; Soares *et al.*, 2023; Vale *et al.*, 2022).

Tais desenvolvimentos tecnológicos têm gerado sistemas de produção mais sustentáveis, sendo um componente para a diversificação destes ecossistemas e possível de ser explorado no período de entressafra das regiões tradicionais, uma condição muito interessante para captação de melhores preços aos produtores (Soares *et al.*, 2023; Vale *et al.*, 2022)

2.2 PRINCIPAIS DOENÇAS DA ESPIGA DO TRIGO

2.2.1 Giberela

A giberela ou fusariose da espiga (*Fusarium head blight* – FHB) é uma doença fúngica de infecção floral, causada por um complexo de espécies de *Fusarium* e é distribuído mundialmente, se concentrando em regiões temperadas. Destes, destaca-se no Brasil o fungo ascomiceto *Gibberella zeae* (Schwein) Petch (anamorfo = *Fusarium graminearum* Schwabe), patógeno responsável por reduzir significativamente a produtividade e a qualidade dos grãos pela contaminação por micotoxinas, resultando em perdas econômicas consideráveis para os agricultores (Lima, 2023; Del Ponte *et al.*, 2004; Shude, Yobo e Mbili, 2020; Brustolin *et al.*, 2013).

Sua ocorrência está fortemente relacionada ao período de antese do trigo, associado às altas concentrações de compostos estimulantes que favorece a infecção por FHB (Brustolin *et al.*, 2013). Os sintomas se iniciam nas aristas e espiguetas, onde os sinais mais característicos da infecção são o murchamento e a descoloração da espiga durante a fase de floração do trigo,

conferindo-lhe um aspecto acastanhado ou rosado (Figura 1). Os grãos ficam chochos, enrugados e podem ser afetados por micotoxinas produzidas pelos fungos, comprometendo a qualidade do produto do cereal e sérios riscos à saúde humana e animal (Lau *et al.*, 2020; Del Ponte *et al.*, 2004).

Figura 1 - Sintomas de giberela em espiga e espiguetas de trigo.



Fonte: Lau *et al.* (2020).

Alguns fatores de predisposição da doença são associados as condições edafoclimáticas favoráveis para o desenvolvimento do patógeno. As condições ideais para o crescimento e disseminação do fungo são temperaturas médias entre 20 e 30°C, umidade relativa do ar superior a 80% e molhamento das espigas (acima de 48 horas) durante o período de florescimento do trigo. A combinação desses fatores favorece a germinação das estruturas reprodutivas do fungo, que produzem esporos que infectam principalmente as espigas. Outro fator benéfico para esse patossistema são os restos culturais de plantas hospedeiras do patógeno, como cevada, aveia, triticale, centeio e milho, tornando-se fontes de inóculo nas áreas produtivas (Maciel *et al.*, 2020; Del Ponte *et al.*, 2004, Brustolin *et al.*, 2013).

Nos últimos anos esta doença tem alcançado níveis de epidemia em inúmeros países, sendo classificada com uma das principais doenças fitopatológicas de importância científica e econômica no mundo (Shude, Yobo e Mbili, 2020). Em relação ao Brasil, desde a sua

identificação (1957) na região Sul do país, seus impactos têm sido um fator limitador para a produção da cultura, estendendo-se para as demais regiões tritícolas (Lima, 2004). Estudos apontam danos entre 5 e 30% e efeitos negativos direto no desempenho das safras de trigo. Estes ressaltam o aumento da frequência e intensidade da giberela nos campos de trigo nos períodos mais recentes, reforçando a necessidade de novos estudos, manejos e tecnologias voltadas à mitigação dos seus danos e prejuízos (Lau *et al.*, 2020; Reis *et al.*, 2016).

Segundo Shude, Yobo e Mbili, (2020), o complexo de FHB apresenta diferentes requisitos genéticos, climáticos e ampla adaptação ambiental, elevando o desafio do controle dos seus impactos negativos em diversas condições. Em relação ao cultivo em regiões de alta favorabilidade para a doença, a busca constante por produtos químicos mais efetivos, aprimoramento de tecnologias de aplicação, cultivares resistentes, manejo cultural, são fundamentais para otimizar estratégias de manejo integrado da doença (Caldas, 2021; Ferreira *et al.*, 2023; Maciel *et al.*, 2020).

Atualmente, dados meteorológicos têm sido integrados a sistemas de processamento de dados e modelos computacionais para geração de sistemas de alertas para ocasiões de risco de infecção pelo fungo. A melhor compreensão das informações de tempo e clima das regiões de cultivo pode auxiliar na tomada de decisão de estratégias mais assertivas no manejo eficiente da doença (Kurz e Wondell Filho, 2020).

2.2.2 Brusone

A brusone do trigo, também conhecida por branqueamento da espiga, é causada pelo fungo *Pyricularia oryzae* patótipo Triticum (PoT) Carava (telemorfo *Magnaporthe oryzae* patótipo Triticum (MoT) B.C. Couch) (Couch e Kohn, 2002; Maciel *et al.*, 2024; Valent *et al.*, 2019) e se apresenta como uma das principais doenças que afetam a cultura em todo o mundo. Esta doença é responsável por prejuízos econômicos significativos para os agricultores, reduzindo a qualidade e produtividade dos grãos e impactando a segurança alimentar da população (Goulart, Sousa e Urashima, 2007; Maciel *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2009). No Brasil, o primeiro relato de sua ocorrência foi no Paraná, em 1985, ganhando rápida importância nos demais estados, especialmente no Mato Grosso, São Paulo, Paraná e regiões do Cerrado Brasileiro (Lau *et al.*, 2020; Lima, 2004; Rocha *et al.*, 2014).

A doença pode afetar todas as partes da planta de trigo, incluindo folhas, colmos e espigas. Sua infecção e nível de dano dependem do momento e local da penetração do fungo,

sendo na espiga a infecção mais destrutiva. Os conídios do patógeno necessitam de molhamento foliar constante para germinação e penetração na cultura (Dianese *et al.*, 2022). São observadas lesões marrons e acinzentadas nas folhas, descoloração das espigas e manchas escuras nas raquis nos pontos de infecção da doença (Figura 2). Quanto aos grãos, eles apresentam tamanho reduzido e aspecto enrugado o que afeta negativamente a qualidade, produtividade e rendimento (Lau *et al.*, 2020; Lima, 2004; Maciel *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2009)

Figura 2 - Sintomas de brusone com espigas esbranquiçadas e esporulação acinzentada do fungo em espiguetas de trigo.



Fonte: Lau *et al.* (2020).

A ocorrência da doença é mais comum em condições climáticas de temperatura elevada (25-30°C) e alta umidade relativa do ar acima de 90% por mais de 10h, durante a fase de florescimento. *P. oryzae* pode sobreviver em plantas hospedeiras, como milho, milheto, arroz e cevada, e restos culturais na condição de micélio saprófito e seu principal fator de disseminação é o vento e água livre nas plantas (Lau *et al.*, 2020; Lima, 2004; Maciel *et al.*,

2020). Períodos noturnos que favoreçam a presença de orvalho por dois ou três dias consecutivos, sob altas temperaturas, favorecem a penetração do fungo (Dianese *et al.*, 2022).

Para prevenir a brusone no trigo é importante adotar práticas agrícolas adequadas, como a rotação de culturas, o manejo integrado de doenças, a seleção de variedades resistentes e a aplicação de fungicidas preventivamente (Lau *et al.*, 2020). A baixa eficiência das estratégias de controle está relacionada à baixa disponibilidade de genótipos resistentes e à diversidade de isolados, com diferentes níveis de virulência e suscetibilidade dos cultivares (Gomes *et al.*, 2019). Apesar dos avanços na produção de variedades mais resistentes à doença, a ausência de imunidade ao patógeno tornam as medidas de controle baseadas no fator genético, insatisfatórias, demandando estratégias de manejo integrado (Maciel *et al.*, 2020).

Neste sentido, o controle químico é um dos pilares do manejo mais utilizados para a redução dos impactos negativos causados pela doença. Essa medida se baseia em proteger a parte aérea preventivamente, demandando grande atenção nos períodos de condições climáticas favoráveis para que a estratégia seja eficiente e assertiva (Maciel *et al.*, 2020). De acordo com Lau *et al.* (2020), a maior ocorrência do brusone no Cerrado Brasileiro faz com que os produtores lancem mão do controle por meio de pulverizações de fungicida, sendo a garantia da eficiência e qualidade das aplicações pilares fundamentais para o sucesso da estratégia.

Uma alternativa eficaz é realizar a semeadura do trigo fora do período inicial definido pelos zoneamentos agroclimáticos, principalmente em sistema de sequeiro. Seu intuito é que a fase de florescimento não coincida com momentos de condições de favorabilidade climática para o desenvolvimento do patógeno. Sendo assim, a melhor compreensão dos fatores climáticos pode ser um apoiador na identificação de períodos de maior risco para infecção e se torna um apoiador nos modelos de previsão e tomada de decisão no controle do patógeno (Torres *et al.*, 2022)

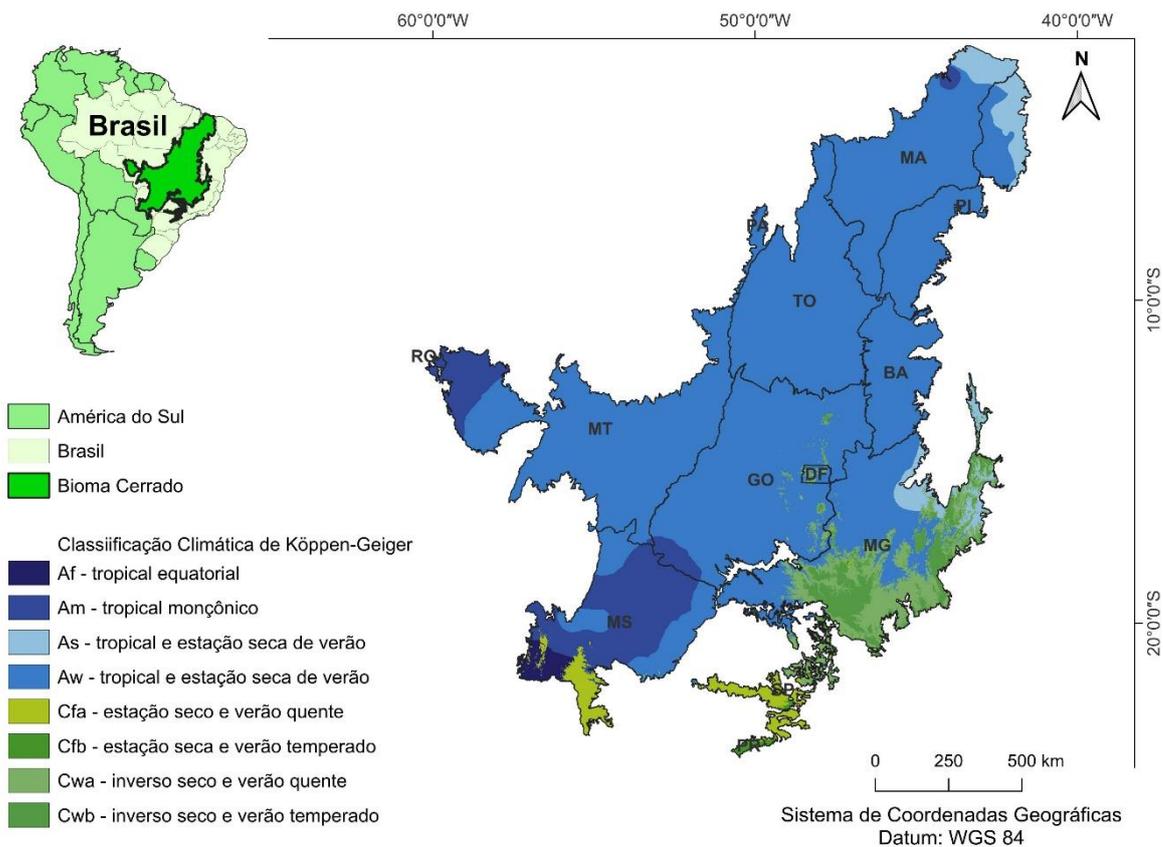
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o bioma Cerrado Brasileiro (Figura 3), que é o segundo maior bioma do Brasil, estendendo-se entre os paralelos 2° e 24° de latitude Sul e 41° e 60° de longitude Oeste (Nascimento e Novais, 2020; Silva *et al.*, 2008). O mesmo possui uma área aproximada de dois milhões de km², correspondendo a 23% do território nacional, e está situado na região Centro-Oeste do Brasil. Abrange 10 estados do país, sendo eles: Goiás (GO), Tocantins (TO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Bahia (BA), Maranhão (MA), Piauí (PI), São Paulo (SP) e Distrito Federal (DF) (IBGE, 2023; Silva *et al.*, 2008)

O Cerrado se destaca por suas grandes proporções e diversidade vegetal e edafoclimática. Predominantemente classificado como clima tropical do tipo Aw (clima tropical com chuvas de verão), com a ocorrência de Cwa (clima subtropical com chuvas de verão e verão quente) nas regiões sudoeste e sudeste, segundo Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2013; Nascimento e Novais, 2020; Pasinato, 2017).

Figura 3 - Caracterização da área de estudo, que abrange o Bioma Cerrado Brasileiro.

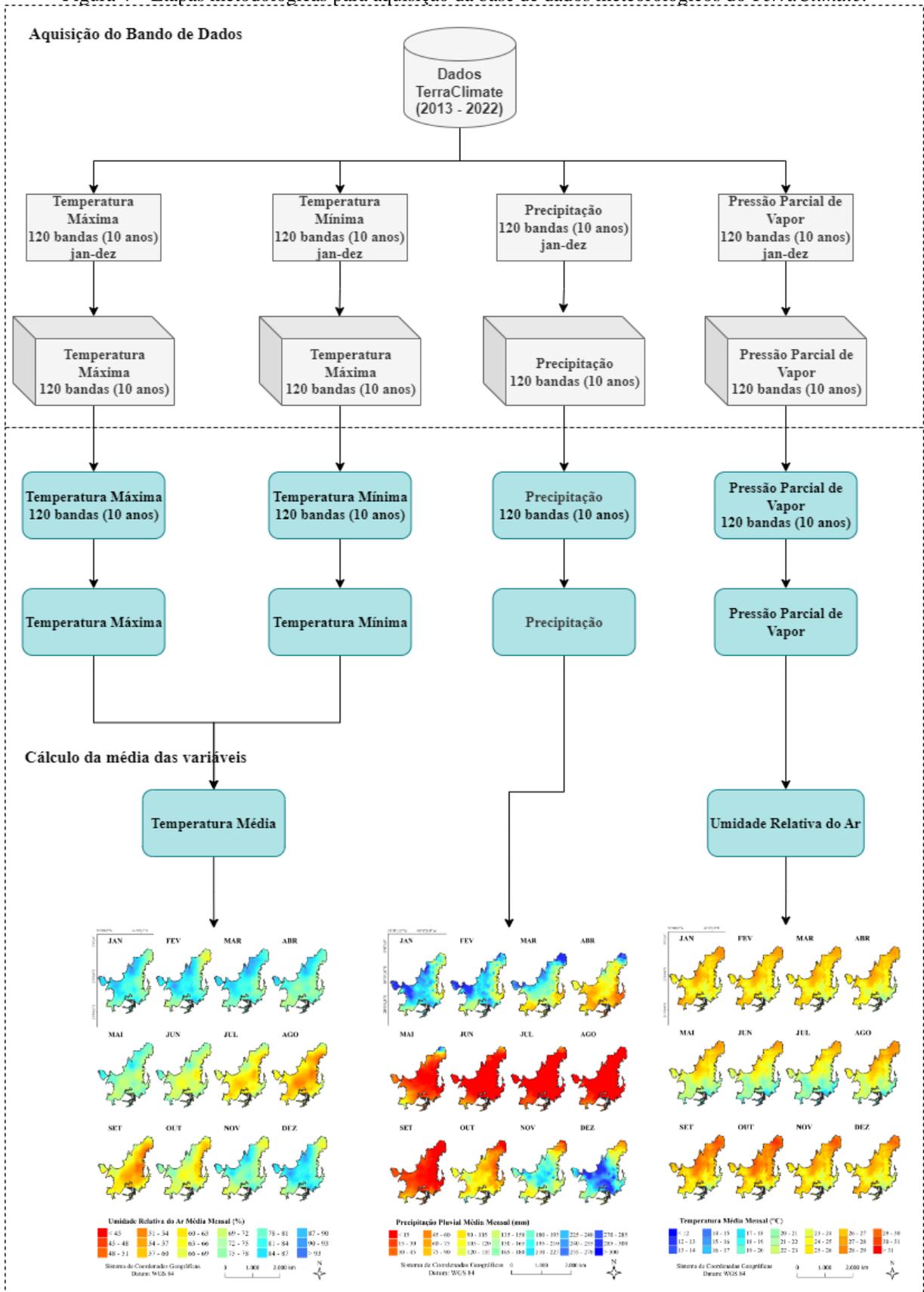


Fonte: Elaboração própria (2024).

