

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

JOÃO PAULO AGÁPTO

**MANEJO DA GIBERELA DO TRIGO E MANIFESTAÇÃO DO POTENCIAL
TOXIGÊNICO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

Sorocaba

2024

JOÃO PAULO AGÁPTO

**MANEJO DA GIBERELA DO TRIGO E MANIFESTAÇÃO DO POTENCIAL
TOXIGÊNICO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, como requisito para obtenção do título de Doutor em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior

Sorocaba

2024

Agápto, João Paulo

Manejo da giberela do trigo e manifestação do potencial toxigênico em diferentes sistemas de cultivo / João Paulo Agápto -- 2024.
98f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos,
campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Waldir Cintra de Jesus Junior

Banca Examinadora: Eliana Badiale Furlong, Priscila

Tessmer Scaglioni, Flávio Sérgio Afférri, Wanderson

Bucker Moraes, Willian Bucker Moraes

Bibliografia

1. Gibberella zeae. Controle químico. Variedade resistente. Silicato de potássio. Micotoxinas.. I. Agápto, João Paulo. 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 Tese de Doutorado do candidato João Paulo Agápto, realizada em 24/06/2024.

Comissão Julgadora:

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

Profa. Dra. Eliana Badiale Furlong (FURG)

Profa. Dra. Priscila Tessmer Scaglioni (FURG)

Prof. Dr. Flávio Sérgio Afféri (UFSCar)

Prof. Dr. Wanderson Bucker Moraes (OSU)

Prof. Dr. Willian Bucker Moraes (UFES)

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.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, por sempre me apoiarem e me incentivaram aos estudos.

A minha esposa e filha também pelo apoio e por todo carinho e compreensão ao longo desta jornada.

A todos aqueles que acreditaram em mim...

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por meio da intercessão da Virgem Maria por me capacitar para realização deste grande feito.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior, não só pela orientação ao longo da execução deste árduo trabalho, mas também pela confiança em mim depositada e por sua grande gentileza e otimismo em nosso dia a dia na Universidade. Obrigado pelo apoio e encorajamento nos momentos difíceis que passei.

Ao amigo Prof. Dr. Flávio Sérgio Afferri pela ajuda com a tabulação dos dados agronômicos, pelas várias reuniões e discussões sobre o trabalho. Agradeço ainda pelos inúmeros e bons conselhos. As muitas conversas que tivemos certamente foram fundamentais para que eu pudesse chegar neste momento.

As Professoras Dra. Eliana Badiale Furlong pela enorme gentileza e atenção e Dra. Priscila Tessmer Scaglioni, pela grande disponibilidade e apoio envidados quando precisei. Por todo apoio prestado com as análises laboratoriais sobre micotoxinas e o apoio na tabulação desses dados. Agradeço ainda na pessoa da Profa. Dra. Eliana Badiale Furlong toda a equipe do Laboratório de Micotoxinas e Ciência de Alimentos – LAMCA da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Aos Professores Dr. Wanderson Bucker Moraes e Dr. Willian Bucher Moraes pelas valiosas contribuições ao trabalho e participação como membros da banca. Agradeço também aos Professores Dra. Maria Candida de Godoy Gasparoto e Dr. Alberto Luciano Carmassi pelo apoio.

Aos professores e técnicos companheiros de trabalho da UFSCar campus Lagoa do Sino que me ajudaram com algo para realização desse trabalho, mais uma vez manifesto meu muito obrigado!

A todos os alunos do Centro de Ciências da Natureza que me ajudaram nas coletas de campo e para não cometer injustiça nomeando alguns, agradeço a todos vocês.

Agradeço ainda o apoio irrestrito que recebi da Fazenda Escola Lagoa do Sino – FELS, durante a instalação e condução dos campos experimentais. Meu muito obrigado a toda a equipe de trabalho da FELS.

À Universidade Federal de São Carlos – UFSCar e ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis - PPGPUR, meus professores, meus colegas de turma, a secretária do programa. Muito obrigado a todos vocês por me ajudarem a conquistar o grau de doutor acadêmico.

RESUMO

AGÁPTO, João Paulo. Manejo da giberela do trigo e manifestação do potencial toxigênico em diferentes sistemas de cultivo. 2024. 98 f. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2024.

A giberela do trigo (*Gibberella zeae* Schwein, *Fusarium graminearum*), é uma das mais importantes doenças desse cereal no mundo, ocasionando danos nos grãos na forma de atrofia, redução de peso e descoloração. Além de causar perda de rendimento, também ocasiona a contaminação dos grãos por micotoxinas, colocando em risco a saúde humana e animal. Assim, o manejo da doença é um enorme desafio para a triticultura mundial. Nenhuma estratégia utilizada de forma isolada promove redução satisfatória da intensidade da doença e da concentração das micotoxinas em condições favoráveis ao desenvolvimento do patógeno. Objetivou-se neste trabalho avaliar a viabilidade técnica da integração de fungicida, resistência genética e silício no manejo da giberela, em sistema de produção irrigado e sequeiro. Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições e quatro tratamentos, a saber: T1 – Aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2 – Aplicação de Fungicida (F); T3 – Aplicação de Silicato de Potássio (SK) e T4 – Controle (sem aplicação F e SK). Em todos os experimentos foram quantificadas a incidência, severidade e índice de giberela, assim como a concentração de micotoxinas e produtividade. Após proceder análise da variância e teste de Tukey ($p < 0,05$). Verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis agronômicas. Para as variáveis laboratoriais, T3 foi o tratamento que proporcionou maior redução na concentração de DON, porém sem diferir estatisticamente de T1 e T2. Conclui-se que a aplicação de silicato de potássio (SK) deve ser mais explorada para redução de DON. A aplicação de SK pode ser uma alternativa em propostas de manejo integrado para controle da giberela do trigo.

Palavras-chave: *Gibberella zeae*. Controle químico. Variedade resistente. Silicato de potássio. Micotoxinas.

ABSTRACT

AGÁPTO, João Paulo. Management of wheat fusarium head blight and manifestation of toxigenic potential in different cultivation systems. 2024. 98 pages. Dissertation (Doctorate in Planning and Use of Renewable Resources) – Federal University of São Carlos, Sorocaba campus, Sorocaba, 2024.

Wheat Fusarium Head Blight (*Gibberella zeae* Schwein, *Fusarium graminearum*) is one of the most important diseases of this cereal worldwide, causing damage to grains in the form of atrophy, weight reduction, and discoloration. Besides yield loss, it also results in grain contamination by mycotoxins, posing a risk to human and animal health. Thus, managing the disease is a significant challenge for global wheat cultivation. No single strategy used in isolation provides satisfactory reduction of disease intensity and mycotoxin concentration under conditions favorable for pathogen development. This study aimed to evaluate the technical feasibility of integrating fungicide, genetic resistance, and silicon in managing *Gibberella* in irrigated and rainfed production systems. The experiments were conducted using a randomized complete block design with three replications and four treatments, namely: T1 – Fungicide + Potassium Silicate (F + SK) application; T2 – Fungicide (F) application; T3 – Potassium Silicate (SK) application; and T4 – Control (no F and SK application). In all experiments, the incidence, severity, and index of *Gibberella*, as well as mycotoxin concentration and productivity, were quantified. After performing variance analysis and Tukey's test ($p < 0.05$). It was found that there was no significant difference between treatments for the agronomic variables. For the laboratory variables, T3 was the treatment that provided the greatest reduction in DON concentration, but it did not differ statistically from T1 and T2. It is concluded that the application of potassium silicate (PS) should be further explored for the reduction of DON. The application of PS may be an alternative in integrated management proposals for controlling wheat scab.

Keywords: *Gibberella zeae*. Chemical control. Resistant variety. Potassium silicate. Mycotoxins.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	12
1.1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 GIBERELA DO TRIGO (<i>Gibberella zeae</i>).....	15
2.1.1 Etiologia do fungo <i>Gibberella zeae</i>	17
2.1.2 Sintomatologia	18
3 MICOTOXINAS	20
3.1 LEGISLAÇÃO PARA MICOTOXINAS EM TRIGO E DERIVADOS	21
3.2 MICOTOXINAS EM CEREAIS	23
3.3 PRINCIPAIS MICOTOXINAS EM TRIGO	24
3.3.1 Desoxinivalenol (DON)	25
3.3.2 Nivalenol (NIV)	26
4 MANEJO DA GIBERELA NO TRIGO	27
4.1 INTEGRAÇÃO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE MANEJO.....	28
4.1.1 Resistência Genética	29
4.1.2 Práticas Culturais	29
4.1.3 Controle Químico	31
4.1.4 Controle Biológico	32
4.2 UTILIZAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA	33
REFERÊNCIAS	36

CAPÍTULO II: VIABILIDADE TÉCNICA DA INTEGRAÇÃO DE RESISTÊNCIA GENÉTICA, FUNGICIDA E SILICATO DE POTÁSSIO NO MANEJO DA GIBERELA DO TRIGO EM CONDIÇÕES IRRIGADA E DE SEQUEIRO	51
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAIS E MÉTODOS	54
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	54
2.1.1 Delineamento Experimental	55
2.1.2 Realização dos tratamentos	56
2.1.3 Variáveis Analisadas	56
2.1.3.1 Quantificação da Intensidade da Giberela	56
2.1.3.2 Determinação do Rendimento Produtivo	57
2.1.4 Análise de dados	57
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 VARIÁVEIS FITOPATOLÓGICAS	57
3.1.2 Intensidade da Giberela	57
3.2 VARIÁVEIS DE RENDIMENTO PRODUTIVO	65
3.2.1 Peso de mil sementes (PMS) e Produtividade (PROD)	65
4 CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS	71
CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DO USO DE FUNGICIDA, SILICATO DE POTÁSSIO E SUAS INTEGRAÇÕES NA REDUÇÃO DE MICOTOXINAS CAUSADAS PELA GIBERELA NO TRIGO EM SISTEMA IRRIGADO E DE SEQUEIRO	77
1 INTRODUÇÃO	78
2 MATERIAIS E MÉTODOS	80
2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	80
2.1.1 Realização dos tratamentos	81
2.1.2 Variáveis Analisadas	82
2.1.3 Análise de dados	82
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83

3.1 FONTE DE VARIAÇÃO (ANO, SISTEMA DE CULTIVO E CULTIVAR)	83
3.1.1 Micotoxinas (DON, 15 ADON e D3G)	86
4 CONCLUSÃO.....	90
REFERÊNCIAS	90
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O grão de trigo (*Triticum aestivum* L) é um dos alimentos mais antigos cultivados na história da humanidade e está entre os três cereais mais produzidos no mundo. Em decorrência de seu melhoramento genético, possui enorme adaptação edafoclimática, sendo cultivado desde regiões de clima desértico, em alguns países do Oriente Médio, até regiões com alto índice de precipitação, como China e Índia. No Brasil, a cultura do trigo é amplamente distribuída desde a região sul até a região dos cerrados, no planalto Central (SANTOS, 2017).