3.2 OBTENÇÃO DO BANCO DE DADOS

As etapas metodológicas necessárias para aquisição do banco de dados estão descritas neste subtópico e representados no fluxograma apresentado abaixo (Figura 4).

Figura 4 – Etapas metodológicas para aquisição da base de dados meteorológicos do TerraClimate.



Fonte: Elaboração própria (2024).

3.2.1 Aquisição da base de dados no *TerraClimate*

A estruturação da base de dados para a elaboração da espacialização da favorabilidade de ocorrência da giberela e brusone do trigo teve início com a aquisição das variáveis climáticas brutas adquiridas do laboratório de climatologia *TerraClimate*. Essa plataforma fornece dados meteorológicos globais da superfície terrestre, em uma série temporal mensal desde 1958, com resolução espacial de 4 km², o que é favorável para estudos que dependem de informações climáticas (Abatzoglou *et al.*, 2018)

Para a geração de um conjunto de dados com alta resolução espacial o *TerraClimate* emprega técnica de interpolação de dados do *WorldClim* e normais climatológicas, resultando na elevada qualidade das informações em um amplo período.

No presente trabalho foram utilizadas as variáveis temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitação (mm) e pressão parcial de vapor d'água (kPa) de um período de 10 anos (2013 a 2022). Para cada ano dentro desse período foram adquiridas 12 bandas correspondentes aos meses (12 meses x 10 anos), totalizando assim 120 bandas para cada variável. Esses arquivos são disponibilizados no formato NetCDF compactado e foi necessário inseri-los em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a estruturação da base de dados.

Após aquisição dos dados para o período em estudo, cada variável foi inserida no software ArcGIS® e através da função “*Make NetCDF Raster Layer*” e, posteriormente a função “*Export Raster Data*”, foram convertidos em formato raster.

3.2.2 Cálculo da média das variáveis

Em posse desses novos arquivos, o software QGIS® e a função “*Calculadora raster*” foram utilizados para gerar imagens matriciais de cada mês, para cada uma das três variáveis no período de 2013 a 2022. A mesma função foi empregada para calcular as médias das variáveis, resultando na obtenção da média das temperaturas máximas mensais, média das temperaturas mínimas mensais, média das precipitações mensais e média das pressões de vapor mensais. Esses cálculos forneceram, respectivamente, a temperatura máxima média, temperatura mínima média e pressão de vapor média.

3.2.3 Identificação das áreas impróprias para a produção agrícola no Cerrado

Para identificar e delimitar as áreas inadequadas para o cultivo no Cerrado foram excluídos os locais que são inviáveis para a exploração agrícola, como áreas urbanas e unidades de conservação de proteção integral. As áreas e os centros urbanos, devido à infraestrutura existente, não são adequados para práticas agrícolas em grande escala e, portanto, foram classificados como áreas impróprias (Machado e Machado, 2002).

Os dados utilizados para essa identificação foram obtidos por meio da extração de informações dos mapas de uso e cobertura da terra disponibilizados em formato matricial pela plataforma MapBiomas, referentes ao ano de 2021 (Souza Junior *et al.*, 2020). No software ArcGIS® foi utilizado a função “*Project*” para projeção da imagem. Posteriormente, empregou-se a função “*Extract by Attributes*”, formando um novo arquivo matricial, que foram convertidos em formato vetorial através da função “*Raster to polygon*”.

No que diz respeito às unidades de conservação de proteção integral, conforme estabelecido pela Lei nº 9.985/2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), seu principal objetivo é a preservação do meio ambiente e a manutenção dos ecossistemas livres de intervenções humanas, permitindo apenas o uso indireto de seus recursos naturais. Portanto, atividades agrícolas não são permitidas nessas áreas (SNUC, 2000; Souza Jr *et al.*, 2020).

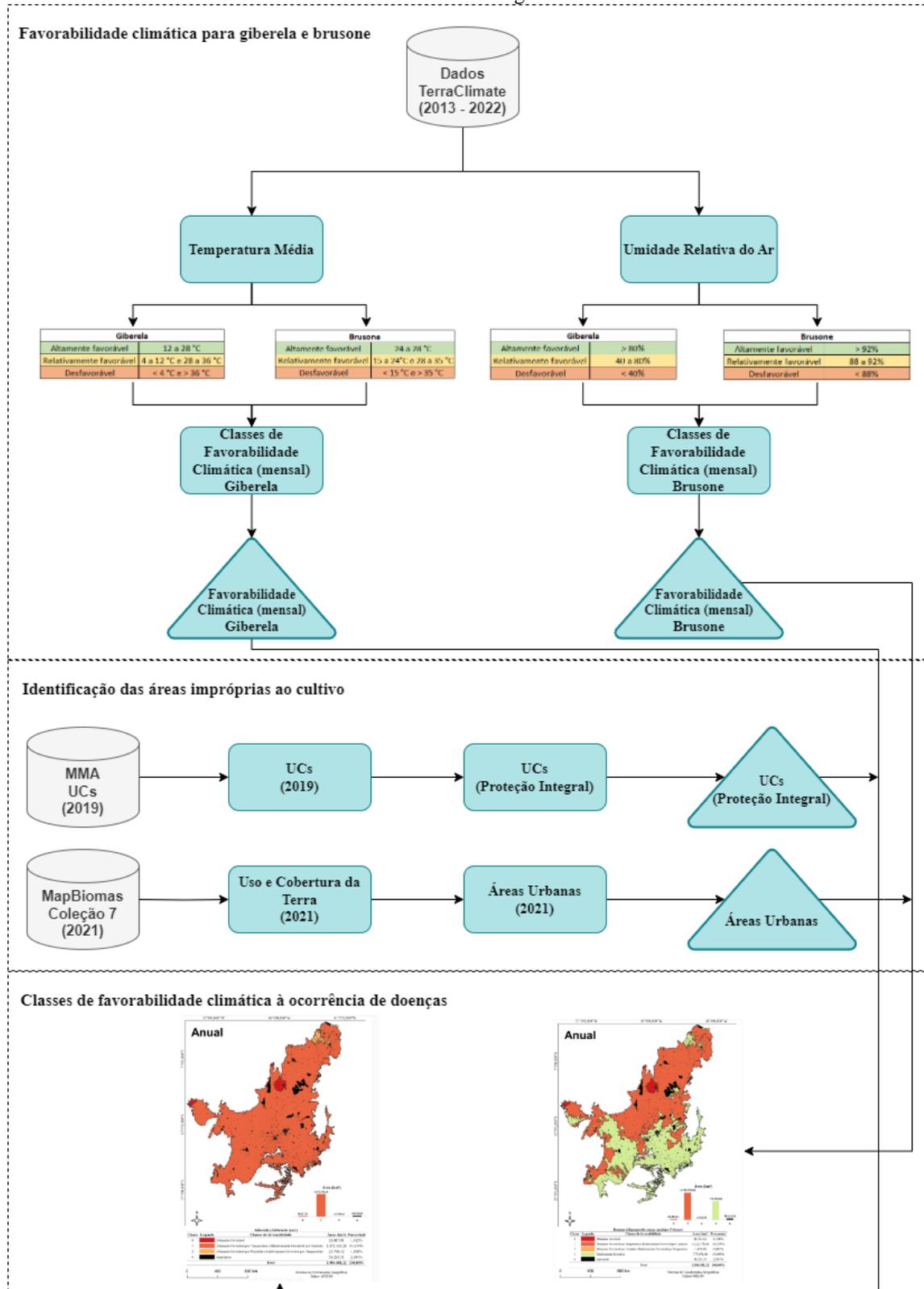
A obtenção das imagens matriciais relacionadas às unidades de conservação foi realizada através do portal do Ministério do Meio Ambiente. Essas imagens foram projetadas no software ArcGIS® e reclassificadas para selecionar as unidades de conservação de proteção integral. Em seguida, foram convertidas em arquivos vetoriais utilizando a função “*Raster to polygon*”.

Por fim, a função “*Dissolve*” foi aplicada para unir os polígonos das imagens vetoriais obtidas, permitindo a adição de uma coluna na tabela de atributos para indicar a classe das áreas impróprias.

3.2.4 Espacialização da favorabilidade climática à ocorrência da giberela e brusone

As etapas metodológicas para a espacialização das condições de favorabilidade à ocorrência das doenças foram embasadas nas metodologias propostas por Santos *et al.* (2022) e Moreira (2023) (Figura 5).

Figura 5 - Etapas metodológicas para espacialização da favorabilidade climática à ocorrência da giberela e brusone do trigo.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Para criar um banco de dados climáticos das principais variáveis que afetam o estabelecimento e desenvolvimento da giberela e brusone no trigo foram levadas em consideração a temperatura média do ar e a umidade relativa. Essa abordagem seguiu a metodologia apresentada em estudos sobre zoneamento e favorabilidade agroclimática para a ocorrência de doenças agrícolas (Moraes *et al.*, 2011; Santos, 1999).

O dado relativo à temperatura média do ar foi adquirido seguindo o procedimento descrito no item 2.2.2 desta metodologia. Além disso, a umidade média do ar foi determinada a partir da temperatura média do ar e da pressão de vapor d'água, obtidas conforme o item 2.2.2.

A quantidade de vapor d'água presente na atmosfera está diretamente relacionada com a temperatura ambiente. Quanto mais elevada a temperatura do ar, maior será a pressão exercida pelo vapor d'água. Assim, é possível calcular a pressão máxima de vapor d'água com base na temperatura utilizando a equação desenvolvida por Tetens (Equação 1). Essa equação estabelece uma relação precisa entre a temperatura e a pressão máxima de vapor d'água na atmosfera (Soares e Batista, 2015; Tetens, 1930). Para o cálculo da pressão máxima de vapor d'água foi utilizado a função “*Calculadora Raster*” do QGIS®, inserindo a Equação 1 e os dados de temperatura média do ar.

$$e_s = 0,611 * 10^{[(7,5*Tar)/(237,3+Tar)]} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

e_s é a pressão máxima de vapor d'água (kPa), e;

Tar é a temperatura do ar (°C).

A umidade relativa do ar indica a quantidade de vapor de água presente na atmosfera em relação à quantidade máxima possível para uma determinada temperatura. É uma medida que reflete a proporção entre a quantidade real de vapor d'água no ar e a quantidade máxima que poderia existir na mesma temperatura. A obtenção dessa variável se deu pelo emprego da Equação 2 na função “*Calculadora Raster*” do QGIS®.

$$UR = \frac{e_a}{e_s} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

UR é a umidade relativa do ar (%);

e_a é a pressão atual de vapor d'água (kPa), e;

e_s é a pressão máxima de vapor d'água (kPa).

Dentro da plataforma SIG, foram processadas e projetadas as imagens raster resultante das Equações 1 e 2. Posteriormente, os arquivos raster foram convertidos para vetor utilizando a função "*Raster para vetor*" e interpolados através da função "*Interpolação IDW*", resultando em novos arquivos raster com células de 1 km². Em seguida, com base na metodologia desenvolvida por Cecílio *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2022), criaram-se mapas com a espacialização das variáveis climáticas temperatura média e umidade relativa do ar.

A partir dessas informações realizou-se a reclassificação dessas variáveis obtidas, utilizando a função "*Reclassificar por tabela*" para gerar imagens raster reclassificadas para o todo território do Cerrado Brasileiro.

Tabela 1 - Condições de favorabilidade para o desenvolvimento da giberela no trigo.

Classe	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Altamente favorável	20 a 30	> 80
Relativamente favorável	4 a 20 ou 30 a 36	40 a 80
Desfavorável	< 4 ou > 36	< 40

Fonte: Adaptado de Del Ponte *et al.* (2004).

Tabela 2 - Condições de favorabilidade para o desenvolvimento da brusone no trigo.

Classe	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Altamente favorável	24 a 28	> 92
Relativamente favorável	15 a 24 ou 28 a 35	88 a 92
Desfavorável	< 15 ou > 35	< 88

Fonte: Adaptada de Cardoso, Reis e Moreira (2008); Li, Uddin e Kaminski (2013) e Torres *et al.*, (2022).

Tabela 3 - Classes de favorabilidade climática à ocorrência das doenças.

Valor da Classe	Classes de Favorabilidade
0	Altamente Favorável
1	Altamente Favorável por Temperatura e Relativamente Favorável por Umidade
2	Altamente Favorável por Umidade e Relativamente Favorável por Temperatura
3	Relativamente Favorável
4	Altamente Favorável por Umidade e Desfavorável por Temperatura
5	Relativamente Favorável por Umidade e Desfavorável por Temperatura

Conjuntamente foram estruturadas as condições de favorabilidade para o desenvolvimento da giberela (Tabela 1) e brusone (Tabela 2). Estas foram estabelecidas a partir de dados epidemiológicos e informações bibliográficas anteriores.

Após a reclassificação das imagens raster para as duas variáveis climáticas, foi realizado processo de classificação cruzada desses dados com as informações para o desenvolvimento das doenças, através da função “*r.cross*”. O objetivo foi obter camadas que integrassem as condições de favorabilidade climática no bioma, tanto para temperatura quanto umidade do ar, simultaneamente. Essa abordagem permitiu mapear áreas onde as condições climáticas são propícias ou não para o desenvolvimento das doenças.

Posteriormente foram adicionadas colunas na tabela de atributos das camadas matriciais, permitindo a classificação dos graus de favorabilidade e desfavorabilidade com base na interação cruzada das variáveis climáticas. Essa inclusão de informações na tabela de atributos facilita a análise e a interpretação dos dados, fornecendo uma compreensão mais detalhada dos diferentes níveis de favorabilidade presentes nas áreas mapeadas.

Na sequência, foi aplicada a função “*Raster para Vetor*” para converter todas as imagens em formato vetorial poligonal. Além disso, utilizou-se a função “*Corrigir Geometria*” para resolver quaisquer distorções ou inconsistências na geometria dos polígonos resultantes. Para simplificar os polígonos e consolidar as informações analisadas, foi empregada a função “*Dissolver*”. Essa etapa permitiu unir polígonos adjacentes com a mesma classificação de favorabilidade, resultando em uma representação mais clara e simplificada das áreas favoráveis à ocorrência dos patógenos.

Em posse arquivos vetoriais, utilizou-se a função “*Updat*” para inclusão das áreas impróprias nas imagens obtidas, integrando as informações sobre a distribuição das classes e os locais inadequados para o cultivo do trigo.

Por fim, através das ferramentas “*Calculadora de Campo*”, foram criados três campos na tabela de atributo dos mesmos para a aquisição de informações de área (km²), perímetro (km) e porcentagem das classes, resultando nos mapas finais de favorabilidade à ocorrência da giberela e brusone no trigo para a região do Cerrado Brasileiro.

Com foco em melhorar as análises do efeito das variáveis climáticas combinadas para compor a favorabilidade às doenças foram propostos três cenários de ciclos produtivos (épocas de plantio). A partir desses dados, foram elaborados mapas com a espacialização das classes de favorabilidade à ocorrência das doenças para cada época de plantio.

3.2.5 Dados meteorológicos para o município de Cristalina (GO)

Os dados meteorológicos aplicados no estudo de caso do município de Cristalina (GO) são provenientes da estação meteorológica automática do INMET. A estação selecionada foi a estação automática Cristalina (GO) – A036 (latitude 16°47'16" S, longitude 47°36'41" W e altitude de 1.202m) e foram obtidos dados meteorológicos do período de 10 anos (2013 a 2022). Para a análise em questão, foram calculados o somatório diário para precipitação total (mm) e as médias diárias para temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

A temperatura média no Cerrado Brasileiro apresenta uma distribuição temporal distintiva característica dessa região. Nos meses de janeiro a março a temperatura máxima varia entre 27,9°C e 29,2°C, apresentando leve queda em abril para 28,1°C (Tabela 4). No mês de maio registra-se a temperatura máxima mais baixa, atingindo 28,5°C, e mantém-se estável em torno de 28,3°C até setembro. A partir de outubro, observa-se um aumento gradual, atingindo o pico em outubro com 31,3°C, seguido por uma diminuição gradual até dezembro, quando atinge 30,0°C.