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos este cereal possui mais de 222 milhões de hectares de área plantada em todo o mundo (USDA, 2023), sendo que no Brasil somente no ano de 2023 foram produzidos cerca de 9,7 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Em virtude de ser um cereal amplamente cultivado em quase todas regiões do mundo e, por conseguinte, sua expressiva abrangência territorial, o trigo acaba por tornar-se hospedeiro de uma extensa gama de doenças fúngicas, a exemplo da *Gibberella zeae* (Schw.) Petch (DRAKOPOULOS *et al.*, 2020).

Como mencionado, a giberela do trigo é causada pelo fungo *G. zeae* Schwein, cuja forma imperfeita é *Fusarium graminearum* Schwabe, é uma das mais importantes doenças desse cereal no mundo (SANTANA *et al.*, 2012; SAVARY *et al.*, 2019). O patógeno acomete espigas e os grãos de trigo, causando danos nos grãos na forma de atrofia, redução de peso e descoloração, resultando em perdas significativas de rendimento e qualidade (ZHANG *et al.*, 2020).

A giberela é uma doença fúngica e com severo poder devastador para o trigo, portanto além de causar redução do rendimento, também ocasiona a contaminação dos grãos com micotoxinas, como desoxinivalenol (DON) e zearalenona (ZEN), ameaçando a saúde humana e animal (DRAKOPOULOS *et al.*, 2020). Neste sentido Escrivá *et al.*, (2015) alertam para os riscos da exposição ao DON, que estão relacionados principalmente aos sistemas intestinal, imunológico e cerebral, ao passo que a ZEN é uma micotoxina estrogênica e considerada tóxica para o fígado, rins e sistema imunológico.

A giberela do trigo é uma doença infectante floral, sendo que o período de suscetibilidade do trigo à infecção pelo patógeno vai desde o início da antese até o amadurecimento (espigas ainda verdes). As anteras totalmente expostas, que ficam do lado de fora, penduradas pelo filete, não justificam a infecção pelo patógeno após a antese. As anteras

que permanecem nas espigas são aquelas parcialmente expostas e, portanto, explicam o longo período de predisposição à infecção (REIS *et al.*, 2016). Contudo, apesar de ser uma doença tipicamente de infecção floral, sob condições climáticas favoráveis podem ocorrer sintomas a partir do espigamento (LIMA, 2003).

Reis *et al.* (2016) comentam ainda que epidemias severas quase sempre ocorrem quando condições ambientais favoráveis para infecção fúngica se dão no mesmo tempo com estágios vulneráveis de crescimento da cultura, contudo o período suscetível se estende desde o início da floração até o estágio de massa de grãos. A ocorrência de epidemias depende de condições meteorológicas como presença de alta umidade no ambiente e temperatura entre 24-30 °C (PARRY *et al.*, 1995; MCMULLEN *et al.*, 1997).

O fungo *F. graminearum* Schwabe é um dos principais patógenos necrotróficos habitantes do solo (MAKANDAR *et al.*, 2012; AGOSTINETTO *et al.*, 2018), podendo este sobreviver em restos de outras culturas, a exemplo do milho. De acordo com Keller *et al.* (2014) milho e trigo cultivados em rotação podem fornecer uma fonte abundante de inóculo capaz de promover infecção subsequente.

Keller *et al.* (2014) realizaram importante estudo sobre a aerobiologia do *F. graminearum* e constataram o altíssimo potencial de dispersão dos esporos quando são soprados pelos ventos e pelas correntes de ar, podendo ocasionar danos e prejuízos imensos por toda uma região. Conforme os mesmos autores muitos patógenos de plantas, a exemplo do *F. graminearum*, adaptaram-se para percorrer enormes distâncias na atmosfera utilizando o transporte aéreo. Schmale *et al.* (2012) utilizaram veículos aéreos não tripulados autônomos e coletaram esporos de *F. graminearum* acima do solo em altura a partir de 40-320 m. Apesar da extrema dificuldade de mensurar a distância percorrida desses esporos, os autores sugerem ser razoável que as distâncias de transporte atmosférico de *F. graminearum* podem ser da ordem de dezenas a centenas de quilômetros ou mais.

A capacidade de *F. graminearum* se disseminar por longas distâncias é essencial para sua sobrevivência. Além da deposição seca de esporos através do uso de correntes de ar e também por meio de sedimentação gravitacional, ocorre ainda a deposição úmida quando os esporos são transportados por gotas de chuva para as plantas hospedeiras (AYLOR, 1986; KELLER *et al.* 2014).

Apesar de a giberela ser uma das doenças fúngicas mais destrutivas para a cultura do trigo em função de sua ocorrência generalizada no mundo e, portanto, responsável direta por reduções significativas de produção para triticultura mundial, atualmente uma das maiores preocupações entre produtores, consumidores e agências governamentais regulamentadoras diz

respeito a contaminação por micotoxinas que cereais acometidos por fungos do gênero *Fusarium* podem apresentar.

As micotoxinas provenientes do *Fusarium* são dotadas de efeitos tóxicos e até mesmo cancerígenas como é o caso da ZEN para humanos e animais. As consequências da ingestão desses compostos fúngicos através da ração animal, variam desde doenças agudas e evidentes com alta morbidade e morte, a doenças crônicas, diminuição da resistência a patógenos e redução da produtividade animal (ESCRIVÁ *et al.*, 2015).

Devido à gravidade dos danos causados pela *Gibberella zeae* em plantações de trigo no mundo inteiro e, sobretudo, pelas micotoxinas produzidas pelo *F. graminearum*, que efetivamente representam séria ameaça tanto para saúde humana quanto para animais, o estudo sobre diferentes estratégias de manejo e controle desse patógeno é fundamental e extremamente importante para mitigar o risco de perdas por estes contaminantes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica da aplicação isolada e integrada de fungicida, silicato de potássio e material genético, em condições naturais de infecção, em sistema de produção irrigado e de sequeiro no manejo da giberela do trigo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Avaliar os efeitos de diferentes combinações de estratégias visando à redução ou racionalização no uso de fungicida para manejo da giberela;

Avaliar o efeito da aplicação de silicato de potássio como potencializador do efeito fungicida e indutor de resistência;

Determinar a melhor combinação de estratégias de manejo da giberela que proporcionem redução dos níveis de concentração da micotoxina Desoxinivalenol (DON) e seus derivados acetilados (3ADON; 15ADON e D3G) em grãos de trigo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GIBERELA DO TRIGO (*Gibberella zeae*)

A Giberela do trigo ou fusariose da espiga, também conhecida como ferrugem da orelha do *Fusarium* ou como sarna da cabeça (Alisaac e Mahlein, 2023) e ainda como “câncer” do trigo (Hu *et al.*, 2022) foi descrita pela primeira vez na Inglaterra por Smith (1884) e, naquele momento, foi considerada como uma nova doença que acometia as culturas do trigo, cevada e avevém sendo causadora de sérios prejuízos (SMITH, 1884).

Shude *et al.* (2020) ao realizarem trabalho de revisão sobre as opções de controle para *G. zeae* e suas eficácias, fizeram questão de pontuar sobre a importância dos efeitos danosos na cultura do trigo (*T. aestivum* L.). Neste sentido, vários autores descreveram o quão importante é o status dessa doença em termos mundiais. A giberela é classificada como o “quarto patógeno fúngico mais importante em todo o mundo”, desse modo, esta doença não pode ser em hipótese alguma subestimada (DEAN *et al.*, 2012; SHUDE *et al.*, 2020; ABBAS *et al.*, 2022).

A giberela ou fusariose da espiga causada pelo fungo *G. zeae* há tempos vem sendo considerada uma das mais importantes doenças da cultura do trigo no mundo. Parry *et al.* (1995) em extenso trabalho de revisão descreveram relatos dessa doença ocorridos anterior a década de 1920, contudo, dado seu avanço sobre as áreas produtivas, a partir dessa data vários outros trabalhos foram conduzidos em diferentes países como Inglaterra, Rússia, Suécia, França, Itália, Alemanha, Austrália, Brasil, Noruega, Japão e Canadá e na maioria dos casos o *Fusarium graminearum* foi considerado a espécie predominante responsável pela doença.

Ao menos 17 espécies do mesmo gênero têm sido relacionadas à enfermidade em cereais em todo o mundo. Além do *F. graminearum*, as espécies mais importantes relatadas causadoras de epidemias são *F. culmorum*, *F. nivale*, *F. avenaceum* e *F. equiseti* (LIMA, 2004). Entretanto, a espécie do *F. graminearum* é considerada a cepa patogênica mais forte, devido à sua forte viabilidade e ampla gama de hospedeiros (HU *et al.*, 2022).

Por se tratar de uma doença extremamente agressiva e de fácil dispersão, os danos e prejuízos causados às lavouras podem comprometer grande parte da produção. De acordo com Lima (2020) os prejuízos por giberela ocorrem em função da redução do rendimento de grãos, os quais, quando formados, são leves e eliminados em grande parte, com a palha no processo de colheita e posteriormente separados no processo de pré-limpeza antes de serem armazenados.

A giberela tem causado sérios danos aos cultivos de trigo, sendo estes relatados em inúmeras publicações (OSÓRIO *et al.*, 1998; LIMA, 2004; MCMULLEN *et al.* 2012; SPOLTI *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2020; GAIRE *et al.*, 2022; MIGUEL-ROJAS *et al.*, 2023; AJMAL *et al.*, 2023). Em relação a triticultura brasileira Panisson *et al.* (2003), ao quantificarem os prejuízos ocasionados pela Giberela do trigo em Passo Fundo no Rio Grande do Sul, verificaram perdas variando entre 4,2 a 25,9%, com média de 17,5% o que correspondeu a 640 kg/ha de redução. Nessa mesma região Casa *et al.* (2004), verificaram perdas em produtividade de trigo decorrentes do patógeno *G. zea* variando entre de 3,1 a 23,1%, nesse caso a perda média em função da Giberela, foi de 375,3 kg/ha.

Trabalhos mais recentes baseados em modelagem e estimativas matemáticas confirmam as perdas já relatadas. Duffeck *et al.* (2020), ao realizarem simulações de danos de produtividade por *G. zea*, mostraram que a giberela passou de uma doença secundária para uma doença economicamente prejudicial do trigo após a década de 1990, apresentando danos entre 3,1 a 25,8%.

Além disso também ocorrem danos na qualidade, pois o *F. graminearum* é capaz de produzir algumas micotoxinas, como desoxinivalenol (DON), nivalenol (NIV) e zearalenona (ZEN) em grãos de trigo, apresentando toxicidade a saúde humana e animal (COVARELLI *et al.*, 2015; HU *et al.*, 2022).

O fungo da *G. zea* é extremamente agressivo e infecta não somente a cultura do trigo, mas um grande número de outros cereais como Triticale (*Triticum secale*), Centeio (*Secale cereale*), Cevada (*Hordeum vulgare*), Milho (*Zea mays* L.), Arroz (*Oryza sativa*), e Sorgo (*Sorghum bicolor*) (REIS *et al.*, 1997), afetando desse modo a produção agrícola em todo o mundo, com epidemias relatadas na maioria das áreas produtoras de trigo (BUERSTMAYR *et al.*, 2009; MCMULLEN *et al.*, 2012; KEMP *et al.*, 2020).

De acordo com Alisaac e Mahlein (2023) nas últimas décadas é constatado o aumento da frequência das epidemias de giberela devido às mudanças nas práticas agrícolas, sobretudo pela intensificação do plantio direto nas lavouras de trigo, além do aumento da área de cultivo de trigo e da frequência do trigo na rotação de culturas.

Especificamente no Brasil, esse patossistema giberela x trigo tem sido estudado há décadas e uma série de estudos revelaram a progressão dessa doença, passando de epidemias leves e esporádicas, para o status de principal doença nas regiões tritícolas, com maior frequência na região Sul do Brasil (REIS *et al.*, 1996; PANISSON *et al.*, 2003; DEL PONTE, *et al.*, 2004).

A ocorrência de epidemias de giberela está altamente correlacionada com as condições climáticas, especialmente dias chuvosos com temperaturas quentes na antese e abundância de inóculo primário (SHAH *et al.*, 2019; ALISAAC e MAHLEIN, 2023). Epidemias de giberela são favorecidas por excesso de precipitação pluvial, comumente após dois ou três dias consecutivos de chuva e temperaturas de 24 °C a 30 °C (PARRY *et al.*, 1995).

Neste sentido, Lima (2020) ao comentar dados da Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale obtidos na safra 2020 afirma que a doença é extremamente influenciada pelo ambiente e que condições de temperatura de 20 °C a 25 °C com frequente precipitação pluvial são requeridas para ocorrências de epidemia. Tal condição climática é frequente na região sul em anos de ocorrência do fenômeno climático El Niño, com temperatura e precipitação pluvial acima da média. Em anos do fenômeno La Niña, estação da primavera mais seca e fria, a incidência da giberela é menor e não compromete a triticultura regional (LIMA, 2004).

Entretanto, Del Ponte *et al.* (2004) relatam uma amplitude térmica favorável ao desenvolvimento e dispersão do fungo um pouco maior. Os autores descrevem que tanto macroconídios como ascósporos, em contato com as espigas, infectam os tecidos com temperatura entre 20 e 30 °C, desde que haja condições de alta umidade do período que vai da extrusão das anteras, consideradas o sítio primário de infecção, até estágios de grão em massa.

2.1.1 Etiologia do fungo *Gibberella zeae*

Fusarium graminearum pode ser classificado como um patógeno hemibiotrófico, que mantém seu hospedeiro vivo enquanto se estabelece no tecido do hospedeiro, absorvendo os nutrientes com uma breve fase biotrófica, nos estágios posteriores da infecção, muda para um estilo de vida necrotrófico, ocasionando necrose maciça de tecidos e um rápido aumento na biomassa fúngica, obtendo seus nutrientes dos tecidos mortos (KAZAN *et al.*, 2012; FOROUD *et al.*, 2019; POWELL *et al.*, 2023).

Assim sendo, a giberela do trigo é ocasionada pelo fungo ascomiceto *Gibberella zeae* (Schwein.) Petch, forma anamorfa (assexuada) *F. graminearum* Schwabe. O fungo produz esporos sexuais em um saco conhecido como asca. Em sua fase assexual o fungo produz esporos denominados de macroconídios e na fase sexual produz esporos denominados de ascósporos. O estágio assexual (anamorfo) do fungo que causa giberela é *F. graminearum*. Os esporos assexuais são derivados de células produtoras de conídios denominadas de fiálides. Os fiálides

são massas agrupadas em formato de almofadas conhecidas como esporodóquios. O teleomorfo (estágio sexual) do fungo é conhecido como *G. zae* (SCHMALE III; BERGSTROM, 2003).

Os ascósporos, ou seja, os esporos sexuais do fungo podem ser descarregados forçosamente na atmosfera a partir dos peritécios (Figura 1), podendo percorrer longas distâncias. Acredita-se que sejam mais importantes do que os conídios nas epidemias de *Fusarium* porque o inóculo do fungo necessita de dispersão aérea para acometer as espigas dos cereais (TRAIL *et al.*, 2002; GENG *et al.*, 2014; DAVID *et al.*, 2016).

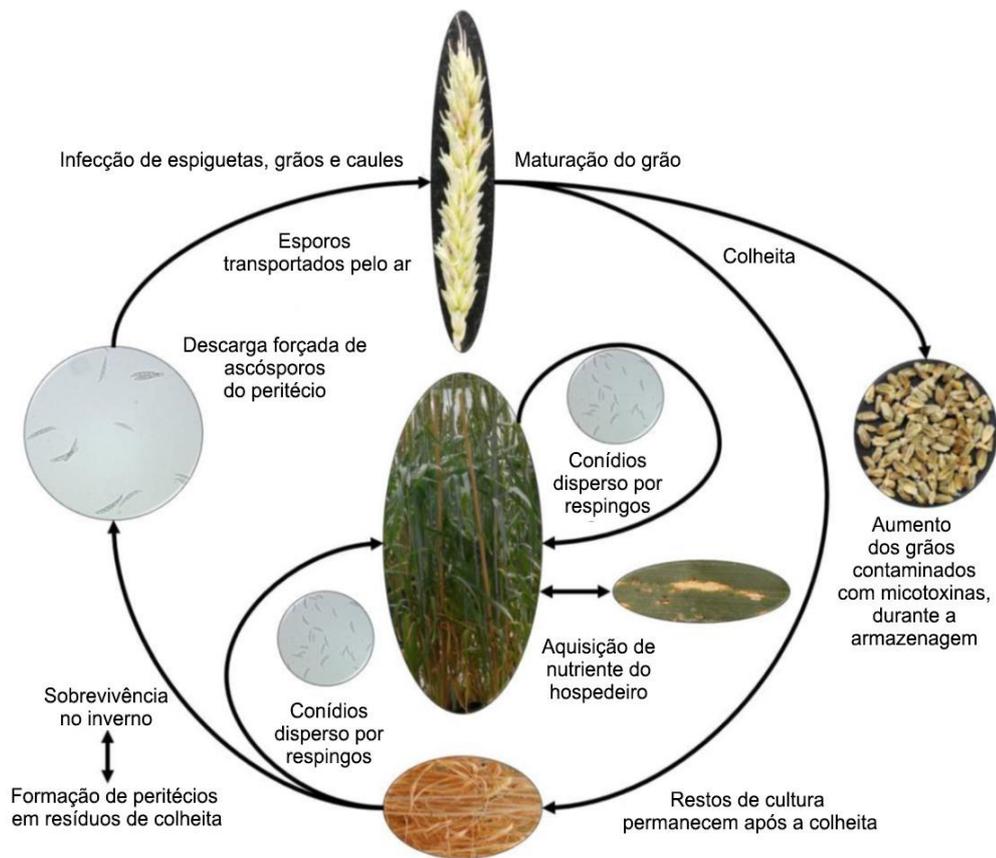


Figura 1. Ciclo de vida de *Gibberella zae* (*Fusarium graminearum*) na cultura do trigo.

Fonte: adaptado de Alisaac e Mahlein (2023).

De outro modo, os macroconídios podem ser dispersos verticalmente por respingos durante a chuva e ainda por insetos vetores como moscas, que também contribuem no processo de dispersão (BEYER *et al.*, 2004; GENG *et al.*, 2014). Todavia ressalta-se ainda que, tanto os ascósporos quanto os conídios podem ser encontrados em praticamente qualquer momento durante os estágios maduros das culturas de cereais infectadas (GENG *et al.*, 2014).

2.1.2 Sintomatologia

É imprescindível conhecer os sintomas causados por um patógeno, pois somente assim ações protetivas poderão ser elaboradas em favor da cultura. Todavia, há casos em que os sintomas da doença podem ser confundidos com a senescência natural dos tecidos do hospedeiro, dessa forma, é importante que o avaliador conheça bem os sintomas da doença para não incorrer em erros de diagnóstico (SILVA e MICHEREFF, 2016).

De acordo com Jesus Junior *et al.* (2007) o conhecimento epidemiológico das interações patógeno, hospedeiro e ambiente é de suma importância para o manejo das doenças das plantas. Portanto, conhecer e identificar os fatores que influenciam o desenvolvimento das doenças é condição primordial para se obter êxito na execução das estratégias de manejo.

As doenças de plantas podem apresentar sintomas ou sinais do patógeno em uma ou em várias partes da planta. Os sintomas são tidos como qualquer anormalidade constatada no aspecto normal de uma planta sadia, já os sinais são as estruturas que o patógeno produz, podendo ser visíveis a olho nu, seja na fase sexuada ou assexuada do agente causal (LIMA, 2017).

Desse modo, Schmale III e Bergstrom (2003) explicam que a planta do trigo durante seu desenvolvimento produz múltiplos perfilhos, cada um com uma espiga que emerge a partir da base do colmo. A espiga é constituída por diversas espiguetas posicionadas alternadamente ao longo do ráquis da espiga, e cada espigueta é composta por estruturas florais onde se desenvolvem as sementes, sendo que, os primeiros sintomas de giberela são notados logo após o florescimento.

Nesse sentido, Del Ponte *et al.* (2004) comentam que após a infecção, o fungo propaga-se pelo ráquis, e os primeiros sintomas são percebidos após alguns dias através da senescência prematura de espiguetas infectadas, podendo se expandir por toda a espiga. Havendo condições ambientais favoráveis, principalmente com umidade contínua e prolongada, é possível visualmente observar uma massa rosada de esporos na espigueta.

As espiguetas contaminadas ficam despigmentadas, de coloração esbranquiçada ou cor de palha, que contrastam com o verde normal de espiguetas sadias. Dependendo do genótipo pode apresentar sintomas como a presença da cor marrom escuro na gluma e alteração do sentido das aristas de espiguetas afetadas, que se desviam do sentido das aristas de espiguetas sadias (Figura 2) (LIMA, 2004; TRAIL, 2009).



Figura 2. Espiguetas com coloração esbranquiçada e presença da cor marrom escuro na gluma.

Fonte: O autor

Lima (2004) alerta ainda que é comum espigas afetadas por giberela demonstrarem sintomas semelhantes aos ocasionados por Brusone (*Magnaporthe grisea*), pois pode ocorrer descoloração de todas as espiguetas da parte superior da espiga a partir do ponto de infecção. Desse modo, para evitar erros de diagnóstico é necessário extrema atenção ao realizar monitoramento em campo.

Os grãos de trigo contaminados por giberela ficam com aspectos enrugados, com aparência murcha, chochos e apresentam baixo peso de massa. Apresentam ainda coloração branco-rosada, sendo a maioria de cor pardo-clara e o tamanho varia em função do estágio de desenvolvimento em que é afetado, esses grãos contaminados podem conter micotoxinas produzidas pelo *G. zae* prejudiciais a saúde humana e a animais, sendo as principais deoxinivalenol (DON) e zearalenona (ZEN) (LIMA, 2017; LIMA *et al.*, 2018; LIMA, 2020).

3 MICOTOXINAS

Em consonância com Bullerman (1979), micotoxina é um termo geral usado para descrever compostos ou metabólitos que são tóxicos ou têm outros efeitos biológicos indesejados em organismos vivos, principalmente em animais e seres humanos e que são

produzidos por fungos. O termo deriva da palavra grega "mykes" que significa fungo e da palavra latina "toxicum" que significa veneno ou toxina. Desse modo, o termo significa literalmente veneno de fungo ou toxina de fungo (GOLDBLATT, 1972).