Por outro lado, a temperatura mínima apresenta uma variação mais acentuada ao longo do ano. De janeiro a março, oscila entre 18,6°C e 19,0°C. A partir de abril, há uma queda gradual, atingindo o ponto mais baixo em junho, com 12,9°C. Em agosto, a temperatura mínima volta a subir gradualmente, estabilizando entre 17,1°C e 18,3°C nos meses de outubro a dezembro.

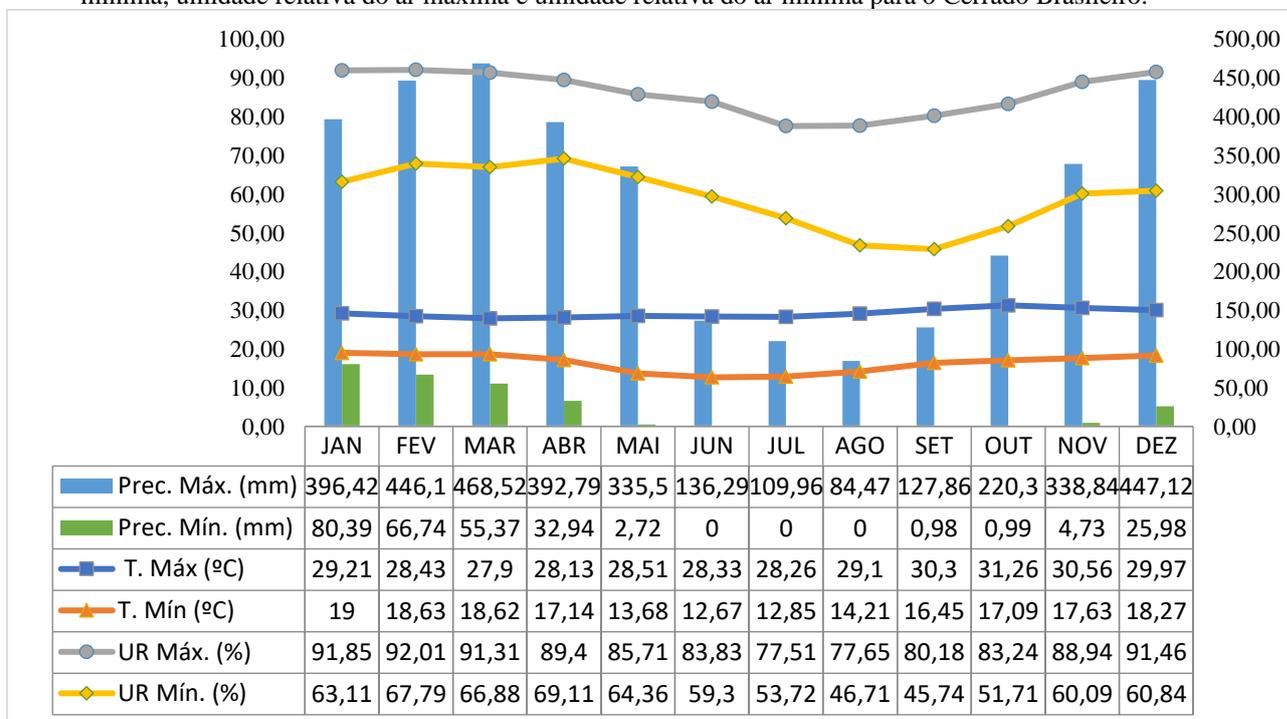
Essa distribuição temporal reflete as características do clima tropical predominante na região, evidenciando uma estação seca e fria de maio a setembro, seguida por uma estação chuvosa e quente de outubro a abril. Nas regiões norte e nordeste do Cerrado, as temperaturas são mais elevadas, e as variações térmicas são menos acentuadas ao longo do ano. Em contraste, nas regiões sul e sudeste, as temperaturas são mais intensas durante o verão, com menor amplitude térmica no inverno (Figura 6).

No aspecto da distribuição geográfica, as variações são mais pronunciadas nas regiões sul e sudeste em comparação com as regiões norte e nordeste, onde a variação de altitude exerce menor influência. A amplitude térmica anual está diretamente relacionada à latitude e topografia, corroborando estudos anteriores (Nascimento e Novais, 2020; Silva *et al.*, 2008). Locais de menor altitude e latitude associam-se a temperaturas mais elevadas, enquanto altitudes superiores resultam em decréscimo na variabilidade térmica.

Esses fenômenos estão intrinsecamente ligados à tipologia climática do local, com a porção norte caracterizada pelo clima tropical (Aw), marcado por uma estação chuvosa no verão e um período seco inverso, temperaturas mais elevadas e maiores precipitações. Já no Sudeste,

as características são típicas do clima subtropical de inverno seco (Cwa), com temperaturas mais baixas (Silva *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2021).

Tabela 4 - Médias mensais de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação máxima, precipitação mínima, umidade relativa do ar máxima e umidade relativa do ar mínima para o Cerrado Brasileiro.



Fonte: Elaboração própria (2024).

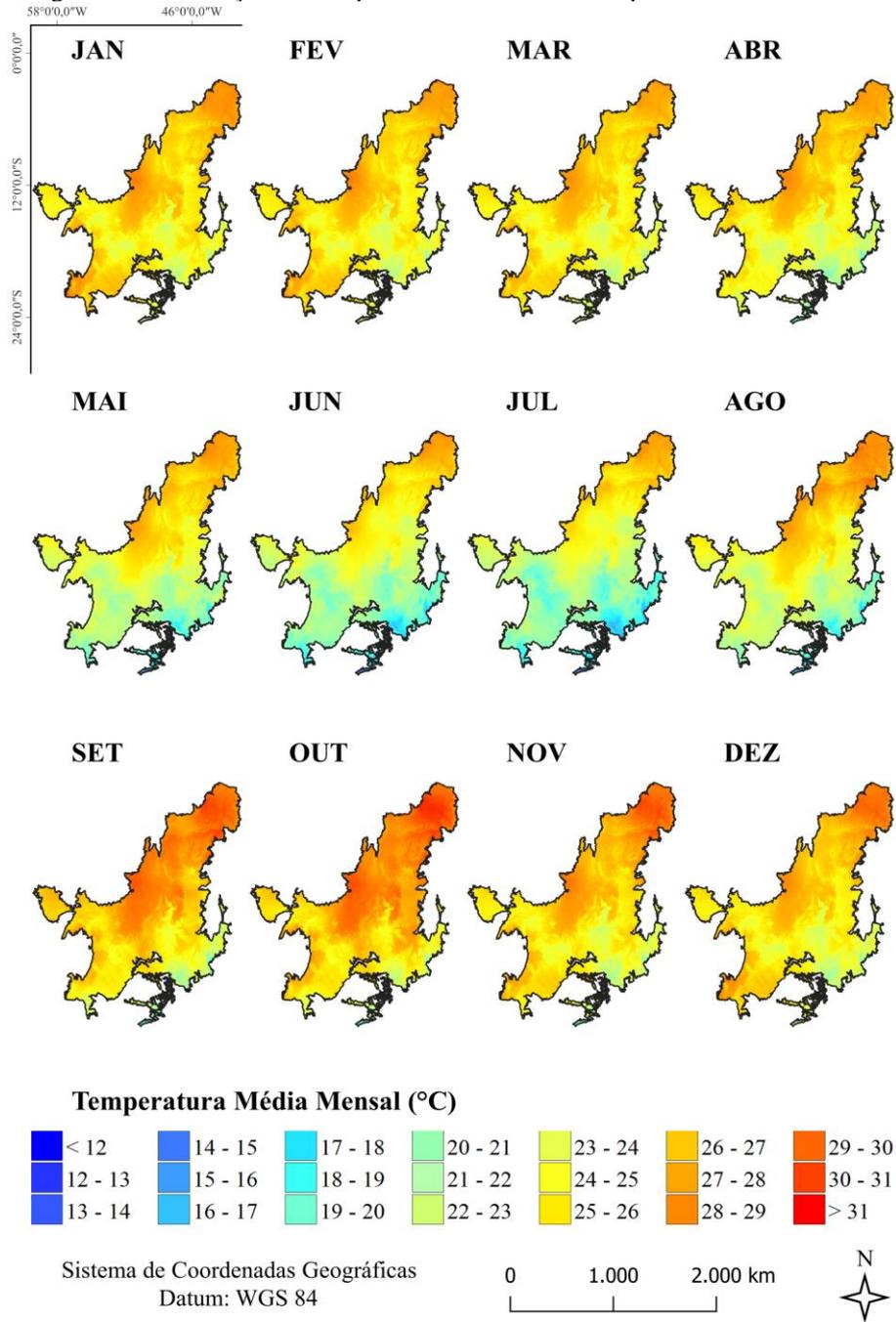
Quanto à umidade relativa do ar no bioma Cerrado verifica-se uma variabilidade ao longo do ano e em diferentes regiões desse ecossistema, contrastando com a menor oscilação observada na temperatura. Nos meses compreendidos entre janeiro e março a umidade atinge seus valores máximos, superando 90%, destacando-se especialmente nos dois primeiros meses, quando alcança cerca de 92% (Tabela 3). Esse período coincide com a elevada ocorrência de chuvas, resultando em um aumento significativo da umidade ambiental, com as áreas localizadas a leste e ao norte do bioma apresentando os índices mais elevados.

A partir de abril observa-se uma gradual diminuição, particularmente nas regiões centro-oeste (Figura 7), atingindo seu ponto mínimo em julho, com uma média de 77,5%. Nesse período, caracterizado pela estação seca e estiagem, as chuvas são escassas, contribuindo para a redução da umidade relativa do ar. Em setembro ocorre o ponto mínimo, atingindo 45,7%. Contudo, a umidade volta a se elevar entre novembro e dezembro, marcando o início da estação chuvosa, quando a maior parte do bioma apresenta valores acima de 80%.

A análise das precipitações mensais para a região possibilita a identificação das épocas secas e úmidas, características do Cerrado Brasileiro. Observa-se maiores índices de precipitação no primeiro trimestre, principalmente na região centro-oeste, com máxima 468,52 mm em março (Figura 8). A partir de abril, há um decréscimo significativo do volume de chuvas na área, atingindo seu pico mínimo de 84,47 mm em agosto. Este período de estiagem se estende até o mês de setembro, quando a variável volta a crescer até dezembro.

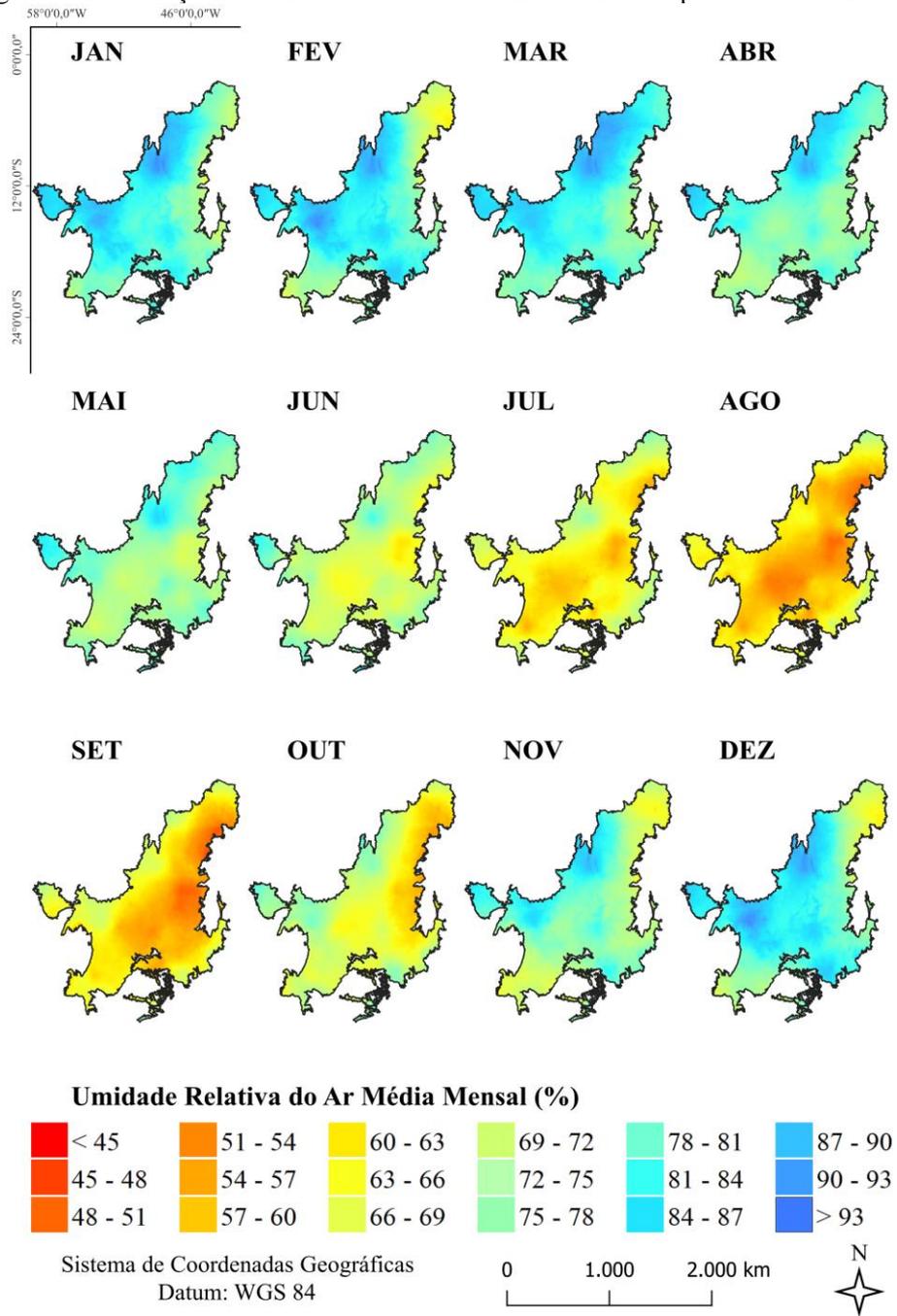
Assim como destacam Nascimento e Novais, (2020), a variação espaço-temporal dessas variáveis climáticas destaca a forte sazonalidade desses indicadores, configurando dois períodos característicos do bioma, o seco e o chuvoso. Essa dinâmica revela uma interação complexa entre os padrões climáticos sazonais do Cerrado, influenciado diretamente pela latitude e altitude locais. Tais informações são essenciais para compreender as condições ambientais nesse bioma e suas implicações no desenvolvimento das doenças alvo deste trabalho.

Figura 6 - Distribuição das temperaturas médias mensais para o Cerrado Brasileiro.