As micotoxinas são metabólitos secundários, geralmente nocivos, produzidos por fungos específicos, também conhecidos como bolor, com ação nociva em animais e humanos. No mundo todo mais de 300 micotoxinas diferentes já são conhecidas, e constantemente são observadas concentrações desses contaminantes que excedem os limites aceitáveis em produtos advindos de colheita, como os cereais (JURASCHEK *et al.*, 2022).

Os principais fungos produtores de micotoxinas pertencem aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Claviceps*, *Myrothecium*, *Stachybotrys*, *Phoma*, *Trichotecium*, *Cephalosporium*, *Trichoderma*, *Cladosporium* e *Pithomyces*. Contudo, os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* são apontados como os mais importantes produtores de micotoxinas em cereais (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

A contaminação de alimentos por micotoxinas representa uma preocupação global e é considerada um problema inevitável e imprevisível, pois pode ocorrer mesmo quando boas práticas agrícolas de cultivo, armazenamento e processamento são implementadas, representando um sério desafio para a segurança alimentar. Além disso, a contaminação dos alimentos representa um risco extra para a segurança alimentar devido à possibilidade de contaminação indireta pela transferência de micotoxinas para produtos derivados de animais, como leite, carne e ovos (ALSHANNAQ e YU, 2017; MARIN *et al.*, 2013; RICHARD, 2007).

No entendimento de Ramos Girona *et al.* (2020) as micotoxinas são classificadas como compostos metabólitos fúngicos secundários perigosos químicos, porém de origem biológica, com capacidade de causar danos à saúde humana e animal. Segundo os autores, os efeitos nocivos destes compostos metabólitos fúngicos podem ocorrer por inalação, contato direto com o corpo e sobretudo pela ingestão de alimentos contaminados.

O processo de intoxicação ou envenenamento de um indivíduo por micotoxinas recebe o nome de "micotoxicose". As micotoxicoses são, portanto, a consequência de intoxicações causadas pelo contato ou ingestão de alimentos contaminados *in natura* ou até mesmo processados, uma vez que as micotoxinas não costumam ser destruídas durante as diferentes etapas do processamento devido à sua resistência ao calor, tratamentos físicos e químicos (SERRANO-COLL e CARDONA-CASTRO, 2015; MARIN *et al.*, 2013; RAMOS GIRONA *et al.*, 2020).

3.1 LEGISLAÇÃO PARA MICOTOXINAS EM TRIGO E DERIVADOS

A fim de proteger a saúde dos consumidores e garantir a qualidade dos alimentos evitando casos de micotoxicoses, as autoridades competentes na maioria dos países determinam níveis máximos permitidos para as micotoxinas mais prevalentes em cereais e derivados (TIBOLA e FERNANDES, 2020).

Entretanto, esses limites máximos de tolerância (LMT) para micotoxinas, como é o caso do DON, podem variar de acordo com a normatização de cada país ou até mesmo região. Por exemplo, nos Estados Unidos, a Food and Drug Administration (FDA) estipula o limite de 1 ppm de DON em produtos acabados de trigo, para farinha, farelo e gérmen, que podem ser consumidos por humanos. Para grãos destinados a alimentação animal, o limite é de 5 ppm, desde que, esses ingredientes não excedam 20% na dieta de suínos e 40% a todos os outros animais (FDA, 2010).

É importante ressaltar que esses valores podem passar por atualizações ao longo do tempo, conforme novas pesquisas e avaliações de risco são realizadas. Portanto, é fundamental consultar a legislação específica do país ou região em questão para obter os limites máximos tolerados atualizados para DON em grãos.

No Brasil a determinação dos limites máximos toleráveis para micotoxinas nos alimentos é de responsabilidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Atualmente a legislação brasileira determina valores para DON (Tabela 1). Contudo, para outros tricotecenos do tipo B, a exemplo do 3-acetil-DON (3ADON) e 15-acetil-DON (15ADON), apesar de serem importantes contaminantes, ainda não há limites estabelecidos pela legislação nacional.

Tabela 1 – Limites máximos tolerados (LMT) para Desoxinivalenol (DON) em alimentos à base de trigo

MICOTOXINAS	CATEGORIA DE ALIMENTO	LMT ($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
		2012	2017	2019	2022
Desoxinivalenol (DON)	Trigo, milho e cevada em grãos para posterior processamento	-	3000	3000	2000
	Trigo integral, trigo para quibe, farinha de trigo integral, farelo de trigo, farelo de arroz, grão de cevada	2000	1250	1000	1250
	Farinha de trigo, massas, crackers, biscoitos de água e sal, e produtos de panificação, cereais e produtos de cereais exceto trigo e incluindo cevada maltada.	1750	1000	750	1000

LMT – limites máximos tolerados

Fonte: BRASIL (2022).

3.2 MICOTOXINAS EM CEREAIS

Conforme Scaglioni e Furlong (2020) os cereais apresentam em sua estrutura física riqueza em componentes nutricionais que se localizam principalmente no endosperma, característica bem desenvolvida principalmente nas gramíneas, como é o caso do trigo. Contudo, é nas paredes externas do grão (subaleurona), que são compostas basicamente por celulose, hemicelulose e lignina, onde se localiza grande parte da comunidade microbiana contaminante, inclusive as espécies patogênicas, como o fungo *G. zea*, causador da giberela do trigo.

Todo cereal em algum momento fica exposto a infecção por micotoxinas dentro da cadeia produtiva agrícola, mesmo nos materiais vegetais que apresentem algum tipo de resistência a determinada doença durante as etapas de pré-colheita, este poderá ainda ser infectado na colheita por danos mecânicos e outras avarias no grão que facilitam a entrada do fungo, ou durante o processamento e armazenamento caso não sejam realizados em boas condições, evitando situação de temperaturas extremas, alta umidade e ainda armazenamento por longos períodos (AGRIOPOULOU *et al.*, 2020; BENNETT, 1987; AWUCHI *et al.*, 2021).

Neste sentido, fungos fitopatogênicos como o *F. graminearum* são responsáveis por sérias implicações epidemiológicas em cereais, pois ao incidirem sobre a cultura causam prejuízos de ordem quantitativa reduzindo a produtividade das lavouras, e prejuízos qualitativos, ao prejudicarem o aspecto natural dos grãos, sobretudo, quando o fungo realiza a biossíntese de micotoxinas como desoxinivalenol (DON), reduzindo a oferta de alimentos seguros para humanos e animais.

Segundo Eskola *et al.* (2019) também citado por Jin *et al.* (2021), ao realizarem extenso trabalho bibliométrico sobre a abrangência dos danos causados por micotoxinas em cereais e grãos no mundo todo, verificaram que ao menos 25% das culturas especialmente cereais, grãos, e nozes, apresentavam contaminações por algum tipo de micotoxina.

Quantificar os impactos econômicos causados por micotoxinas não é tarefa fácil, contudo Wu (2007) ao realizar estudo de caso sobre os prejuízos por micotoxinas derivadas de *Fusarium* na cadeia alimentar animal, estimou que em um ano normal, sem a ocorrência de surto significativo de Fusariose em espiga de milho, as perdas devido à fumonisina na alimentação animal somaram entre 1 a 20 milhões de dólares. Enquanto que, em anos com surto significativo de Fusariose em espiga de milho, as perdas totalizariam valores entre 31 a 46 milhões de dólares.

Mitchell *et al.* (2016), ao realizarem estimativas sobre os prejuízos para a indústria americana de milho decorrentes da contaminação por micotoxinas, contabilizaram perdas da ordem de US\$ 52,1 milhões a US\$ 1,68 bilhão anualmente nos Estados Unidos. Os autores ainda alertam que essas perdas tendem a aumentar progressivamente caso estratégias de controle adequadas não sejam implementadas.

Estudos destacam o aumento dos custos anuais relacionados a contaminação de micotoxinas em alimentos e em ração animal. Estima-se que cerca de cinco bilhões de dólares sejam desperdiçados anualmente em consequência de infecções fúngicas e contaminação de culturas com micotoxinas somente na região da América do Norte (HASSAN e ZHOU, 2018; TIBOLA e FERNANDES, 2020).

Nesses custos estão incluídos os diversos gastos com amostragem e análise que são necessários para atender aos requisitos regulatórios e contratuais, custos com remessas destruídas ou devolvidas, bem como o tempo e as despesas de fornecimento e compra de novos produtos para reposição. Além desses custos que se dão no curto prazo, existe ainda os custos por vezes maiores no longo prazo devido à perda de reputação da empresa e do país envolvido como um fornecedor confiável (LOGRIECO *et al.*, 2018).

3.3 PRINCIPAIS MICOTOXINAS EM TRIGO

O complexo de espécies de *F. graminearum* (FGSC) é o principal agente etiológico da giberela do trigo e também o agente causal das principais micotoxinas do trigo. Dentre essas micotoxinas, se destacam os tricotecenos que podem ser divididos em classes do tipo A, B, C e D, dependendo da ausência ou presença de grupos funcionais característicos, sendo que os principais tricotecenos sintetizados pelo *F. graminearum* são aqueles do tipo B (SCAGLIONI e FURLONG, 2020).

Tricotecenos do tipo B são responsáveis pela produção da micotoxina desoxinivalenol (DON) e seus derivados acetilados 3-acetil-DON (DON/3ADON) e 15-acetil-DON (DON/15ADON), DON-3-glicosídeo (DON-3-gl), nivalenol (NIV). Zearalenona (ZEN) e seus derivados (α - e β -zearalenóis) também são produzidos pelo fungo do gênero *Fusarium* (WACHOWSKA *et al.*, 2023; KARLOVSKY *et al.*, 2016; SPANIC *et al.*, 2023; SHANK *et al.*, 2011; VAN COLLER *et al.*, 2022; GAVRILOVA *et al.*, 2023).

De igual modo Cheli *et al.* (2013) comentam que tricotecenos do tipo B, como o desoxinivalenol (DON) e seus derivados acetilados, como o 3-AcDON e 15-AcDON, têm sido

comumente as micotoxinas mais contaminante do trigo e produtos à base de trigo em todas as regiões produtoras no mundo, seguido pelo nivalenol (NIV) e zearalenona (ZEN).

3.3.1 Desoxinivalenol (DON)

O desoxinivalenol (DON) é considerado a principal micotoxina da cultura do trigo, é membro da família de micotoxinas denominada tricotecenos. Sua ocorrência está associada primordialmente à espécie de fungos do complexo *F. graminearum*. São patógenos de incidência em plantas e normalmente são encontrados em cereais e pequenos grãos, sendo o agente causal da giberela do trigo (BERNARDI *et al.*, 2018).

DON possui uma ligação dupla com o oxigênio no carbono número 8 em sua estrutura molecular, tornando-o um tricoteceno tipo B (Figura 3). É um potente inibidor da síntese de proteínas em células eucarióticas, age inibindo a síntese de proteínas por ligação à peptidil transferase e medeia o dano ao DNA induzido pelo estresse oxidativo e a apoptose celular (PARK *et al.*, 2018; KAMLE *et al.*, 2022).