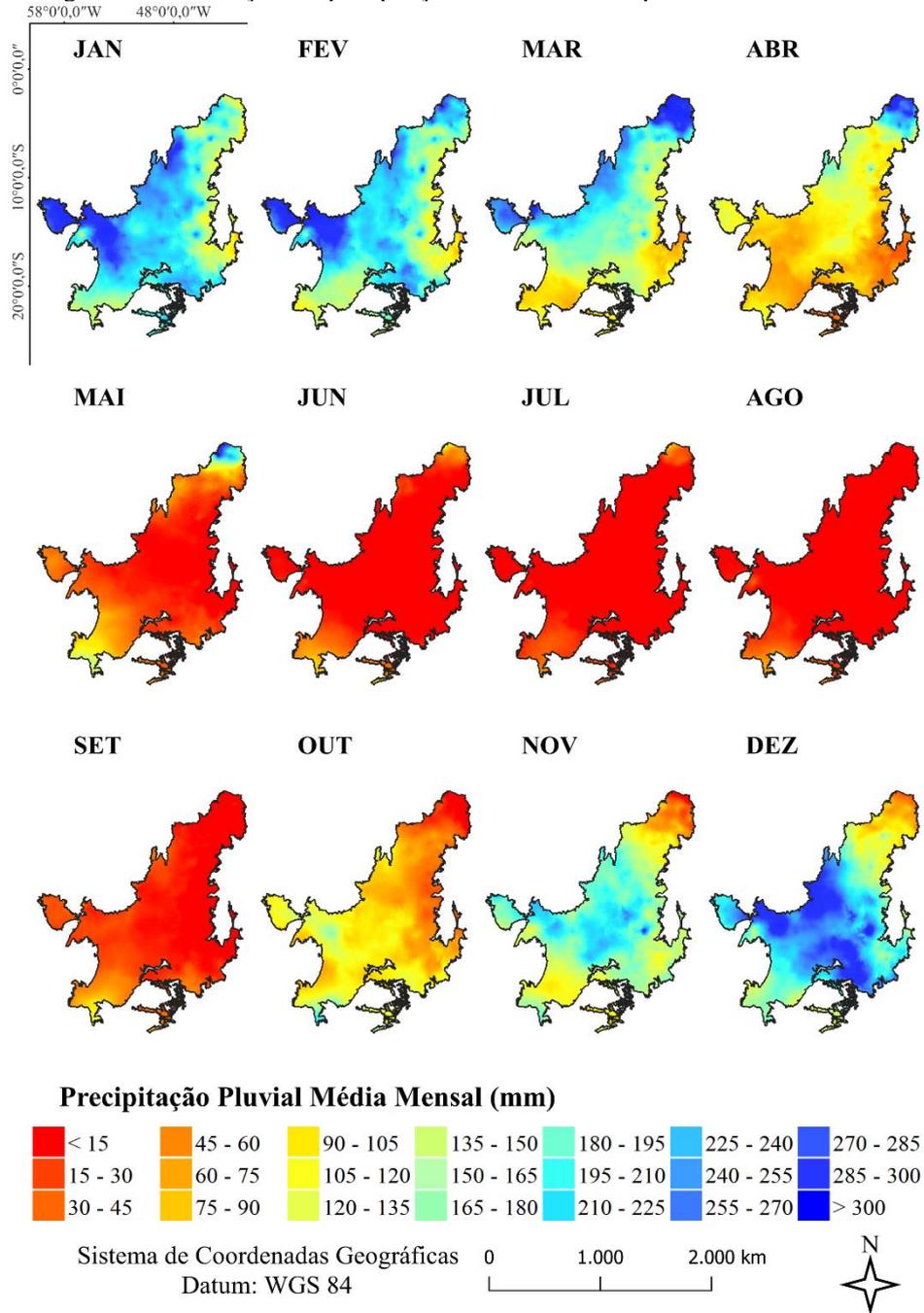
Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 7 - Distribuição das umidades relativas do ar médias mensais para o Cerrado Brasileiro.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 8 - Distribuição das precipitações médias mensais para o Cerrado Brasileiro.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Na produção de trigo no Cerrado Brasileiro é altamente recomendado realizar o plantio da cultura no período compreendido entre março e maio, podendo estender o final do seu ciclo até setembro. Este intervalo é estrategicamente escolhido, uma vez que apresenta condições climáticas propícias para o desenvolvimento do trigo, conforme indicado por estudos recentes (Caldas, 2021; Lobato, 2023). Em relação a doença, a combinação de elevados índices de

temperatura, umidade relativa do ar e precipitação são essenciais para o desenvolvimento dos patógenos, sendo assim, o baixo volume de chuvas no período pode ser um fator limitador para esses patossistemas (Dianese *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a temperatura média, a precipitação e a umidade relativa do ar oscilam entre 12,7-30,3°C, 0,0-468,5mm e 45,7-91,3%, respectivamente. A relevância desses parâmetros climáticos é destacada ao considerarmos os fatores propícios a ocorrência da giberela e da brusone no trigo (Tabelas 1 e 2). As condições climáticas observadas durante esse período encontram-se dentro das faixas ideais para a ocorrência desses patógenos, onde a baixa precipitação e a interação entre temperatura e umidade relativa do ar corresponde às diferentes classes de favorabilidade propostas neste estudo (Tabela 3).

4.2 ESPACIALIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA GIBERELA E BRUSONE DO TRIGO

4.2.1 Favorabilidade climática à ocorrência da giberela

No âmbito anual, a espacialização da favorabilidade à ocorrência de *G. zae* no Cerrado Brasileiro revela que os maiores percentuais de área estão concentrados nas classes Altamente Favorável (0) e Altamente Favorável por Temperatura e Relativamente Favorável por Umidade (1), com valores mais elevados nos meses de julho, agosto e setembro (Figura 9). Na classe 0, a incidência varia de 47,8% a 57,6% da área entre janeiro, fevereiro e março, com uma significativa redução a partir de abril. Como destacado, julho (71,4%), agosto (90,1%) e setembro (96,4%) registram o maior percentual de área, constituindo o período mais favorável para o desenvolvimento do fungo. Os meses subsequentes apresentam uma oscilação negativa até outubro, seguida por uma ascensão em dezembro (53,3%).

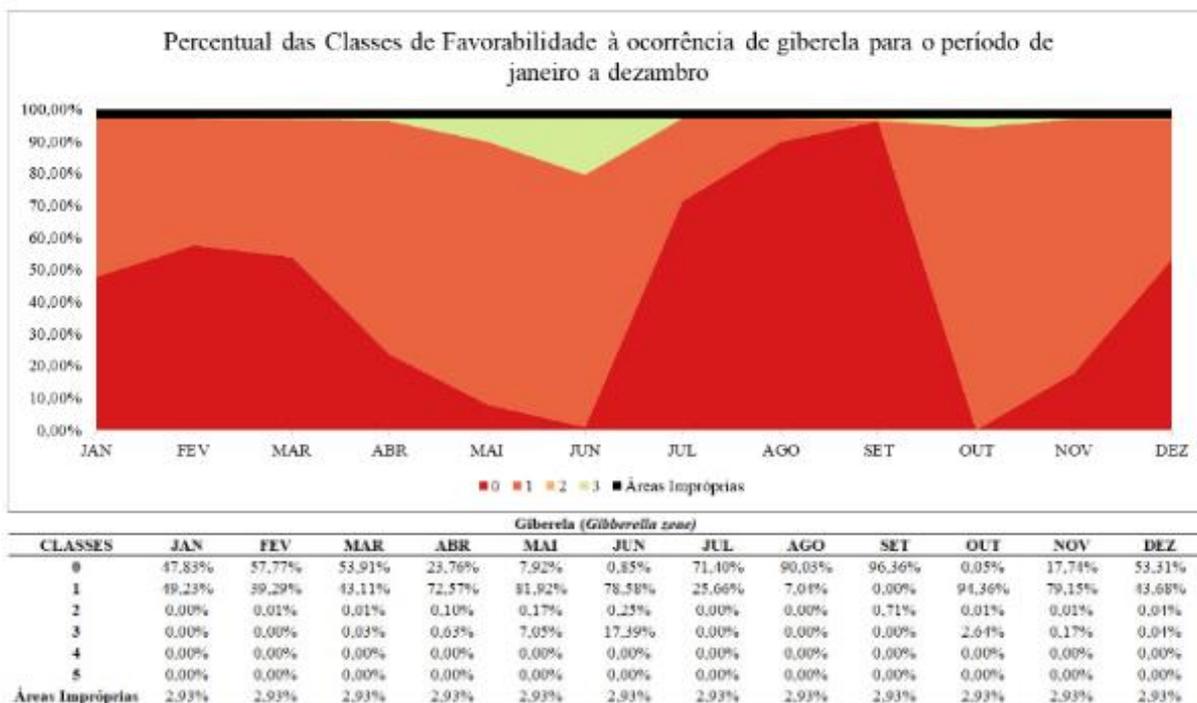
No que se refere à classe 1, a maior incidência é observada entre abril e junho e de outubro a novembro, atingindo o pico em outubro (94,4%). É importante ressaltar que a extensão territorial associada a essas duas classes representa mais de 96,0% da área do bioma Cerrado ao longo do ano, com exceção de junho, que possui aproximadamente 80%.

As classes de favorabilidade climática Altamente Favorável por Umidade e Relativamente Favorável por Temperatura (2) e Relativamente Favorável (3) apresentam valores muito baixos para a ocorrência da giberela, destacando-se a classe 3, em que a

ocorrência é muito baixo ou não ocorre nos primeiros 5 meses do ano. As classes Altamente Favorável por Umidade e Desfavorável por Temperatura (4) e Relativamente Favorável por Umidade e Desfavorável por Temperatura (5) não apresentam ocorrência em nenhum dos meses do ano, indicando o potencial da temperatura para criar condições ideais para o desenvolvimento da doença.

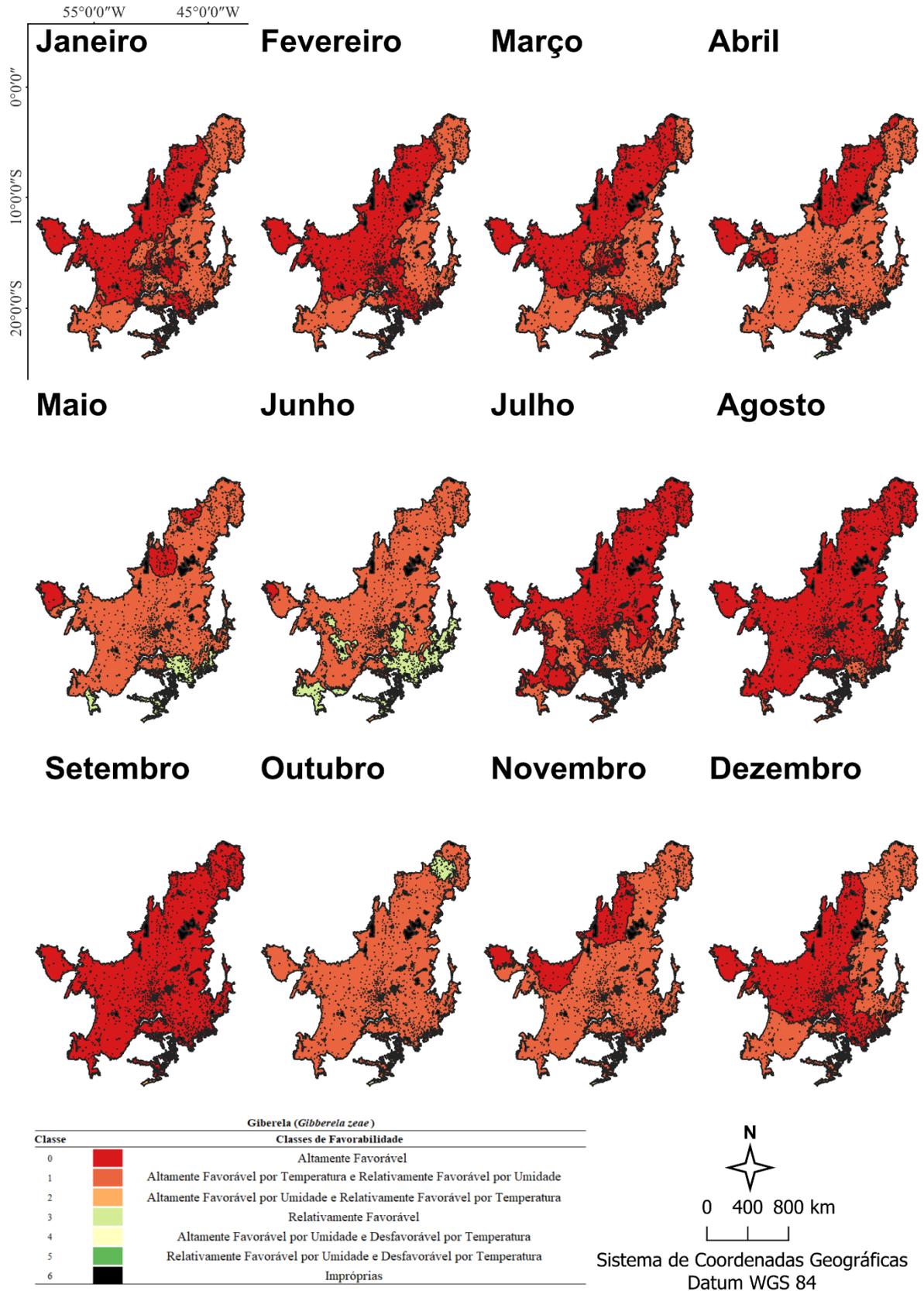
Em uma análise detalhada da distribuição geográfica mensal da favorabilidade, observa-se uma dinâmica marcante no primeiro trimestre, onde os percentuais de área correspondentes às classes 0 e 1 concentram-se predominantemente nas regiões oeste, central e norte do Cerrado (Figura 10). Durante o segundo trimestre, há uma progressiva predominância da classe 1 em todo o território, atingindo seu pico em junho. Nos meses de julho e agosto as condições favoráveis ao fungo intensificam o nível de risco de ocorrência da doença, abrangendo praticamente toda a extensão do Cerrado. Nos meses subsequentes, a classe 3 ganha destaque, concentrando-se na porção norte. Por fim, a condição de alta favorabilidade novamente se eleva até dezembro, com exceção da região norte, onde a classe 4 é observada.

Figura 9 - Distribuição do percentual da área do Cerrado Brasileiro para a classificação de favorabilidade à ocorrência de giberela em trigo.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 10 - Mapas com classes de favorabilidade mensais à ocorrência da giberela em trigo no Cerrado Brasileiro.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Ao analisar o período de cultivo do trigo no Cerrado, que abrange os meses de março a setembro, torna-se perceptível a dinâmica da favorabilidade à giberela durante o tempo em que as lavouras estão no campo, vulneráveis ao patógeno.

Entre as categorias propostas, nota-se que as classes 0, 1 e 2 exibem a maior incidência, enquanto as classes 3, 4 e 5 não são registradas nessa análise. A condição altamente favorável revela a maior flutuação ao longo dos meses, com índices oscilando de 0,8% em junho para 96,4% em setembro. Na classe 1, os índices foram mais expressivos em maio e outubro, atingindo 4,4%. Em relação à classe 2, não houve ocorrência ou foi extremamente baixa em todos os meses, exceto em junho, quando chegou a representar 17,4% da área do território.

Esses resultados indicam que as condições favoráveis à *Gibberella zea* variam ao longo do ciclo produtivo do trigo e no território analisado. Isso possibilita a identificação de locais específicos, janelas críticas e potenciais danos maiores causados pela doença. Tais informações revelam-se fundamentais para o planejamento de estratégias de cultivo e o manejo integrado da doença.

4.2.2 Favorabilidade climática à ocorrência da brusone

Com base nos resultados verifica-se que a ocorrência de *P. oryzae* no Cerrado é mais frequente nos meses de maio a outubro, com pico neste último mês. Isso está relacionado às condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do fungo, como alta umidade e temperatura.

Além disso, é interessante notar que a distribuição da brusone no bioma não é homogênea. A favorabilidade à doença está mais concentrada nas classes 0 e 1, que correspondem a condições altamente favoráveis e favorece a disseminação do fungo (Figura 11). A categoria Altamente Favorável (0) tem uma ocorrência baixa nos quatro primeiros meses do ano e, a partir de maio, apresenta um crescimento significativo, chegando a 62,1% da área. Quanto à classe 1, há predominância em grande parte do ano, expressando valores máximo de 76,5% em janeiro e mínimo de 34,9% em outubro.

Por outro lado, as classes 2, 3 e 4 apresentam menor ocorrência em volume de área. Destas, a Relativamente Favorável (3) é a que tem alguma expressividade no período analisado. De janeiro a abril, a classe apresenta certa estabilidade e seus índices se anulam entre maio e

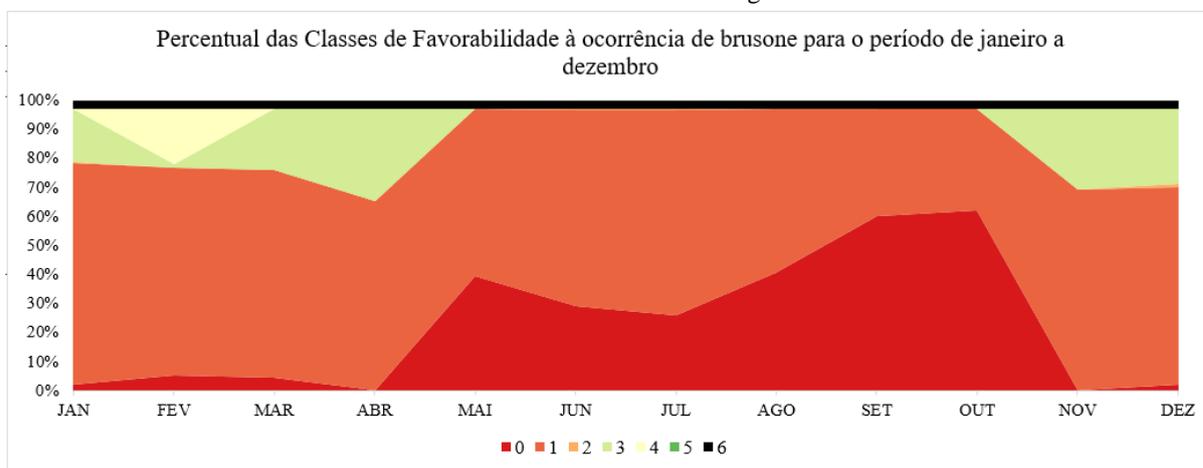
outubro. Nos dois últimos meses, a classe volta a ter em torno de 26% área no Cerrado Brasileiro.

A distribuição geográfica das classes de favorabilidade também é bem dinâmica e heterogênea (Figura 12). A classe 0 inicia com pouca intensidade nos três primeiros meses e focado nas áreas centro-oeste e noroeste da região. Maio marca o início de uma crescente e progressiva elevação na alta favorabilidade, tendo outubro com pico e predominância da área, com 62,1%.

A classe 1 tem grande relevância e está presente em praticamente todo território e permanece um cenário semelhante até abril. Nos meses seguintes, há redução da representatividade no percentual de área que se estende até setembro e oscila as regiões afetadas. De maio a agosto, os locais de ocorrência são da porção centro-sul. Setembro e outubro são as áreas centro-norte que destacam essa categoria. Já no final do ano, com a intensificação de período chuvoso do Cerrado, observa-se novamente a grande concentração da classe em grande parte da área, com valores em torno de 68,5%.

Posteriormente, a classe 3 está ocorre em seis dos 12 meses do ano, focadas na região sudeste (janeiro a abril) e, adicionalmente, na região norte (novembro e dezembro), permanecendo na média de 25% de área nos meses que estão presentes.

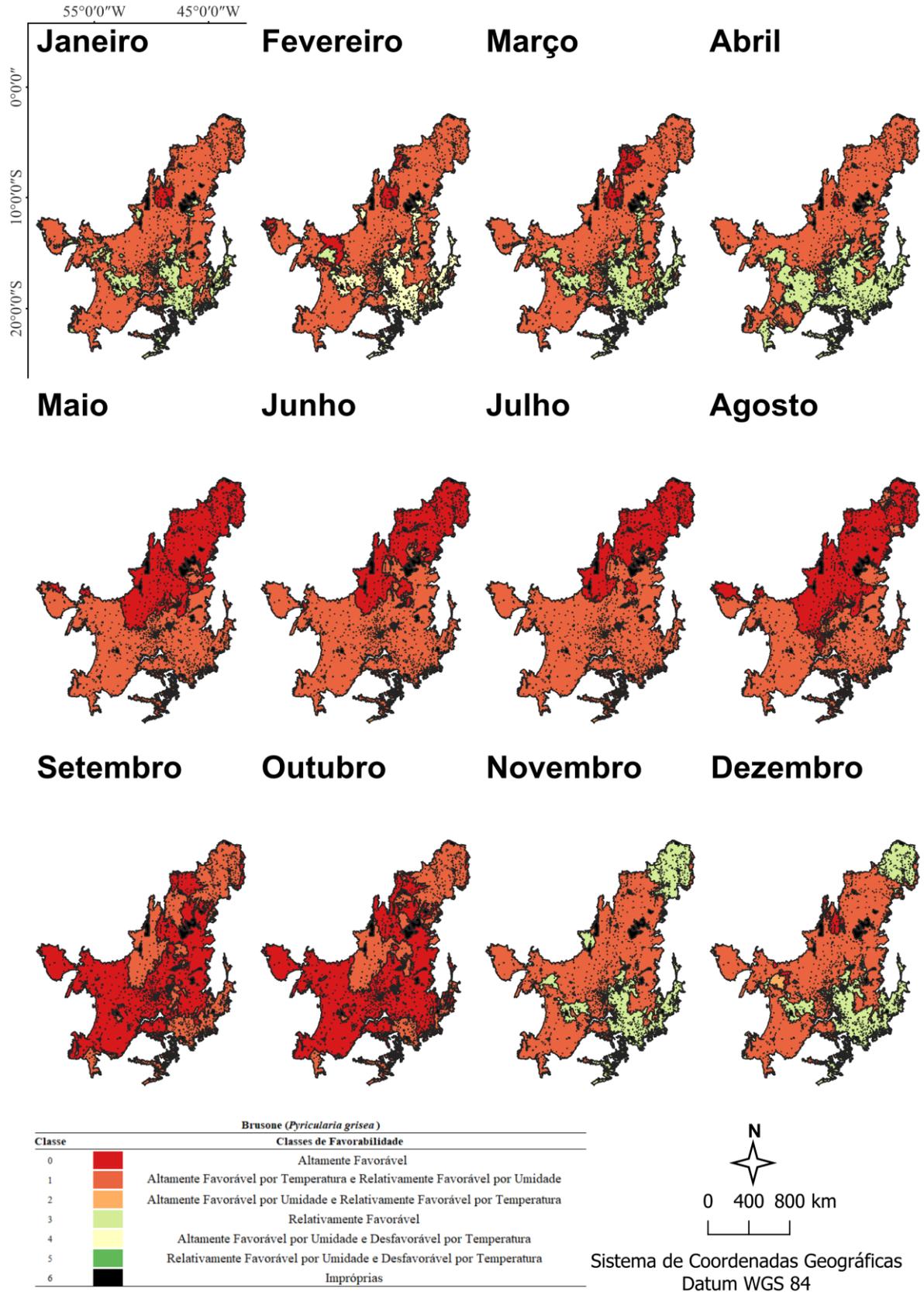
Figura 11 - Distribuição do percentual da área do Cerrado Brasileiro para a classificação de favorabilidade à ocorrência de brusone em trigo.



Brusone (<i>Magnaporthe oryzae</i>)												
CLASSES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	2,1%	5,3%	4,4%	0,4%	39,5%	29,1%	26,2%	40,8%	60,2%	62,1%	0,0%	2,3%
1	76,5%	71,4%	71,6%	64,9%	57,4%	67,8%	70,7%	56,3%	36,8%	34,9%	69,5%	68,0%
2	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%
3	18,1%	1,4%	21,0%	31,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	27,6%	25,8%
4	0,0%	19,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Áreas Impróprias	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 12 - Mapas com classes de favorabilidade mensais à ocorrência da brusone em trigo no Cerrado Brasileiro.



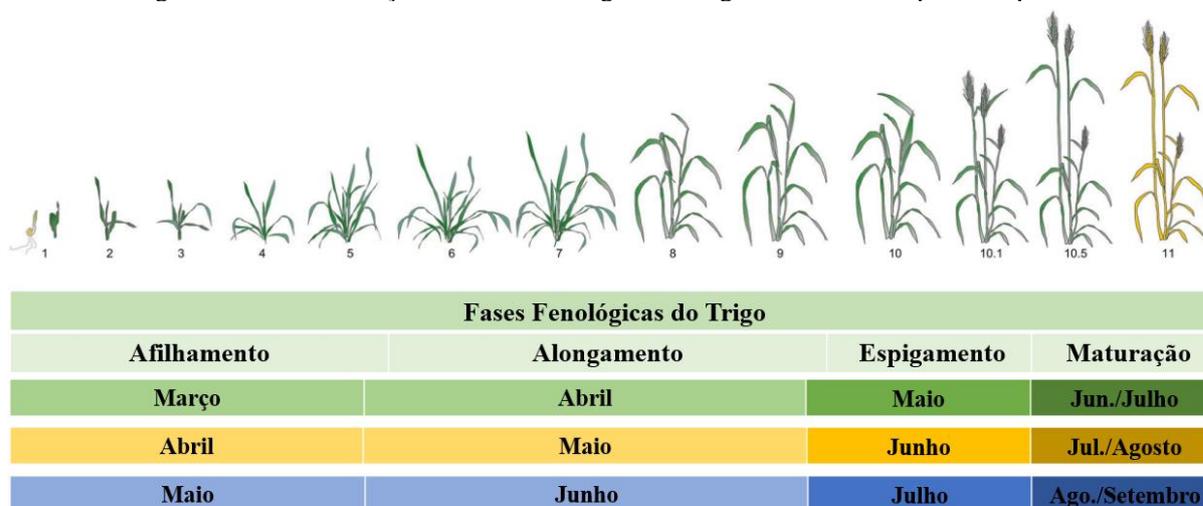
Fonte: Elaboração própria (2024).

4.3 EFEITO DA ÉPOCA DE PLANTIO NA DINÂMICA DE FAVORABILIDADE A OCORRÊNCIA DA GIBERELA E BRUSONE

A adequação da cultura às condições edafoclimáticas da região de cultivo é de fundamental importância para o seu desenvolvimento pleno e para maximizar a qualidade e produtividade das lavouras. Atualmente tem-se cultivares que apresentam diferentes características e ciclos produtivos, onde possibilita cultivos com ciclos super-precoces até ciclos tardios, conforme destaca a escala de Feeks e Large (Large, 1954). Para a cultura do trigo, o período médio entre a sementeira e o espigamento é de 60 dias, enquanto que o ciclo total pode ser superior a 120 dias (Só e Silva *et al.*, 2015).

Essa dinâmica tem grande impacto, por exemplo, na favorabilidade climática para ocorrência de doenças em estádios de maior vulnerabilidade no desenvolvimento da planta. A exemplo disso, a giberela é uma doença floral, com ponto crítico entre o início da floração até a maturação (Figura 13), momento este da extrusão das anteras e é altamente dependente das condições climáticas para o seu desenvolvimento, causando danos severos as espigas afetadas (Del Ponte *et al.*, 2004). Dianese *et al.* (2022) também corroboram esse argumento, demonstrando que a intensidade da brusone reduz à medida que o espigamento da cultura ocorre em períodos de baixa precipitação e com temperaturas mais amenas.

Figura 13 – Caracterização das fases fenológicas do trigo em diferentes épocas de plantio.



Fonte: Adaptada de escala de Feeks e Large (Large, 1954).

4.3.1 Giberela

No primeiro cenário, evidencia-se que o plantio em março resulta em alto percentual inicial de área classificado como altamente favorável, considerando tanto a temperatura quanto a umidade (Figura 14). Contudo, ao longo dos meses de cultivo observa-se uma redução progressiva desse indicador, atingindo menos de 1% da área em junho. Julho destaca-se como o mês crítico, com a combinação de variáveis climáticas propícias potencializando a elevada favorabilidade em toda a região.

Neste contexto, o último mês de cultivo, fase de maturação, o risco para infecção do fungo aumenta significativamente. Por se tratar de uma doença floral, com ponto crítico entre o início da floração e segue até a maturação, a sua penetração nas anteras é altamente dependente das condições climáticas, causando danos severos as espigas afetadas (Del Ponte *et al.*, 2004). A exemplo disso, pesquisas realizadas na região de Passo Fundo, RS, apontaram que safras de trigo sob condições climáticas favoráveis à giberela, a intensidade média da doença chegou próxima a 60%. Outro estudo conduzido nas regiões Sul e Sudeste, com semeadura entre maio e julho e cultivares com diferentes níveis de resistência à giberela, semelhantes aos cenários propostos, apresentaram médias de 52,8%, 22,2% e 13,7% para incidência, severidade e índice da doença, respectivamente. Sendo assim, a escolha de cultivares com diferentes ciclos produtivos e o escalonamento da época de semeadura são estratégias interessantes de escape, possibilitando reduzir a exposição da lavoura às condições propícias para a doença no período de maior predisposição da cultura (Casa *et al.*, 2004, 2007; Ferreira *et al.*, 2023; Lima, 2023; Ponte, Del *et al.*, 2004; Reis *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2009).

No segundo cenário, em que o plantio tem início em abril, observa-se uma alta favorabilidade para a doença em toda a extensão territorial nos meses finais do desenvolvimento do trigo (Figura 15). Esse resultado indica um elevado risco durante o período suscetível da planta, destacando a necessidade premente de integrar outras técnicas de manejo para otimizar o controle do patógeno. Assim como observaram Torres *et al.* (2009) nos estados do PR, SP e MG, essa conjunção eleva o grau de risco de infecção para as lavouras com período de espigamento em julho e agosto. Nessa circunstância, quanto mais cedo a doença ocorrer, maior pode ser a proporção dos danos causados. Para além do abortamento de flores ou a não formação dos grãos, bem como as perdas em produtividade, estudos ressaltam que o progresso da doença reduz drasticamente a qualidade dos grãos e eleva sua desvalorização pelo acúmulo de

micotoxinas, as quais têm efeito tóxico para animais e seres humanos (Ferreira *et al.*, 2023; Lau *et al.*, 2020; Shude, Yobo e Mbili, 2020; Torres *et al.*, 2009).

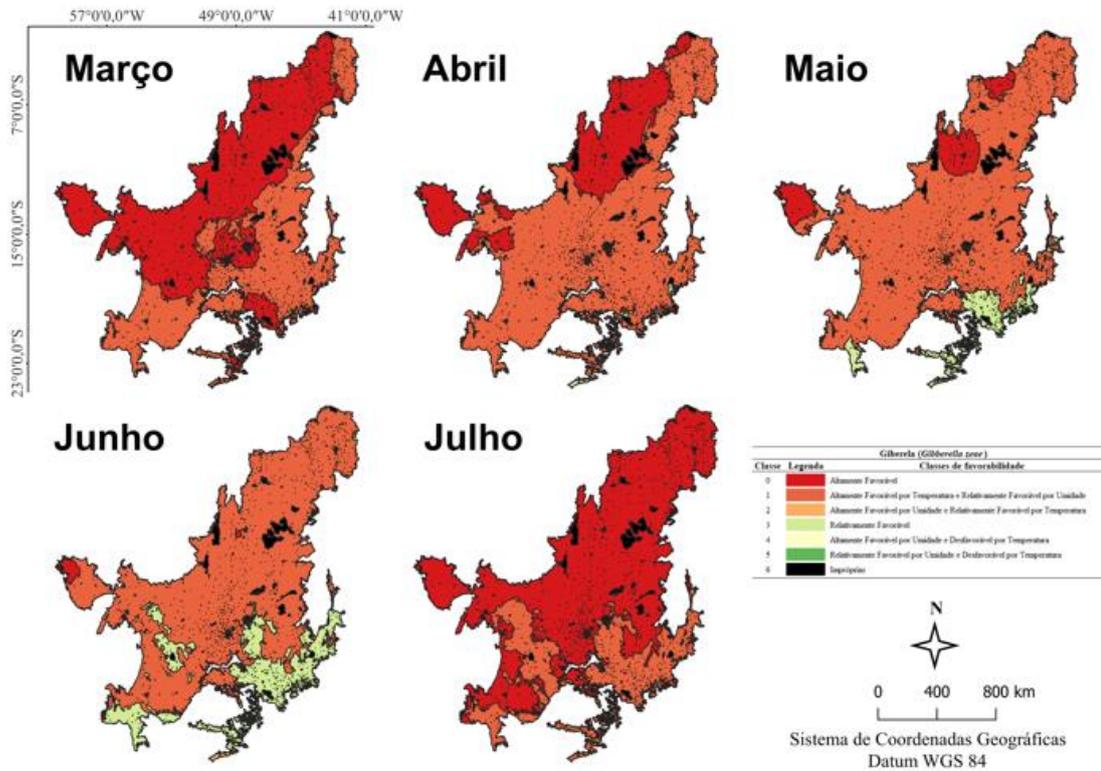
No terceiro cenário, em que o plantio do trigo ocorre em maio, os meses mais favoráveis à doença são julho, agosto e setembro, correspondentes às fases fenológicas de alongamento, espigamento e maturação (Figura 16). Essa dinâmica sugere a possibilidade de estratégias de manejo mais tardias, em que a prorrogação do final do ciclo com o intuito de minimizar os potenciais danos na cultura. Essa flexibilidade no manejo, alinhada com a compreensão das condições climáticas sazonais, destaca a importância da adaptação estratégica das práticas agrônomicas para otimizar o controle da giberela no trigo na região do Cerrado. Torres *et al.* (2009) e Shude, Yobo e Mbili, (2020) corroboram estas informações afirmando que infecções que ocorrem mais tardiamente, principalmente após a fase de enchimento de grãos, podem ter a severidade e seu impactos negativos reduzidos.