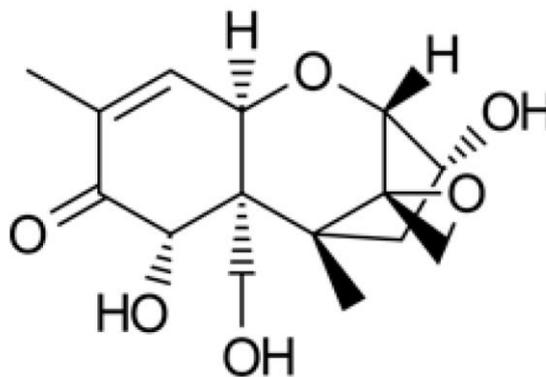


Figura 3 – Estrutura química do desoxinivalenol (DON).

Fonte: PARK *et al.*, (2018).

De acordo com Ferrigo *et al.* (2016) e Alisaac e Mahlein (2023) em todas as regiões produtoras onde se detectam fungos da espécie do complexo *Fusarium graminearum* se encontram o DON, pois este possui prevalência mundial entre espécies do complexo *Fusarium*. Ainda conforme os autores, o NIV possui maior efeito tóxico do que o DON para os animais, entretanto o DON é o causador de maior efeito tóxico para as plantas.

Como mencionado, o DON é um metabólito de ocorrência natural produzido por fungos do gênero *Fusarium*, especialmente *F. graminearum* e *F. culmorum*, que contaminam alimentos

e rações no mundo todo (HOLANDA e KIM, 2021). Além de contaminar cereais como trigo, milho, cevada, centeio, aveia e sementes de cártamo, o DON também pode ser encontrado até mesmo em pastagens e silagens (KAMLE *et al.*, 2022).

Uma extensa pesquisa a nível global realizada em 2018 sobre a ocorrência de contaminação das principais micotoxinas revelou ser o Desoxinivalenol uma das mais incidentes em todas as regiões. A pesquisa constou de 18.424 amostras de 79 países de produtos como milho, trigo, cevada, arroz, soja (*Glycine max*), silagem de milho, aveia (*Avena sativa*), grãos secos de destilação (DDGS) e silagem. Foram determinados os seguintes percentuais de contaminação, a saber: América do Norte 67%; América Central 70%; América do Sul 67%; África 74,5%; Europa 63,5%; Oriente Médio 65%; Ásia 68,25% e Oceania 47% (BIOMIN, 2019; GUO *et al.*, 2020).

Sendo uma micotoxina de ocorrência natural nas lavouras, os níveis de DON são facilmente influenciados por mudanças climáticas como temperatura e umidade. Sua ocorrência é comumente detectada em grãos ainda no campo durante os períodos de pré-colheita e colheita, bem como na secagem e armazenamento. Além disso, o DON é termoestável, suportando temperaturas acima de 170 °C a depender do tempo de tratamento, tornando assim possível sua presença em toda a cadeia alimentar, desde a lavoura até o consumidor final (ZHOU *et al.*, 2020; WOLF e BULLERMAN, 1998; KAMLE *et al.*, 2022).

O DON possui efeito tóxico tanto para animais quanto para humanos, pelo fato de causar efeitos eméticos também é conhecido por muitos pelo nome alternativo de vomitoxina (ZHOU *et al.*, 2020; FERRIGO *et al.*, 2016; HU *et al.*, 2022; MORAES *et al.*, 2023).

Em consonância com Zhou *et al.*, (2020) e Kamle *et al.*, (2022) a ocorrência de doses elevadas o DON pode causar em humanos e animais anorexia, desnutrição, diarreia, êmese, gastroenterite, endotoxemia, hemorragia e até mesmo morte em estado de choque. Em relação à toxicidade, existem diferenças marcantes entre as espécies, sendo os suínos a espécie que apresentam maior vulnerabilidade aos efeitos tóxicos causadas pelo DON, seguidos por roedores; cães; gatos; aves e ruminantes (PESTKA e SMOLINSKI, 2005; ZHOU *et al.*, 2020).

3.3.2 Nivalenol (NIV)

Semelhantemente ao DON o Nivalenol (NIV) é considerado uma das principais micotoxinas produzida por espécies de *Fusarium* e pertence ao grupo de tricotecenos do tipo B. Sendo um contaminante natural de abrangência global, é detectado em várias culturas como

trigo, cevada e milho. Em razão de sua potente citotoxicidade, o NIV constitui um sério risco à saúde humana e animal (KUMAR *et al.*, 2022).

No tocante à citotoxicidade do NIV, consta que o NIV ocasiona uma diminuição acentuada na proliferação celular em diferentes células de mamíferos. Dados recentes indicam que órgãos contendo células em proliferação ativa representam os principais alvos do Nivalenol. O NIV pode causar ainda imunossupressão, toxicidade gastrointestinal e genotoxicidade. Apesar disso, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) ainda o classifica como um carcinógeno do grupo 3 (ZINGALES *et al.*, 2021).

O NIV e o DON possuem estrutura química muito semelhantes, pois os dois pertencem ao grupo de tricotecenos do tipo B. A única diferença entre nivalenol e desoxinivalenol é um átomo de oxigênio na posição C-4 (Figura 4) contudo, a toxicidade desses epóxidos de carbono difere completamente entre si, fazendo com que o NIV apresente maiores valores de estresse oxidativo e toxicidade em relação aos descritos para DON (AUPANUN *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2022).

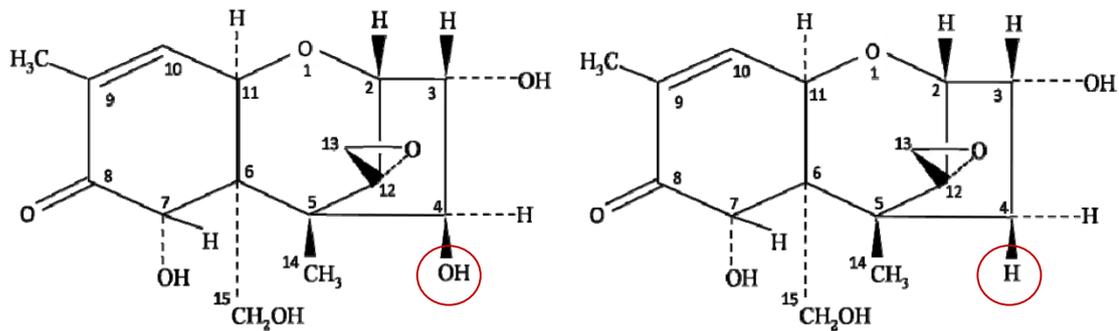


Figura 4 – Estrutura química do nivalenol (NIV) (esquerda) e desoxinivalenol (DON) (direita).

Fonte: KUMAR *et al.* (2022).

Neste sentido, Zingales *et al.* (2021) alertam que são numerosos os esforços realizados para minimizar o risco de contaminação por NIV e suas respectivas perdas econômicas. Contudo, a maioria dos trabalhos avaliados para mitigar a ação dos patógenos da giberela foram realizados em condições controladas de laboratório, sendo ainda poucas as evidências fornecidas em condições de campo.

4 MANEJO DA GIBERELA NO TRIGO

O manejo efetivo da giberela no trigo é uma tarefa desafiadora em vários aspectos. Devido a intensificação das lavouras de milho e a redução do cultivo por meio do plantio na palha, aumentaram a frequência das epidemias de giberela nas últimas décadas. Esse fenômeno acontece porque o milho é o principal hospedeiro das espécies do complexo de *Fusarium*, que serve como fonte de inóculo. Em função do cultivo reduzido, o resto de cultura anterior sobre o solo e ainda grãos perdidos da colheita (tiguera) que germinam nas bordas da lavoura, fazem com que o milho seja uma ponte verde para o inóculo incidir sobre o trigo que virá na sequência (ALISAAC e MAHLEIN, 2023; ASHIQ *et al.*, 2022).

Conforme Duffeck *et al.* (2020), o método mais efetivo para controlar a giberela no trigo é a integração de várias práticas em conjunto e não o uso de somente uma estratégia de manejo. Dessa forma, a implementação de medidas culturais destinadas a reduzir o inóculo local, bem como, o uso de cultivares moderadamente resistentes e ainda pulverizações de fungicidas apresentam maior efetividade de controle quando realizadas em conjunto.

A aplicação de fungicidas triazólicos, como protioconazol, tebuconazol, entre outros para controlar a incidência de *F. graminearum*, continua sendo uma das práticas de manejo mais utilizadas pelos produtores. Contudo, além dos fungicidas sintéticos apresentarem riscos ecológicos e biológicos, sua eficácia é limitada (ASHIQ *et al.*, 2022). Além disso, o controle tradicional de doenças utilizando fungicida também possui vida útil relativamente curta, à medida que as pragas evoluem para superar as pressões de seleção impostas a elas por insumos químicos (NELSON, 2019).

Ademais, mudanças regulatórias em muitas legislações ao redor do mundo estão reduzindo as opções de pesticidas, cada vez mais se observa a preocupação por parte de consumidores e governos com relação aos perigos ecológicos e de saúde dos produtos químicos. Diante disso, se faz necessário estratégias de manejo integrado que incorpore práticas culturais, variedades resistentes, medidas bioquímicas, entre outras para o controle das doenças (NELSON, 2019).

4.1 INTEGRAÇÃO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE MANEJO

O manejo cultural para controle de giberela é composto por diferentes práticas, tais como: a escolha do material genético que apresente bons níveis de resistência à giberela; semeadura em épocas menos favoráveis à ocorrência da doença, evitando que todo o florescimento coincida com períodos de maior predisposição; uniformização da antese com a diminuição de perfilhos; rotação de culturas; uso de cultivares com diferentes ciclos; aplicação

de fungicidas, utilização de controle biológico, entre outros (WESP-GUTERRES e SANTANA, 2020; SINGH *et al.*, 2023; TILLEY *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2019).

Existem várias estratégias de manejo da giberela para a cultura do trigo, entretanto a eficácia de cada uma dependerá das condições ambientais durante a estação de crescimento, sobretudo antes, durante e após a floração, do nível de resistência da cultivar, do manejo correto de irrigação, da utilização de sistemas de alerta e previsão de doenças, estratégias de colheita a fim de minimizar perdas de qualidade dos grãos e reduzir o DON. A integração de duas ou mais práticas de manejo é mais eficaz e, portanto, recomendada (WEGULO *et al.*, 2015).

4.1.1 Resistência Genética

Devido ao surgimento de ferramentas genômicas nos últimos anos, muitos estudos têm sido realizados sobre os fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento dos agentes causais, de genes ou regiões cromossômicas associadas à resistência do hospedeiro, afim de desenvolver a melhora mais efetiva da resistência do hospedeiro (MA *et al.*, 2020). Ainda que a maioria das doenças que incidem nas principais culturas possam ser controladas com produtos químicos, a resistência genética no hospedeiro continua sendo o método mais econômico e ecológico (GROVER *et al.*, 2019; PARISI, *et al.*, 2020; ANIMASAUN *et al.*, 2023; REYES, 2023).

Considerada por muitos como a primeira linha de defesa, a resistência genética, é a estratégia ambientalmente mais sustentável e economicamente mais viável. Contudo, os patógenos continuam evoluindo para cepas novas e mais agressivas, deixando para trás antigas fontes que até então eram resistentes (DALLAGNOL e DORNELES, 2021; SINGH *et al.*, 2023).