O entendimento dessas questões possibilita melhores tomadas de decisão quanto ao manejo, sendo que a época de plantio é um fator extremamente relevante. Conforme destacam Casa *et al.* (2004), Casa *et al.* (2007) e Reis *et al.* (2010), a eficiência do controle químico é altamente dependente da aplicação de fungicidas específicos no início do estágio fenológico de floração, o que reduz significativamente a infecção de *G. zae* no trigo. Caso a janela de suscetibilidade se estenda até os estádios mais avançados do desenvolvimento da cultura, torna-se necessário a integração de medidas de manejo para proteger as espigas do patógeno (Lau *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2009).

Vale ressaltar que as análises foram feitas para a espacialização das condições de campo de temperatura e umidade favoráveis para o desenvolvimento da giberela no Cerrado, não considerando sistemas produtivos irrigados. Na conjuntura de produções com a suplementação hídrica, haverá um incremento da umidade relativa do ar no microclima lavoura e, conseqüentemente, potencialização dos fatores benéficos para o desenvolvimento do patógeno. De acordo com Shude, Yobo e Mbili (2020), a maior exposição da cultura a teores elevados de umidade favorecem a descarga de ascósporos da *G. zae* e aumentam as chances de infecção.

Sendo assim, com base nestes conhecimentos, somado às previsões climáticas predominantes durante a antese e as diferentes classes e condições de favorabilidade climática à ocorrência da doença, esse conjunto de estratégias são fundamentais para orientar os produtores quanto ao melhor planejamento, definição de áreas prioritárias, direcionar o monitoramento e manejo da giberela e tomar decisões mais assertivas no campo (Lau *et al.*, 2020; Reis *et al.*, 2010).

Figura 14 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da giberela no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de março.

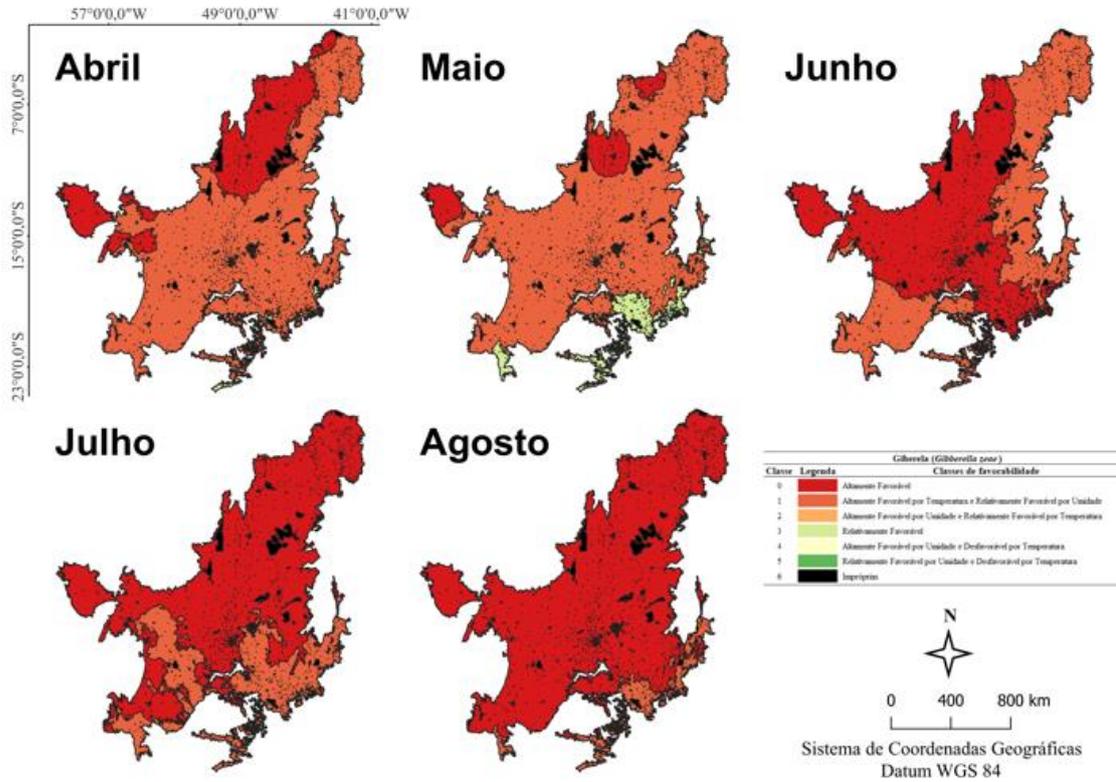


Giberela (*Gibberella zoeae*) - Plantio em março

Classe	Março		Abril		Maio		Junho		Julho	
	Área (km ²)	%								
0	1.069.876,76	53,909%	471.814,60	23,765%	157.186,05	7,920%	16.813,38	0,847%	1.417.006,76	71,401%
1	855.644,16	43,115%	1.440.816,19	72,573%	1.625.841,65	81,924%	1.559.421,47	78,577%	509.340,92	25,665%
2	161,67	0,008%	1.992,14	0,100%	3.372,37	0,170%	5.021,63	0,253%	0,000%	0,000%
3	665,03	0,034%	12.488,39	0,629%	139.947,61	7,052%	345.091,19	17,389%	0,000%	0,000%
4	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
5	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
6	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,933%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%
	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 15 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da giberela Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de abril.

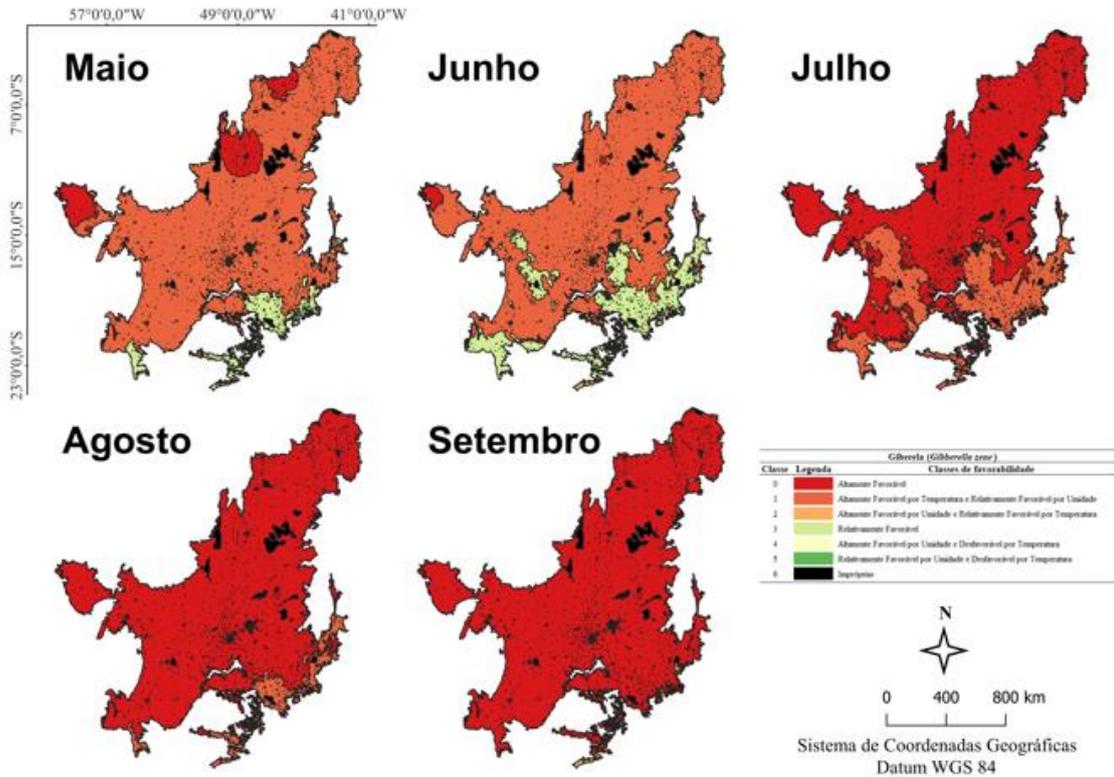


Gibberela (*Gibberella zea*) - Plantio em abril

Classe	Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto	
	Área (km ²)	%								
0	471.814,60	23,765%	157.186,05	7,920%	16.813,38	0,847%	1.417.006,76	71,401%	1.786.679,34	90,028%
1	1.440.816,19	72,573%	1.625.841,65	81,924%	1.559.421,47	78,577%	509.340,92	25,665%	139.668,33	7,038%
2	1.992,14	0,100%	3.372,37	0,170%	5.021,63	0,253%		0,000%		0,000%
3	12.488,39	0,629%	139.947,61	7,052%	345.091,19	17,389%		0,000%		0,000%
4	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
5	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
6	58.233,51	2,933%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%
	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 16 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da giberela no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de maio.



Gibereia (*Gibberella zeae*) - Plantio em maio

Classe	Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro	
	Área (km ²)	%								
0	157.186,05	7,920%	16.813,38	0,847%	1.417.006,76	71,401%	1.786.679,34	90,028%	1.912.312,70	96,359%
1	1.625.841,65	81,924%	1.559.421,47	78,577%	509.340,92	25,665%	139.668,33	7,038%	5,00	0,000%
2	3.372,37	0,170%	5.021,63	0,253%		0,000%		0,000%	14.029,98	0,707%
3	139.947,61	7,052%	345.091,19	17,389%		0,000%		0,000%		0,000%
4	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
5	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
6	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%
	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2024).

4.3.2 Brusone

Com base nos resultados verifica-se distintos cenários de favorabilidade climática ao patógeno, o que gera implicações significativas para o manejo da brusone. No primeiro cenário, caracterizado pelo plantio no mês de março, identificou-se que o início do ciclo produtivo do trigo ocorre sob diversos níveis de favorabilidade à *P. oryzae* no Cerrado (Figura 17). Notadamente, a classe altamente favorável por temperatura e relativamente favorável por umidade e relativamente favorável predominou, indicando condições propícias para o desenvolvimento do patógeno. À medida que o ciclo avança, as condições climáticas tornam-se ainda mais propícias, aumentando substancialmente o risco de infecção das lavouras de trigo.

Neste contexto há um ponto crítico dado que coincide com os estádios de alongamento, enchimento e maturação do trigo, períodos em que a cultura apresenta maior suscetibilidade à brusone.

Aliados às condições favoráveis nos primeiros meses da cultura do trigo, na região do Cerrado, a maior parte do trigo é cultivada sob condições irrigadas através do uso de pivô central, o que contribuiu para manter o ambiente favorável à doença (Goulart, Sousa e Urashima, 2007).

No segundo cenário, caracterizado pelo plantio no mês de abril, observou-se que apenas este mês apresentou condição relativamente favorável ao patógeno, enquanto o restante do ciclo transcorreu sob condições de elevado risco de infecção (Figura 18). Essa condição representa um desafio significativo para estratégias de manejo cultural, uma vez que a época de plantio se enquadra nas classes de alta favorabilidade ao desenvolvimento da brusone. De acordo com Goulart, Sousa e Urashima, (2007), a intensidade dos danos e perdas causados pela brusone estão diretamente relacionados com a época de infecção das espigas pelo fungo, sendo maiores quando esta ocorre de forma precoce, ou seja, no início das fases de florescimento e formação dos grãos.

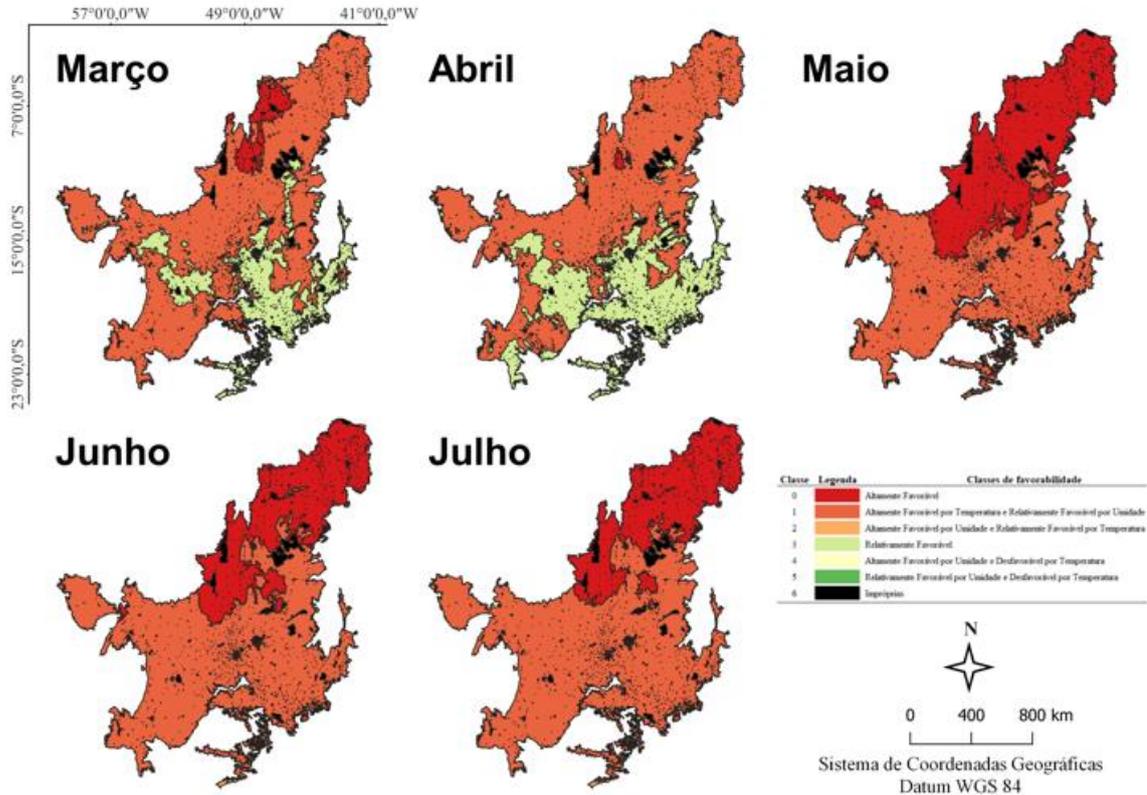
Neste cenário, medidas adicionais de controle podem ser necessárias, uma vez que a grande maioria das variedades são suscetíveis à brusone. A aplicação de fungicidas poderá se constituir em mais uma ferramenta no manejo integrado da doença, sendo observadas eficiências entre 30 e 50% dependendo da cultivar, manejo cultural e condições climáticas (Reis *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2009).

No último cenário, em que o plantio se dá no mês de maio, foi observado maior risco à ocorrência da doença (Figura 19). As variáveis climáticas nesse período foram altamente favoráveis, particularmente no final do ciclo do trigo, indicando um período crítico para a ocorrência da doença. Estratégias de manejo intensificadas, como a aplicação de fungicidas e a escolha criteriosa de cultivares, podem ser fundamentais para mitigar o risco em condições de plantio em maio.

Estudos de Goulart, Sousa e Urashima, (2007), Coelho, Cecon e Torres, (2015) e Coelho *et al.*, (2016) confirmam que a intensidade da brusone pode variar entre diferentes genótipos e ciclos produtivos. Em contrapartida, apesar dos autores observarem que cultivares de ciclo tardio terem a tendência de apresentar menores índices de brusone devido à possibilidade de escape do período de espigamento em condições climáticas favoráveis para o patógeno, nenhum dos cenários propostos resultam em contextos desfavoráveis para o desenvolvimento da doença.

Neste sentido, devido às significativas variações climáticas que ocorrem no Brasil a cada ano e região, a relação entre época de semeadura e desenvolvimento do patógeno se torna uma questão complexa, devendo-se ampliar as estratégias de manejo para obter níveis de manejo satisfatórios (Lau *et al.*, 2020; Reis *et al.*, 2010; Sobrinho *et al.*, 2021).

Figura 17 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da brusone no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de março.

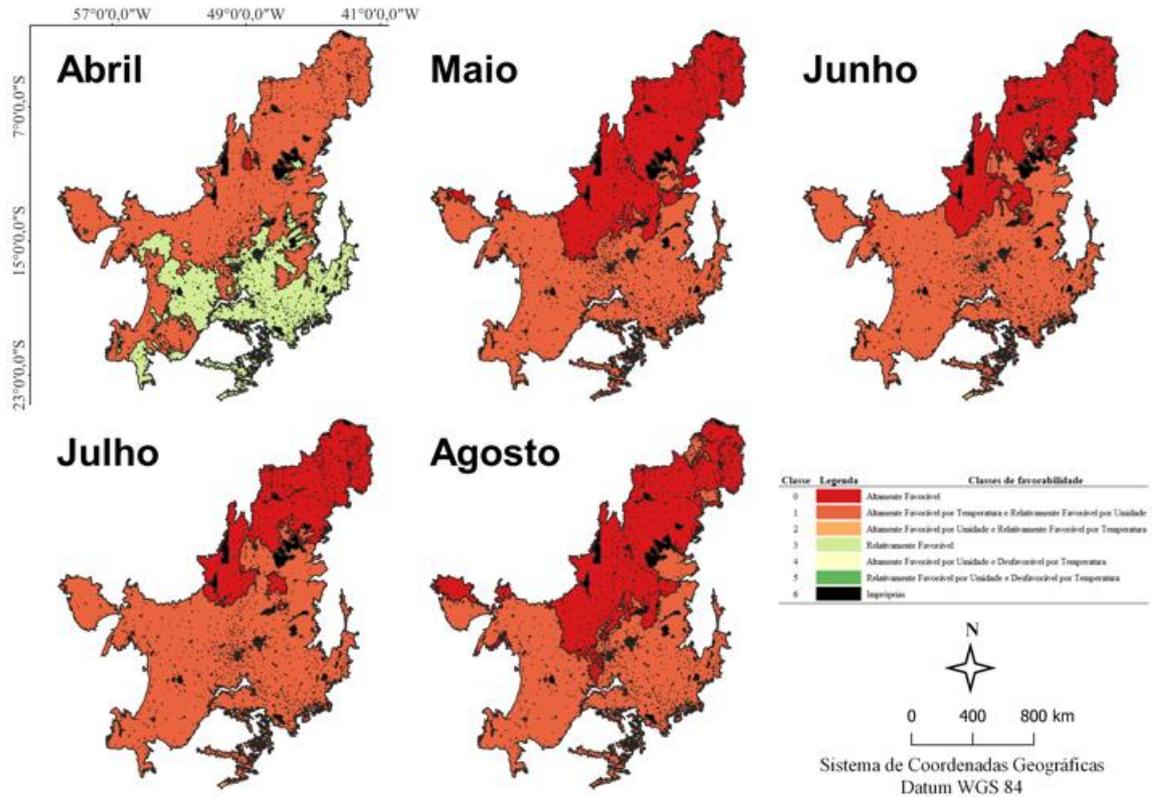


Brusone (*Pyricularia grisea*) – Plantio em março

Classe	Março		Abril		Maio		Junho		Julho	
	Área (km ²)	%								
0	87.059,63	4,387%	7.524,71	0,379%	784.895,58	39,550%	577.110,70	29,080%	520.052,13	26,205%
1	1.421.401,19	71,622%	1.287.764,68	64,888%	1.140.060,35	57,446%	1.346.024,46	67,824%	1.403.251,56	70,708%
2	750,81	0,038%	189,14	0,010%	1.391,74	0,070%	3.212,52	0,162%	3.043,98	0,153%
3	417.136,05	21,019%	630.869,16	31,789%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
4	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
5	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
6	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%
	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 18 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da brusone no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de abril.

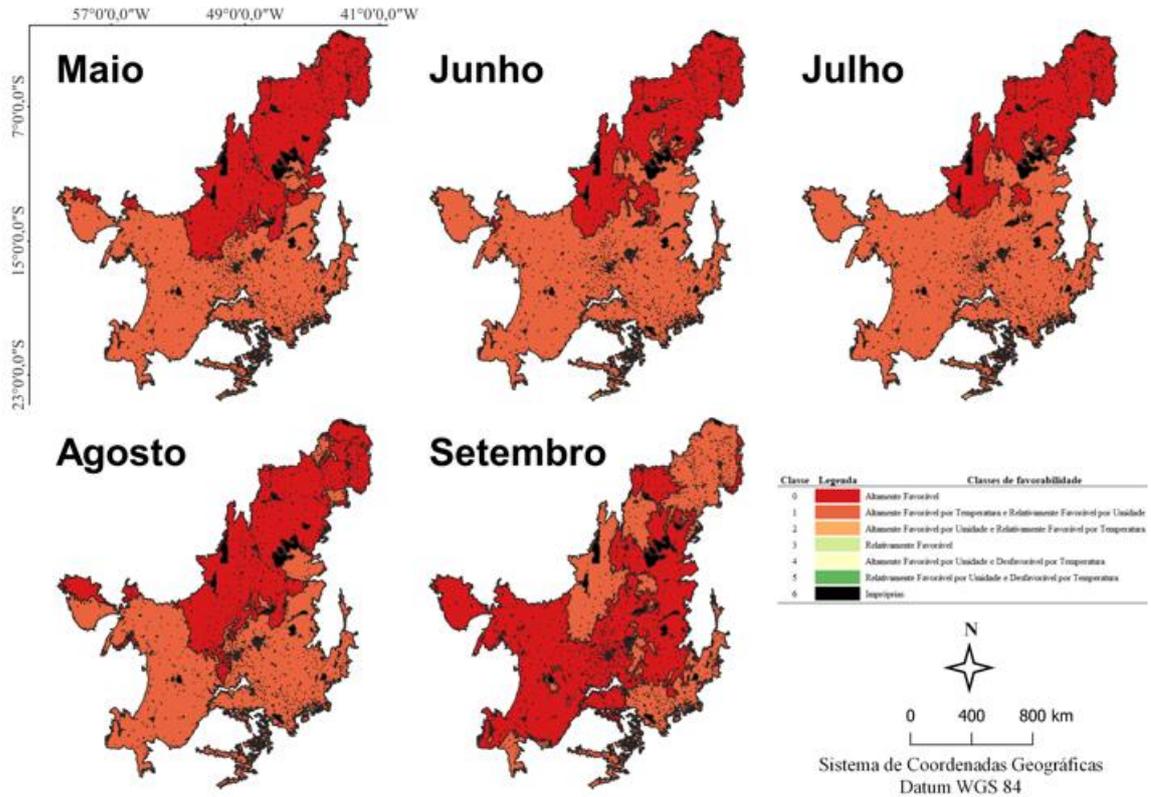


Brusone (*Pyricularia grisea*) – Plantio em abril

Classe	Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto	
	Área (km ²)	%								
0	7.524,71	0,379%	784.895,58	39,550%	577.110,70	29,080%	520.052,13	26,205%	808.910,62	40,760%
1	1.287.764,68	64,888%	1.140.060,35	57,446%	1.346.024,46	67,824%	1.403.251,56	70,708%	1.116.906,49	56,279%
2	189,14	0,010%	1.391,74	0,070%	3.212,52	0,162%	3.043,98	0,153%	530,57	0,027%
3	630.869,16	31,789%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
4	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
5	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
6	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%
	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%	1.984.581,12	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 19 - Mapas com classes de favorabilidade à ocorrência da brusone no Cerrado Brasileiro considerando-se o plantio no mês de maio.



Brusone (*Pyricularia grisea*) – Plantio em maio

Classe	Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro	
	Área (km ²)	%								
0	784.895,58	39,550%	577.110,70	29,080%	520.052,13	26,205%	808.910,62	40,760%	1.195.099,18	60,219%
1	1.140.060,35	57,446%	1.346.024,46	67,824%	1.403.251,56	70,708%	1.116.906,49	56,279%	731.248,50	36,846%
2	1.391,74	0,070%	3.212,52	0,162%	3.043,98	0,153%	530,57	0,027%	0,00	0,000%
3	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
4	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
5	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%	0,00	0,000%
6	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%	58.233,51	2,934%
	1.984.581,12	100,00%								

Fonte: Elaboração própria (2024).

5 ESTUDO DE CASO EM CRISTALINA (GO)

O município de Cristalina, localizado em Goiás, é conhecido por sua destacada produção de trigo na região do Cerrado brasileiro. Nos últimos anos, tem alcançado números recordes, com uma produção de 8.544 kg/ha e produtividade de 142,4 sacas/ha em 2018, utilizando sistemas de irrigação. Esses resultados são fruto do avanço tecnológico, adoção de cultivares e práticas de manejo promissoras, além das condições edafoclimáticas favoráveis que favorecem o pleno desenvolvimento da cultura nessa região (Lobato, 2020).

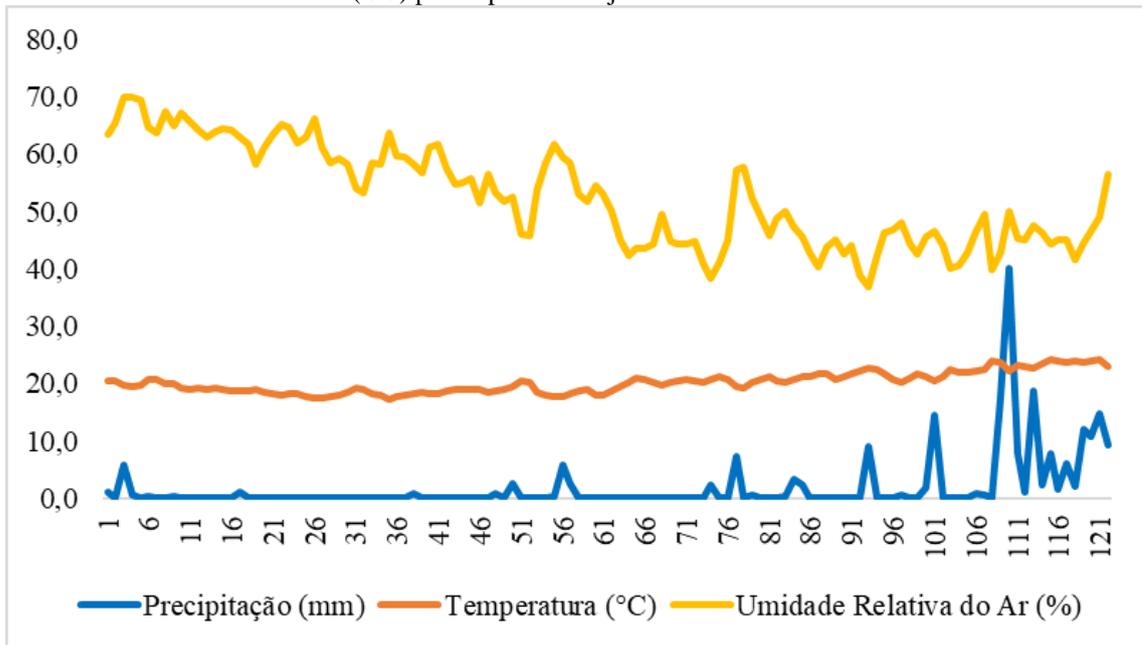
Conforme mencionado anteriormente, o ciclo de cultivo do trigo na região compreende os meses de março a setembro. Durante esse período, busca-se implementar estratégias e ações para minimizar os danos causados por agentes fitopatogênicos, como a giberela e brusone, visando maximizar os resultados obtidos. Essas doenças representam uma ameaça significativa, principalmente durante os estágios de espigamento e maturação do trigo, quando a cultura está mais vulnerável à infecção (Del Ponte *et al.*, 2004; Dianese *et al.*, 2022).

Com base em estudos como a escala de Feeks e Large (Figura 13), identifica-se que os meses de junho a setembro são os períodos em que ocorrem os estágios fenológicos em que a cultura do trigo é mais suscetível à giberela e brusone. A Figura 20 apresenta a precipitação diária (mm) e as médias diárias de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para os meses de junho, julho, agosto e setembro no município de Cristalina.

Durante esses quatro meses, a precipitação é extremamente baixa ou nula, com um aumento no mês de setembro, quando atinge um volume máximo de 40 mm. Esses índices baixos de precipitação estão diretamente relacionados à umidade relativa do ar, que apresenta uma tendência de queda nesses meses, chegando a uma média mínima de 36,8 em agosto. Quanto à temperatura do ar, observa-se uma estabilidade média entre 17,1 e 24,2 °C.

Essa dinâmica climática evidencia que as temperaturas durante esse período em Cristalina proporcionam um ambiente favorável para infecções por giberela e brusone nas lavouras de trigo. No entanto, os baixos níveis de umidade e precipitação são fatores desfavoráveis ao desenvolvimento desses patógenos no município, o que oferece uma maior segurança aos produtores que cultivam em sequeiro. Para os sistemas de cultivo irrigado, o aumento da disponibilidade de água e umidade pode potencializar as condições propícias para o desenvolvimento das doenças, exigindo maior atenção e monitoramento nas lavouras para um controle integrado mais eficiente.

Figura 20 - Médias diárias para precipitação, temperatura e umidade relativa do ar do município de Cristalina (GO) para o período de junho a setembro.



Fonte: Elaboração própria (2024).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo oferecem uma visão mais abrangente da dinâmica temporal e geográfica (espacial) das variáveis climáticas no Cerrado Brasileiro, permitindo uma identificação mais precisa das diferentes condições de favorabilidade para a ocorrência da giberela e brusone.

Foi verificado que a distribuição das áreas favoráveis para ambas as doenças é ampla e heterogênea ao longo do ano e do território estudado. No caso da giberela, por exemplo, os meses de julho e agosto destacam-se como períodos de maior favorabilidade, enquanto que para a brusone, todo o período de desenvolvimento do trigo apresenta condições propícias para sua infecção. Nesse sentido, sistemas de cultivo e cultivares com diferentes ciclos podem oferecer uma alternativa para reduzir a intensidade da doença.

A análise dos cenários propostos (épocas de plantio) permite demonstrar que o impacto da época de plantio na ocorrência das doenças do trigo varia consideravelmente, dependendo das condições climáticas específicas, do estágio fenológico da cultura no momento da infecção e das características das doenças na região. É crucial considerar essas condições, especialmente durante os períodos de florescimento, para minimizar o risco e os danos causados pela giberela e brusone. Portanto, a escolha criteriosa da época de plantio, evitando a sobreposição com períodos de alta umidade e vulnerabilidade da cultura, pode ser uma estratégia eficaz para reduzir o impacto dessas doenças no Cerrado Brasileiro.

Em suma, o conhecimento sobre as regiões e períodos favoráveis para o desenvolvimento dos patógenos é essencial para o planejamento adequado da cultura do trigo. Essa compreensão oferece uma base sólida para a implementação de estratégias de manejo integrado das doenças, visando mitigar os impactos negativos nos sistemas agrícolas e melhorar tanto a produtividade quanto a qualidade da produção.