Neste sentido, Powell *et al.* (2023), argumentam que até o momento não existe cultivar que apresente total resistência a *G. zeae* tanto no trigo mole quanto no trigo duro. Além disso, a maioria das cultivares modernas disponíveis comercialmente possuem, na melhor das hipóteses, resistência moderada ou parcial ao patógeno.

4.1.2 Práticas Culturais

Em conformidade com Nicolli *et al.* (2020), as práticas agrícolas como sistema de cultivo ou época de plantio, exercem grande influência na prevalência de FGSC. Entretanto, a

predominância das espécies de *Fusarium* é determinada principalmente por fatores abióticos como clima, temperatura e a umidade.

Dentro das ações possíveis para minimizar os impactos causados pela giberela no trigo, a escolha da época, bem como, o escalonamento de semeadura são estratégias importantes. Estas práticas aumentam a probabilidade de escape a períodos de maior pressão de inóculo da doença (SANTANA *et al.*, 2020; WESP-GUTERRES e SANTANA, 2020).

Entre os fatores que são importantes para o estabelecimento e desenvolvimento da giberela, além da ocorrência de umidade durante a antese, a densidade de resíduos de culturas anteriores, a exemplo do milho como cultura precedente ao trigo, é um importante fator de risco, pois grandes quantidades de resíduos infectados que servem de substrato para *F. graminearum* permanecem no campo após a colheita (ASHIQ *et al.*, 2022).

Conforme implícito acima, o sistema de cultivo mínimo é conhecido por favorecer a permanência do inóculo de *Fusarium* spp. devido à densidade de resíduos da cultura anterior que permanecem sobre o solo. Por exemplo, no vale do rio Yangtze na China, onde o principal sistema de cultivo é o de rotação arroz-trigo, tem-se problemas com surtos de *F. asiaticum* (ZHANG *et al.* 2012; XU *et al.*, 2021). Em estudo conduzido no norte da Itália, avaliando o sistema de cultivo mínimo em comparação ao sistema de incorporação de palhada via aração na rotação milho-trigo, verificou-se o aumento significativo da intensidade da giberela no sistema de cultivo mínimo (BLANDINO *et al.*, 2010).

Dill-Macky e Jones (2000) em estudo realizado em Minnesota - EUA, avaliaram a intensidade da giberela em plantio rotacionado com milho-trigo, trigo-trigo e soja-trigo em diferentes sistemas de cultivo. O estudo mostrou que a rotação milho-trigo rendeu 15% a menos que a rotação soja-trigo e o sistema que preparou o solo antes do plantio com arado aiveca, rendeu 10% a mais em comparação ao plantio direto. O nível de DON no trigo após a soja, em média entre os tratamentos de cultivo, foi 25% menor do que no trigo após o trigo e 50% do nível no trigo após o milho.

De acordo ainda com Blandino *et al.* (2010), o cultivo de conservação onde não há o revolvimento do solo, além de aumentar a intensidade da giberela, pode ainda contribuir com aumento da contaminação dos grãos de trigo pela micotoxina DON.

Neste sentido, Wegulo *et al.* (2015), lembram que o preparo do solo para enterrar os resíduos da cultura hospedeira e a rotação de culturas com outras não hospedeiras é essencial para reduzir a intensidade da giberela e conseqüentemente o acúmulo de DON nos grãos. Desse modo a escolha do manejo pré-plantio deve ser levada em consideração em áreas onde se tem alta incidência de giberela.

4.1.3 Controle Químico

No entendimento de Zhou *et al.* (2023) em função da ausência de variedades de trigo que apresente característica efetivamente estáveis de alta resistência ao *Fusarium*, a aplicação de fungicidas sintéticos continua sendo a estratégia de manejo mais eficaz para controlar a giberela. Neste mesmo sentido Powell *et al.* (2023) argumentam que a aplicação foliar de fungicidas é o método mais amplamente preconizado para controlar o fusarium e as micotoxinas, principalmente pela falta de resistência ao *F. graminearum* nas cultivares de trigo.

Por outro lado, o uso inadequado e excessivo por um longo período de tempo de alguns princípios ativos, tem levado ao surgimento de resistência a alguns dos principais fungicidas, incluindo carbendazim e tebuconazol, em populações de campo de *F. graminearum* na China (QIAN *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2022; ZHOU *et al.*, 2023).

Como *F. graminearum* pode se estabelecer em espigas de trigo tanto inter, quanto intracelularmente, a eficácia de um fungicida se dará à medida que esse produto seja persistente e ao mesmo tempo possua capacidade de se translocar dentro do tecido da espiga (BROWN *et al.*, 2010; SHAH *et al.*, 2018).

Segundo Alisaac e Mahlein (2023), o momento ideal para a aplicação de fungicidas é a fase em que a planta apresenta maior susceptibilidade ao patógeno, ou seja, a antese e 10 dias após a antese. Contudo, alguns fatores podem prejudicar a eficiência dos fungicidas. Por exemplo, um período de aplicação limitado, a desuniformidade da antese e condições climáticas nesta fase podem ser um desafio para a aplicação exitosa de fungicidas. Esses fatores podem exigir múltiplas aplicações para alcançar o controle eficiente da doença.

Como mencionado a desuniformidade na fase da antese entre a planta principal e seus perfilhos prejudica a eficiência do fungicida. Desse modo, uma estratégia interessante para uniformizar a antese seria a diminuição de perfilhos. Tilley *et al.* (2019), pesquisaram o efeito de diferentes taxas de semeadura no trigo e a mortalidade de perfilhos. Os autores verificaram que à medida que a taxa de semeadura aumentou, o número de perfilhos por planta diminuiu.

Umidade relativa alta, dias chuvosos e ainda umidade da superfície durante a antese e início do enchimento de grãos, são o período de maior suscetibilidade do hospedeiro à infecção por giberela. Consequentemente, a aplicação de fungicidas para o manejo da doença é especialmente preconizada quando a antese coincide com o clima úmido. Contudo, em condições de campo úmido, quando os fungicidas são mais necessários, a aplicação no tempo ideal pode ser limitada devido à intercorrência de chuva durante a aplicação e até mesmo dificuldade de operar a máquina em solos úmidos (D'ANGELO *et al.*, 2014).

Apesar do uso dos fungicidas químicos, principalmente os triazólicos, serem recomendados para o controle da giberela no trigo, a eficácia de seus resultados é influenciada pelo tipo de ingrediente ativo, pelo nível de resistência da cultivar, pelo estágio da cultura e o número de aplicações que são realizadas e ainda pela tecnologia de aplicação utilizada pelo produtor (DUFFECK *et al.*, 2020).

4.1.4 Controle Biológico

O controle biológico consiste na utilização de microrganismos antagonistas às espécies de *Fusarium* ou metabólitos secundários biológicos para controlar a giberela no trigo. A utilização de microrganismos como bactérias, leveduras e fungos filamentosos, vem recebendo cada vez mais atenção devido à pressão para reduzir o uso de pesticidas nas lavouras (ALISAAC e MAHLEIN, 2023; ALUKUMBURA *et al.*, 2022).

Zhao *et al.* (2014) realizaram testes *in vitro* e *in situ* utilizando a bactéria *Bacillus subtilis* como ferramenta para controlar o patógeno do *F. graminearum* e a micotoxina DON. Os autores caracterizaram e identificaram a cepa como *Bacillus subtilis* SG6 e constataram um alto efeito antifúngico no crescimento micelial, esporulação e produção de DON com proporções de 87,9%, 95,6% e 100%, respectivamente. Enquanto que, nos testes de campo a mesma cepa aplicada na antese até o estágio de massa mole do desenvolvimento do grão, reduziu significativamente a incidência da doença, índice de giberela e DON.

Bouanaka *et al.*, (2021) utilizaram como mecanismo de biocontrole para a giberela no trigo, 15 isolados do fungo *Trichoderma afroharzianum* proveniente de solos da Argélia. Vários isolados de *T. afroharzianum* apresentaram resultados promissores para o controle da giberela. Contudo, o isolado 14 de *T. afroharzianum* quando testado sobre os genótipos Simeto, Waha, Bousselem e Setifis, apresentou significativa redução da porcentagem da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de 49,77, 43,43, 48,25 e 74,60%, respectivamente.

Esses microrganismos podem ser aplicados diretamente sobre as espigas de trigo, bem como, no pré-plantio sobre os resíduos da safra anterior para inibir o desenvolvimento dos peritécios. Frequentes relatos demonstram que bactérias como *Bacillus spp.*; *Lysobacter enzymogenes*; *Pseudomonas spp.*; e *Streptomyces spp.*; e fungos como *Aureobasidium pullulans*; *Clonostachys rosea* e *Trichoderma spp.*, têm apresentado bons resultados contra o *Fusarium* (WEGULO *et al.*, 2015; ALISAAC e MAHLEIN, 2023).

4.2 UTILIZAÇÃO DE SILICATO DE POTÁSSIO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA

No momento atual o manejo sustentável de pragas e doenças está recebendo mais atenção do que nunca, seja devido a restrições ou retirada do mercado de pesticidas sintéticos e tóxicos, seja pelos impactos negativos na saúde humana e ambiental. O fato é que a utilização do silício (Si) na agricultura deve ser mais amplamente considerada e testada como uma opção de manejo sustentável em lavouras no mundo todo (REYNOLDS *et al.*, 2016).

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre depois do oxigênio. É encontrado principalmente na solução do solo na forma de ácido silícico, H_4SiO_4 (EPSTEIN, 1994; POONIYAN *et al.*, 2023). A disponibilidade de Si no solo para as plantas pode ser influenciada por vários fatores como tipo de solo, material de origem, uso da terra, matéria orgânica, temperatura, pH do solo e textura (REYNOLDS *et al.*, 2016).

Laane (2018) explica que o teor de silício dos solos é muito alto, apresentando média de 28% de Si em peso. A grande maioria dos compostos de Si no solo consiste em dióxido de silício, minerais de silicato e aluminossilicatos, porém esses compostos não são disponíveis para absorção pelas plantas. O único composto de silício biodisponível vegetal é o ácido monossilícico ou ácido ortossilícico, cuja concentração é muito baixa no solo.

Apesar do Si ser um elemento muito abundante, para que um material seja útil e de fácil aplicação na agricultura, ele deve conter um teor relativamente alto de silício, fornecer silício solúvel em água suficiente para atender às necessidades da planta, e possuir natureza física que facilite o armazenamento. Neste caso, o silicato de cálcio, obtido como subproduto da produção de aço e fósforo, é uma das fontes de Si mais utilizadas. Contudo, o silicato de potássio (SK) encontrado na fórmula química (K_2SiO_3) apresenta considerável teor de Silício (18%), e alta solubilidade, o que o torna um insumo de fácil aplicação em diferentes sistemas de manejo (MEENA *et al.*, 2014).

De acordo com Song *et al.* (2021), o Si é translocado da solução do solo na forma de ácido monossilícico para as plantas e polimerizado para formar fitólitos, que se acumulam de forma irreversível no interior da planta. O transporte de Si normalmente ocorre no sentido ascendente (KIM *et al.*, 2017). A deposição de fitólitos aumenta a imunidade da planta e a resiliência física e serve também como uma barreira física à penetração de fungos (SONG *et al.*, 2021).