7 CONCLUSÃO

- A maioria das áreas no Bioma Cerrado Brasileiro apresenta condições climáticas altamente favoráveis para o desenvolvimento da giberela e brusone do trigo;
- A época de plantio influencia o desenvolvimento da giberela e da brusone do trigo;
- Os períodos críticos de favorabilidade à ocorrência da giberela são nos meses de julho, agosto e setembro, sendo recomendado realizar o plantio de cultivares de ciclo precoce em março ou de ciclo tardio em maio para reduzir a favorabilidade de ocorrência da doença;
- Plantios realizados em março, abril e maio apresentam os meses de agosto e setembro com maiores índices de favorabilidade climática para infecções por brusone;
- A espacialização das classes de favorabilidade climática para a ocorrência da giberela e da brusone é uma estratégia importante para o planejamento e a tomada de decisões assertivas no manejo integrado das doenças.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. Scientific Data. Fonte: <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>
- ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. Estatísticas – Trigo, São Paulo, SP, 2023. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/trigo/>
- Albrecht, J.C.; Andrade, S.R.M.de; Chagas, J.H. O desenvolvimento do trigo no Cerrado do Brasil Central: tecnologias geradas pela Embrapa Cerrados e parceiros. In: Faleiro, F.G.; Silva Neto, S.P.da. Tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Cerrados e parceiros que transformaram o Cerrado e o Brasil: especial 40 anos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1152372/1/Desenvolvimento-trigo-cerrado-2022.pdf>.
- Albrecht, J.C.; Vieira, E.A.; Só e Silva, M.; Andrade, J.M.V.de; Scheeren, P.L.; Trindade, M.da G.; Soares Sobrinho, J.; Sousa, C.N.A. de; Reis, W.P.; Ribeira Júnior, W.Q.; Fronza, V.; Cargnin, A.; Yamanaka, C.H. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo irrigado no Cerrado do Brasil Central. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 12, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001200009>.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 18, 2013. Disponível em: <http://doi:10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Antunes, J. Trigo, uma safra para ficar na história. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77085844/trigo-uma-safra-para-ficar-na-historia>.
- Brustolin, R.; Zoldan, S.M.; Reis, E.M.; Zanatta, T.; Carmona, M. Requerimentos ambientais e previsão de chuva como indicador do momento para aplicação de fungicidas no controle da Giberela em trigo. Summa Phytopathologica, vol. 39, n. 4, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052013000400003>.
- Calda, J. Trigo irrigado no Cerrado bate sucessivo recorde mundial de produtividade com cultivar da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64981073/trigo-irrigado-no-cerrado-bate-sucessivo-recorde-mundial-de-productividade-com-cultivar-da-embrapa>

Cardoso, C. A.; Reis, E. M.; Moreira, E. N. Development of a warning system for wheat blast caused by *Pyricularia grisea*. *Summa Phytopathologica*, v. 34, n. 3, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052008000300002>

Casa, R.T.; Bogo, A.; Moreira, E.N.; Kuhnem Junior, P.R. Época de aplicação e desempenho de fungicidas no controle da giberela em trigo. *Ciência Rural*, v. 37, n. 6, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600009>

Casa, R.T.; Reis, E.M.; Blum, M.M.C.; Bogo, A.; Scheer, O.; Zanata, T. Danos causados pela infecção de *Gibberella zeae* em trigo. *Fitopatologia Brasileira*, v. 29, n. 3, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000300008>

Cecílio, R. A.; Medeiros, S. de.; Silva Júnior, J. L.; Souza, J. A. Zoneamento agroclimático para a heveicultura na parte leste do Estado da Bahia. *Revista Bahia Agrícola*, v. 7, n. 2, 2006. Disponível: <http://www.seagri.ba.gov.br/content/zoneamento-agroclim%C3%A1tico-para-heveicultura-na-parte-leste-do-estado-da-bahia>

Chagas, J.H.; Fronza, V.; Soares Sobrinho, J.; Sussel, A.A.B.; Albrecht, J.C. Tecnologia de produção de trigo sequeiro no Cerrado do Brasil Central. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2021. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1133483&biblioteca=vazio&busca=1133483&qFacets=1133483&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>.

Coelho, M.A.de O.; Cecon, P.R.; Torres, G.A.M. Incidência de brusone variando épocas de semeadura e genótipos de trigo em Patos de Minas. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2015. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1020659&biblioteca=vazio&busca=1020659&qFacets=1020659&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>

Coelho, M.A.de O.; Torres, G.A.M.; Cecon, P.R.; Santana, F.M. Época de semeadura reduz a incidência da brusone do trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 5, 2016. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/20731>

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Trigo – Análise Mensal, 2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo/item/download/43932_7b1811b7164eaa293d0869ce63c078bb

Couch, B.C.; Kohn, L.M. A multilocus gene genealogy concordant with host preference indicates segregation of a new species, *Magnaporthe oryzae*, from *M. grisea*. *Mycologia*, v. 94, n. 4, 2002. Disponível em: <https://10.1080/15572536.2003.11833196>.

Del Ponte, E. M., Fernandes, J. M., Pierobom, C. R., & Bergstrom, G. C. Giberela do trigo: aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. *Fitopatologia Brasileira*, v. 29, n. 6, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000600001>.

Dianese, A.C.; Sussel, A.A.B.; Monteiro, D.C.; Torres, G.A.M.; Consoli, L. Aspectos epidemiológicos da brusone do trigo (*Magnaporthe oryzae* patótipo *Triticum*) no Planalto Central Brasileiro. Editora Científica Digital, v. 4, cap. 10, p. 92-106, 2022. Disponível em: <http://10.37885/220408562>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

Ferreira, A.; Sbalcheiro, C.C.; Santana, F.M.; Del Ponte, E.M.; Segner, M.; Guterres, C.W.; Pizolotto, C.; Venancio, W.S.; Martins, F.C.; Kuhnem, P.R.; Chagas, D.F.; Schipanski, C.A.; Zanatta, M.; Casarotto, G.; Machado, F.J.; Forcelini, C.A.; Roehrig, R.; Col, M.C.de. Eficiência de fungicidas para controle de giberela do trigo: resultados da Rede de Ensaios Cooperativos do Trigo - safra 2022. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2023. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1155417&biblioteca=vazio&busca=1155417&qFacets=1155417&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>

Gomes, D.P.; Rocha, V.S.; Rocha, J.R.A.S.C.; Souza, M.A.de; Pereira, O.L. Progresso temporal da brusone do trigo em função do inóculo primário, da aplicação de fungicida e da resistência dos genótipos. *Summa Phytopathologica*, v. 45, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/187354>

Goulart, A.C.P.; Sousa, P.G.; Urashima, A.S. Danos em trigo causados pela infecção de *Pyricularia grisea*. *Summa Pythopathologica*, v. 33, n. 4, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052007000400007>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas Urbanizadas, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html>

Kurz, V.; Wordell Filho, J.A. MANEJO DA GIBERELA NA CULTURA DO TRIGO BASEANDO-SE EM UM SISTEMA DE PREVISÃO. *Anais de Agronomia*, v. 1, n. 1, p. 155-176, 2020. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/agronomia/article/view/334>

Large, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. *Plant Pathology*, Oxford, v. 4, n. 1, p. 22-24, 1954. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x>

Lau, D.; Sbalcheiro, C.C.; Martins, F.C.; Santana, F.M.; Maciel, J.L.N.; Fernandes, J.M.C.; Costamilan, L.M.; Lima, M.I.P.M.; Kuhnem, P.; Casa, R.T. Principais doenças do trigo no sul

do Brasil: diagnóstico e manejo. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1129989/principais-doencas-do-trigo-no-sul-do-brasil-diagnostico-e-manejo>

Li, Y.; Uddin, W.; Kaminski, J. E. Effects of relative humidity on infection, colonization and conidiation of *Magnaporthe oryzae* on perennial ryegrass. *Plant Pathology*, v. 63, n. 7, p. 590-597, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppa.12127>

Lima, M.I.P.M. Espigamento: estágio inicial de suscetibilidade de espigas de trigo à giberela. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2023. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1155545&biblioteca=vazio&busca=1155545&qFacets=1155545&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>

Lima, M.I.P.M. Giberela ou Brusone? Orientações para a identificação correta dessas enfermidades em trigo e em cevada. Brasília, DF: Embrapa, 2004. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do40.pdf

Lobato, B. Produtor de Goiás obtém recorde nacional de produtividade de trigo com cultivar da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/56202983/produtor-de-goias-obtem-recorde-nacional-de-produtividade-de-trigo-com-cultivar-da-embrapa>

Lobato, B. Opção de diversificação, trigo safrinha começa a ser plantado no Cerrado do Brasil Central. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/78815560/opcao-de-diversificacao-trigo-safrinha-comeca-a-ser-plantado-no-cerrado-do-brasil-central>

Machado, A. T.; Machado, C. T. Documentos 48: Agricultura Urbana. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/22469/1/doc_48.pdf

Maciel, J.L.N.; Kovalski, M.; Silva, D.da; Cavalheiro, J.N.; Clebsch, C.C.; Deuner, C.C. Correlation between blast resistance in wheat cultivars and conidia sporulation rate of *Pyricularia oryzae* Triticum. *Ciência Rural*, v. 54, n. 5, 2024. Disponível em: <https://10.1590/0103-8478cr20230086>.

Maciel, J.L.N.; Sbalcheiro, C.C.; Lau, D.; Santana, F.M.; Costamilan, L.M.; Lima, M.I.P.M. Doenças da cultura do trigo no Brasil. *Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola*, v. 29, n. 174, p. 10-17, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1122395/doencas-da-cultura-do-trigo-no-brasil>.

Moraes, W. B.; Peixoto, L. d.; Jesus Júnior, W. C.; Moraes, W. B.; Cecílio, R. A. ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DE OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO CAFEEIRO NO BRASIL. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 12, p. 10, 2011. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/zoneamento%20das%20areas.pdf>

Moreira, T.R. INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E QUÍMICAS DO SOLO NA COMUNIDADE DE FUNGOS E BACTÉRIAS EM LAVOURAS DE CAFÉ. 2023. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_17198_Tese%20Final%20Ta%EDs%202023.pdf

Nascimento, D. T., & Novais, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, v. 9, n. 2, 2020. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10854>

Pasinato, A. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES PARA A EXPANSÃO DO CULTIVO. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 142, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1113155/1/ID446952017TS1404.pdf>

QGIS. Geographic Information System, 2023. Disponível em: www.qgis.org

Reis, E.M.; Boareto, C.; Danelli, A.L.D.; Zoldan, S.M. Antese, o processo infeccioso e curvas de progresso da giberela em trigo. *Summa Phytopathologica*, v. 42, n. 2, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2075>

Reis, E.M.; Casa, R.T.; Bianchin, V.; Danelli, A.L.D. Manejo Integrado de Doenças do Trigo. In: Sanos, H.P.dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.R. Sistemas de produção para cereais de inverno sob plantio direto no sul do Brasil, cap. 6, p. 161-205. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/819015/1/CNPTID07246.pdf>

Rocha, J.R.A.S.C.; Pimental, A.J.B.; Ribeiro, G.; Souza, M.A.de. Eficiência de fungicidas no controle da brusone em trigo. *Summa Phytopathologica*, v. 40, n. 4, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1937>

Santos, A. R. (1999). ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA A CULTURA O CAFÉ CONILON (*Coffea canephora* L.) E ARÁBICA (*Coffea arabica* L.) NA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM, ES. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de

Viçosa. Viçosa, MG. Fonte: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/11401/4/texto%20completo.pdf>

Santos, A. R., Peluzio, J. B., Peluzio, T. M., & Santos, G. M. (2012). Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. Alegre, ES: CAUFES. Fonte: <https://www.mundogeomatica.com/livros/livrogeotecnologiasrecursosflorestais/livrogeotecnologiasrecursosflorestais.pdf>

Santos, A. R., Sediyaama, G. C., Soares, V. P., Ribeiro, A., Costa, J. M., & Pezzopane, J. E. (2000). ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA A CULTURA DO CAFÉ CONILON (*Coffea canephora* L.) E ARÁBICA (*Coffea arabica* L.) NA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM, ES. Engenharia na Agricultura, 8, pp. 19-37.

Santos, A. R.; Pautz, C.; Souza, J. A.; Mardeni, V. D.; Curty, T. A.; Carvalho, R.C.F.; Mello, R.L.S.de; Macedo, C.R.; Moreira, T.R.; Guerra Filho, P.A.; Aragão, M.A.; Santos, E.C.dos; Jesus Júnior, W.C.de; Arruda, M.M.de; Amaral, J.F.T.do; Moraes, S.P.C.B.; Moraes, W.B.; Paneto, G.G.; Oliveira, P.V. CURSO ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO NO QGIS (ZAGGIS): videoaulas descritas passo a passo, CAUFES, v. 1. Alegre, ES, 2022. Disponível em:<https://doi.org/10.29327/589505>

Shude, S. P.; Yobo, K. S.; Mbili, N. C. Progress in the management of Fusarium head blight of wheat: An overview. South African Journal of Science, v. 116 n. 11/12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/7854>

Silva, F. A.; Assad, E. D.; Steinke, E. T.; Müller, A. G. Clima do Bioma Cerrado. In: Albuquerque, A. C.; Silva, A. G. Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Macena/publication/301567134_Clima_do_Bioma_Cerrado/links/571a889508ae408367bc8db8/Clima-do-Bioma-Cerrado.pdf.

Silva, L.D.; Bastos, F.G.; Leite, L.P.P.; Freire, L.V.; Higa, A.R.; Victoria, D.de C. O clima no Bioma Cerrado. In: Silva, L.D.; Higa, A.R.; Victoria, D.de C.; Bastos, F.G.; Leite, H.P.P.; Freire, L. V. Sistema de informações para planejamento florestal no cerrado Brasileiro, ESALQ/USP, v. 2, cap. 2, p. 12-29, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137058/1/PL-Clima-cerrado-v2-cap2-2021.pdf>

SINDUSTRIGO. Sindicato da Indústria do Trigo de São Paulo. Mundial, São Paulo, SP, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

SNUC. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm

Só e Silva, m.; Soares, Sobrinho, J.; Albrecht, J.C.; Chagas, J.H.; Caierão, E.; Maresco, É.R.; Castro, R.L.de; Nascimento Júnior, A.do; Eichelberger, L.; Guarienti, E.M.; Miranda, M.Z.de; Maciel, J.L.N.; Santana, F.M.; Ribeiro Junior, W.Q.; Schheren, P.L. BRS 404 – NOVA CULTIVAR DE TRIGO DE SEQUEIRO PARA O CERRADO Brasileiro. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 8.; SEMINÁRIO TÉCNICO DO TRIGO, 9., 2014, Canela; REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 9.; SEMINÁRIO TÉCNICO DO TRIGO, 10., 2015, Passo Fundo: Biotrigo Genética: Embrapa Trigo, 2015. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1020973&biblioteca=vazio&busca=1020973&qFacets=1020973&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>

Soares Sobrinho, J.; Fronza, V.; Chagas, J.H.; Albrecht, J.C.; Scheeren, P.L.; Castro, R.L.de. Influência da época de semeadura sobre o efeito da brusone e da restrição hídrica no comportamento de genótipos de trigo. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1137525>

Soares, D.C.; Bonfim-Silva, E.M.; Silva, T.J.A.da; Anicésio, E.C.A.; Duarte, T.F.; Oliveira, J.R. Crescimento e produção de cultivares de trigo sob tensões de água em solo de Cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 27, n. 4, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n4p279-286>.

Soares, R. V.; Batista, A. C. Meteorologia e Climatologia Florestal. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, p. 215, 2015.

Souza Jr, C. M.; Shimbo, J. Z.; Rosa, M. R.; Parente, L. L.; Alencar, A. A.; Rudorff, B. F.; Hasenack, H.; Matsumoto, M.; Ferreira, L.G.; Souza-Filho, P.W.M.; Oliveira, S.W.de; Rocha, W.F.; Fonseca, A.V.; Marques, C.B.; Diniz, C.G.; Costa, D.; Monteiro, D.; Rosa, E.R.; Vélez-Martin, E.; Weber, E.J.; Lenti, F.E.V.; Paternost, F.F.; Pareyn, F.G.C.; Siqueira, J.V.; Vieira, J.L.; Francisco Neto, L.C.; Saraiva, M.M.; Sales, M.H.; Salgado, M.P.G.; Vasconcelos, R.; Galano, S.; Mesquita, V.V.; Azevedo, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. Remote Sensing, v. 12, n. 17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

Tetens, O. Uber einige meteorologische Begriffe. (F. Vieweg, & S. Akt, Eds.) Zeitschrift für Geophysik, v. 6, p. 267-309, 1930.

Torres, G.A.M.; Ferreira, J.R.; Binneck, E.; Maciel, J.L.N.; Consolin, L. Brusone e produção de trigo no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 57, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02487>

Torres, G.A.M.; Santana, F.M.; Fernandes, J.M.C.; Só e Silva, M. Doenças da espiga causam perda de rendimento em trigo nos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, em 2009. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2009. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co255.htm

Vale, B.S. do; Roig, H.L.; Neumann, M.R.B.; Fernandes, E. de S.; Salles, L. de A.; Casari, R.A.C.N.; Olivetti, D.; Malta, E.A. Desempenho dos Modelos SEBAL e SSEBop na Estimativa da Evapotranspiração do Trigo no Cerrado, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 37, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77863730031>.

Valent, B.; Farman, M.; Tosa, Y.; Begerow, D.; Fournier, E.; Gladieux, P.; Islam, M.T.; Kamoun, S.; Kemler, M.; Kohn, L.M.; Lebrun, M.; Stajich, J.E.; Talbot, N.J.; Terauchi, R.; Tharreau, D.; Zhang, N. *Pyricularia graminis-tritici* is not the correct species name for the wheat blast fungus: response to Ceresini et al. (MPP 20:2). *Molecular Plant Pathology*, v. 20, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/mpp.12778>.

Zhang, J. Evaluation of farmers' wheat production technical efficiency based on income increasing. *Ciência Rural*, v. 53, n. 6, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210828>.