Neste sentido, Pooniyan *et al.* (2023) esclarecem ainda que o Si é absorvido e transportado através do xilema e é depositado nas superfícies epidérmicas das folhas, neste

momento é condensado em uma sílica gel dura e polimerizada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), também conhecida como fitólito ou opala vegetal.

Todas as plantas contêm Si em diferentes concentrações de acordo com a espécie, variando de menos de 1% a mais de 10% da matéria seca total. Plantas que apresentam deficiência de silício são estruturalmente mais fracas do que as plantas enriquecidas com silício, e por consequência, apresentam crescimento, desenvolvimento, viabilidade e reprodução reduzidos. Além de estarem mais suscetíveis a estresses bióticos e abióticos (EPSTEIN, 1994; LAANE, 2018).

Considerado como um importante agente indutor de resistência, o Si é um elemento benéfico para o crescimento e desenvolvimento das plantas do ponto de vista fisiológico e metabólico (SCHULTZ *et al.*, 2012). A fertilização com silício através de silicatos naturais tem o potencial de mitigar estresses ambientais e o esgotamento de nutrientes do solo, sendo, portanto, uma alternativa sustentável em relação ao uso intensivo de fertilizantes fitossanitários e NPK na agricultura. Entretanto, para a agronomia, o Si geralmente não é considerado um elemento essencial de fertilização (GÜNTZER *et al.*, 2012).

Wang *et al.* (2017) elucidam que o Si pode atuar como um modulador influenciando as respostas de defesa da planta e interagindo com os principais componentes dos sistemas de sinalização de estresse da planta, o que promove à resistência induzida. Além disso, o Si pode viabilizar a ação de mecanismos de resistência desencadeados através de priming de respostas de defesa de plantas, alterações na homeostase de fitormônios e rede por componentes de sinalização de defesa.

A respeito da ação do Si como indutor de resistência para as plantas, Deliopoulos *et al.* (2010) comentam que a supressão de doenças fúngicas pela fertilização com Si parece estar associada tanto ao estímulo dos mecanismos naturais de defesa da planta, quanto ao fortalecimento das paredes celulares, o que cria uma barreira natural à penetração fúngica.

O silício é utilizado na agricultura para o tratamento e proteção de cultivos. As principais culturas que respondem à aplicação de Si incluem algumas plantas monocotiledôneas, como arroz, milho, trigo e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) que em geral tendem a acumular mais Si nos brotos do que as dicotiledôneas (LIANG *et al.*, 2015; DEBONA *et al.*, 2017). Entretanto, algumas dicotiledôneas, como algodão (*Gossypium hirsutum* L.), soja e alguns vegetais como as cucurbitáceas também absorvem e acumulam ativamente grandes quantidades de silício (LIANG *et al.*, 2015; REYNOLDS *et al.*, 2016).

Conforme Debona *et al.* (2017), o Si apresenta notável efeito para a redução da intensidade de uma série de doenças de plantas causadas por patógenos biotróficos,

hemibiotróficos e necrotróficos que causam doenças transmitidas por sementes, solo e foliares em muitas culturas de grande importância econômica. Os mesmos autores argumentam que a intensidade de algumas doenças para plantas tratadas com Si é reduzida ao mesmo nível de eficácia alcançado com uso de fungicidas.

Plantas com maior teor de silício na parte aérea ou raiz são menos predispostas ao ataque de pragas, e apresentam maior resistência ao estresse tanto biótico como abiótico. O Si é um elemento essencial para o crescimento das plantas, age como uma barreira mecânica e fornece resistência contra fitopatógenos e herbívoros (EPSTEIN, 1994; SONG *et al.*, 2021)

A deposição de silício nas plantas também pode contribuir para o desgaste do aparelho bucal de alimentação, ou mandíbulas de insetos no ato de sua alimentação favorecendo a menor pressão de ataque e ainda diminui a digestibilidade da planta para herbívoros inclusive para algumas espécies de mamíferos (SONG *et al.*, 2021).

O silicato de potássio é originário da fusão, em alta temperatura e pressão, da sílica (quartzo finamente moído), com hidróxido de potássio e, ou, carbonato de potássio. A oferta comercial dos produtos constituídos de silicato de potássio é variada, havendo diferença na concentração de Si e K a depender do fabricante. De modo geral, são produtos totalmente solúveis em água, de alto pH (10-12), densos ($d = 1,4 \text{ g/cm}^3$), com teores médios de Si de 10 a 12,2% e de 10 a 15% de K_2O (FREITAS *et al.*, 2011).

Carré-Missio *et al.* (2014) utilizaram aplicação foliar de silicato de potássio para controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*), e verificaram que as plantas pulverizadas com SK apresentaram menor colonização fúngica nos tecidos foliares em relação as plantas do controle. Os autores sugerem que o efeito do SK quando aplicado sobre as folhas para controlar a ferrugem do cafeeiro pode ser atribuído ao papel físico do SK polimerizado ou ao efeito osmótico contra germinação de urediniosporos. Os mesmos autores lembram ainda que o silicato de potássio é uma importante fonte solúvel de Si, o que possibilita a aplicação foliar em culturas de campo e também viabiliza seu uso em cultivos hidropônicos.

Li *et al.* (2021) analisaram os efeitos da aplicação de silicato de potássio via sulco de plantio na cultura do trigo e seus efeitos nas características fotossintéticas da folha bandeira, peso de mil sementes e produtividade do trigo. Verificaram de modo geral que o silicato de potássio influenciou positivamente sobre todas as variáveis analisadas.

A suplementação com Si contribui favoravelmente para mitigação dos efeitos abióticos em muitas culturas (PINHEIRO *et al.*, 2022; RIZWAN *et al.*, 2015; KIM *et al.*, 2017). Neste sentido a utilização de silicato de potássio via aplicação foliar realizada duas vezes, aos 65 e 80

dias após a semeadura incrementou a produção de trigo, a absorção de nutrientes e a eficiência do uso da água em experimento de irrigação deficitária (SAUDY *et al.*, 2023).

REFERÊNCIAS

ABBAS, A.; YLI-MATTILA, T. Biocontrol of *Fusarium graminearum*, a Causal Agent of Fusarium Head Blight of Wheat, and Deoxynivalenol Accumulation: From In Vitro to In Planta. **Toxins**, v. 14, n. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins14050299>. Acesso em: 10 jul. 2023.

AGOSTINETTO, L.; CASA, R. T.; BOGO, A.; FINGSTAG, M. D.; VALENTE, J. B. Viabilidade e controle de *Fusarium graminearum* em sementes de cevada. **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 4, p. 368-373, 2018.

AGRIOPOULOU, S.; STAMATELOPOULOU, E.; VARZAKAS, T. Advances in Occurrence, Importance, and Mycotoxin Control Strategies: Prevention and Detoxification in Foods. **Foods**, v. 9, n. 2, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods9020137>, acesso em: 15 jun. 2023.

AJMAL, M.; HUSSAIN, A.; ALI, A.; CHEN, H.; LIN, H. Strategies for Controlling the Sporulation in *Fusarium* spp. **J. Fungi**, v. 9, n. 10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jof9010010>. Acesso em: 13 mai. 2023.

ALISAAC, E.; MAHLEIN, A.-K. *Fusarium* Head Blight on Wheat: Biology, Modern Detection and Diagnosis and Integrated Disease Management. **Toxins**, v. 15, n. 192, 2023. <https://doi.org/10.3390/toxins15030192>. Acesso em: 07 jul. 2023.

ALSHANNAQ, A.; YU, J-H. Occurrence, Toxicity, and Analysis of Major Mycotoxins in Food. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, V. 14, n. 6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph14060632>, acesso em: 10 jun. 2023.

ALUKUMBURA, A. S.; BIGI, A.; SARROCCO, S.; FERNANDO, W. G. D.; VANNACCI, G.; MAZZONCINI, M.; BAKKER, M. G. Minimal impacts on the wheat microbiome when *Trichoderma gamsii* T6085 is applied as a biocontrol agent to manage fusarium head blight disease. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.972016>. Acesso em: 17 jul. 2023.

ANIMASAUN, D. A.; ADEDIBU, P. A.; SHKRYL, Y.; EMMANUEL, F. O.; TE-KUTYEVA, L.; BALABANOVA, L. Modern Plant Biotechnology: An Antidote against Global Food Insecurity. **Agronomy**, v. 13, n. 38, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13082038>. Acesso em: 16 set. 2023.

ASHIQ, S.; EDWARDS, S.; WATSON, A.; BACK, M. Biofumigation for the Management of *Fusarium graminearum* in a Wheat-Maize Rotation. **Pathogens**, v. 11, n. 12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pathogens11121427>. Acesso em: 11 jul. 2023.

AUPANUN, S.; POAPOLATHEP, S.; PHUEKTES, P.; GIORGI, M.; ZHANG, Z.; OSWALD, I. P.; POAPOLATHEP, A. Individual and combined mycotoxins deoxynivalenol, nivalenol, and fusarenon-X induced apoptosis in lymphoid tissues of mice after oral exposure. **Toxicon**, v. 165, p. 83-94, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.04.017>. Acesso em: 07 jul. 2023.

AWUCHI, C. G.; ONDARI, E. N.; OGBONNA, C. U.; UPADHYAY, A. K.; BARAN, K.; OKPALA, C. O. R.; KORZENIOWSKA, M.; GUINÉ, R. P. F. Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies - A Revisit. **Foods**, v. 10, n. 6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10061279>, acesso em: 15 jun. 2023.

AYLOR, D. E. A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 38, p. 263-288, 1986. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(86\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0168-1923(86)90017-1). Acesso em: 17 jul. 2023.

BENNETT, J. W. Mycotoxins, mycotoxicoses, mycotoxicology and Mycopathologia. **Mycopathologia**, v. 100, p. 3-5, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF0076956>, acesso em: 15 jun. 2023.

BERNARDI, C. M. G.; RESENDE, D. de O.; TIBOLA, C. S. Cartilha do agricultor micotoxinas no trigo. São Paulo/SP: Abitrigo, 2018 (**Documento on line**). Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

BEYER, M.; RÖDING, S.; LUDEWIG, A.; VERREET. J. A. Germination and survival of *Fusarium graminearum* macroconidia as affected by environmental factors. **Journal Phytopathol**, v. 52, p. 92-97, 2004. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1439-0434.2003.00807.x>, acesso em: 20 mai. 2023.

BIOMIN (2019). Biomin world mycotoxin survey report 2018. Disponível em: <https://www.biomin.net/science-hub/2018-biomin-mycotoxin-survey-results/>. Acesso em: 05 jul. 2023.

BLANDINO, M.; PILATI, A.; REYNERI, A.; SCUDELLARI, D. Effect of maize crop residue density on *Fusarium* head blight and on deoxynivalenol contamination of common wheat grains. **Cereal Research Communications**, v. 38, n. 4, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1556/crc.38.2010.4.12>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BOUANAKA, H.; BELLIL, I.; HARRAT, W.; BOUSSAHA, S.; BENBELKACEM, A.; KHELIFI, D. On the biocontrol by *Trichoderma afroharzianum* against *Fusarium culmorum* responsible of fusarium head blight and crown rot of wheat in Algeria. **Egypt J Biol Pest Control**, v. 31, n. 68, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00416-3>. Acesso em: 17 jul. 2023.

BRASIL. Anvisa. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 160, de 1º de julho de 2022. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. **Diário Oficial da União** nº 126, de 6 de julho de 2022. Brasília, 6 de julho de 2022.

BROWN, N. A.; URBAN, M.; VAN DE MEENE, A. M. L.; HAMMOND-KOSACK, K. E. The infection biology of *Fusarium graminearum*: Defining the pathways of spikelet to spikelet

colonisation in wheat ears. **Fungal Biology**, v. 114, n. 7, p. 555-571, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2010.04.006>. Acesso em: 18 nov. 2023.

BUERSTMAYR, H.; BAN, T.; ANDERSON, J. A. QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: A review. **Plant Breeding**, v. 128, p. 1-26, 2009. <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1439-0523.2008.01550.x>. Acesso em: 10 jul. 2023.

BULLERMAN, L. B. Significance of Mycotoxins to Food Safety and Human Health. **Journal of Food Protection**, v. 42, n. 1, p. 65-86, 1979. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X23025590>, acesso em: 10 jun. 2023.

CARRÉ-MISSIO, V.; RODRIGUES, F. A.; SCHURT, D. A.; RESENDE, R. S.; SOUZA, N. F. A.; REZENDE, D. C.; MOREIRA, W. R.; ZAMBOLIM, L. Effect of foliar-applied potassium silicate on coffee leaf infection by *Hemileia vastatrix*. **Ann Appl Biol**, v. 164, p. 396-403, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/aab.12109>. Acesso em: 16 ago. 2023.

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. **Fitopatol. bras.** Brasília, v. 29, n. 3, p. 289-293, 2004.

CHELI, F.; PINOTTI, L.; ROSSI, L.; DELL'ORTO, V. Effect of milling procedures on mycotoxin distribution in wheat fractions: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, 3n. 2, p. 307-314, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.040>, acesso em: 13 jun. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra Brasileira de Grãos. **Tabela de dados - Produção e balanço de oferta e demanda de grãos**. Conab, Brasília-DF, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos>. Acesso em: 02 jun. 2024.

COVARELLI, L.; BECCARI, G.; PRODI, A.; GENEROTTI, S.; ETRUSCHI, F.; JUAN, C.; FERRER, E.; MAÑES, J. Fusarium Species, chemotype characterization and trichothecene contamination of durum and soft wheat in an area of central Italy. **J. Sci. Food Agric**, v. 95, p. 540-551, 2015. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1002/jsfa.6772>. Acesso em: 13 mai. 2023.

D'ANGELO, D. L.; BRADLEY, C. A.; AMES, K. A.; WILLYERD, K. T.; MADDEN, L. V.; PAUL, P. A. Efficacy of fungicide applications during and after anthesis against Fusarium head blight and deoxynivalenol in soft red winter wheat. **Plant Disease**, v. 98, n. 10, p. 1387-1397, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-14-0091-RE>. Acesso em: 14 jul. 2023.

DALLAGNOL, L. J.; DORNELES, K. R. Resistência genética da planta a agentes patogênicos. In: Rios, J. A.; Almeida, L. C.; Souza, E. B. (Org.). **Resistência de plantas a patógenos**. 1ed. Recife, PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021, v. 1, p. 8-45.

DAVID, R. F.; MARR, L. C.; SCHMALE, D. G. Ascospore release and discharge distances of *Fusarium graminearum* under controlled temperature and relative humidity. **Eur J Plant**

Pathol, v. 146, p. 59-69, 2016. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10658-016-0891-0>, acesso em 20 mai. 2023.

DEAN, R.; VAN KAN, J. A. L.; PRETORIUS, Z. A.; HAMMOND-KOSACK, K. E.; DI PIETRO, A.; SPANU, P. D.; RUDD, J. J.; DICKMAN, M.; KAHMANN, R.; ELLIS, J.; FOSTER, G. D. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 4, p. 414-430, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>. Acesso em: 10 jul. 2023.

DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **Annual Review of Phytopathology**, v. 55, p. 85-107, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035312>. Acesso em: 29 jul. 2023.

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; PIEROBOM, C. R.; BERGSTROM, G.C. Gibberela do trigo – aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**. v. 29, n. 6, p.587-605, 2004.

DELIOPOULOS, T.; KETTLEWELL, P. S.; HARE, M. C. Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. **Crop Protection**, v. 29, n. 10. p. 1059-1075, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.011>. Acesso em: 13 ago. 2023.

DILL-MACKY, R.; JONES, R. K. The effect of previous crop residues and tillage on fusarium head blight of wheat. **Plant Disease**, v. 84, n. 1, p. 71-76, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.1.71>. Acesso em: 17 jul. 2023.

DRAKOPOULOS, D.; KÄGI, A.; GIMENO, A.; SIX, J.; JENNY, E.; FORRER, H. R.; MUSA, T.; MECA, G.; VOGELGSANG, S. Prevention of Fusarium head blight infection and mycotoxins in wheat with cut-and-carry biofumigation and botanicals. **Field Crops Research**. v. 246, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107681>. Acesso em: 10 jul. 2023.

DUFFECK, M. R.; ALVES, K. S.; MACHADO, F. J.; ESKER, P. D.; DEL PONTE, E. M. Modeling yield losses and fungicide profitability for managing Fusarium head blight in Brazilian spring wheat. **Phytopathology**, v. 110, n. 2, p. 370-378, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-19-0122-R>. Acesso em: 16 jul. 2023.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 91, p. 11-17, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11>. Acesso em: 30 jul. 2023.

ESCRIVÁ, L.; FONT, G.; MANYES, L. In vivo toxicity studies of Fusarium mycotoxins in the last decade: a review. **Food Chem. Toxicol.** v. 78, 2015, p. 185-206. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.02.005>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ESKOLA, M.; KOS, G.; ELLIOTT, C. T.; HAJŠLOVÁ, J.; MAYAR, S.; KRŠKA, R. World-wide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 16, p. 2773-2789, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>, acesso em: 14 jun. 2023.

FDA. U.S. Food and Drug Administration. 2010. **Guidance for Industry and FDA: Advisory Levels for Deoxynivalenol (DON) in Finished Wheat Products for Human Consumption and Grains and Grain By-Products used for Animal Feed**. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/natural-toxins-food/mycotoxins>, acesso em 18 jun. 2023.

FERRIGO, D.; RAIOLA, A.; CAUSIN, R. Fusarium Toxins in Cereals: Occurrence, Legislation, Factors Promoting the Appearance and Their Management. *Molecules*, v. 21, n. 5, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules21050627>, acesso em: 04 jul. 2023.

FOROUD, N. A.; PORDEL, R.; GOYAL, R. K.; RYABOVA, D.; ERANTHODI, A.; CHATTERTON, S.; KOVALCHUK, I. Chemical Activation of the Ethylene Signaling Pathway Promotes Fusarium graminearum Resistance in Detached Wheat Heads. *Phytopathology*, v. 109, n. 5, p. 796-803, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0286-R>, acesso em 04 jul. 2023.

FREITAS, L. B. de.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 58, n.2, p. 262-267, mar/abr, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000200020>. Acesso em: 23 jul. 2023.

GAIRE, R.; SNELLER, C.; BROWN-GUEDIRA, G.; VAN SANFORD, D.; MOHAMMADI, M.; KOLB, F. L.; OLSON, E.; SORRELLS, M.; RUTKOSKI, J. Genetic Trends in Fusarium Head Blight Resistance from 20 Years of Winter Wheat Breeding and Cooperative Testing in the Northern U.S.A. *Plant Disease*, v. 106, n. 2, p. 364-372, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-21-0891-SR>. Acesso em: 22 mai. 2024.

GAVRILOVA, O. P.; GAGKAEVA, T. Y.; ORINA, A. S.; GOGINA, N. N. Diversity of Fusarium Species and Their Mycotoxins in Cereal Crops from the Asian Territory of Russia. *Doklady Biological Sciences*, v. 508, p. 9–19, 2023. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1134/S0012496622700156>, acesso em: 04 jul. 2023.

GENG, Z.; ZHU, W.; SU, H.; ZHAO, Y.; ZHANG, KE-QIN.; YANG, J. Recent advances in genes involved in secondary metabolite synthesis, hyphal development, energy metabolism and pathogenicity in Fusarium graminearum (teleomorph Gibberella zeae). *Biotechnology Advances*, v. 32, n. 2, p. 390-402, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.007>, acesso em: 20 mai. 2023.

GOLDBLATT, L. A. Implications of Mycotoxins. *Clinical Toxicology*, v. 5, n. 4, p. 453-464, 1972. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.3109/15563657208991026>, acesso em 10 jun. 2023.

GROVER, G., SHARMA, A., SRIVASTAVA, P.; KAURET, J.; BAINS, N. S. Genetic analysis of stripe rust resistance in a set of European winter wheat genotypes. *Euphytica*, v. 215, n. 57, 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10681-019-2380-y>. Acesso em 16 set. 2023.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 32, p. 201-213, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0039-8>. Acesso em: 30 jul. 2023.

- GUO, H.; JI, J.; WANG, J. S.; SUN, X. Deoxynivalenol: Masked forms, fate during food processing, and potential biological remedies. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.** v. 19, p. 895–926, 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1111/1541-4337.12545>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- HASSAN, Y.I.; ZHOU, T. Promising Detoxification Strategies to Mitigate Mycotoxins in Food and Feed. **Toxins**, v. 10, n. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins10030116>, acesso em: 15 jun. 2023.
- HOLANDA, D. M.; KIM, S. W. Mycotoxin Occurrence, Toxicity, and Detoxifying Agents in Pig Production with an Emphasis on Deoxynivalenol. **Toxins**, v. 3, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins13020171>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- HU, C.; CHEN, P.; ZHOU, X.; LI, Y.; MA, K.; LI, S.; LIU, H.; LI, L. Arms Race between the Host and Pathogen Associated with Fusarium Head Blight of Wheat. **Cells**. v. 11, 2275, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cells11152275>, acesso em: 21 mai. 2023.
- JESUS JUNIOR, W. C.; VALE, F. X. R.; MORAES, W. B.; ZAMBOLIM, L.; RAMOS, F. A. Critérios epidemiológicos para tomada de decisão no manejo de doenças de plantas. In: JESUS JUNIOR, W.C.; POLANCZYK, R.; PRATISSOLI, D.; PEZZOPANE, J. E. M.; SANTIAGO, T. (Org.) **Atualidades em Defesa Fitossanitária**. 1 ed. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007, v. 1, p. 307-326.
- JIN, J.; BEEKMANN, K.; RINGØ, E.; RIETJENS, I. M. C. M.; XING, F. Interaction between food-borne mycotoxins and gut microbiota: A review. **Food Control**, v. 126, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107998>, acesso em: 14 jun. 2023.
- JURASCHEK, L. M.; KAPPENBERG, A.; AMELUNG, W. Mycotoxins in soil and environment. **Science of The Total Environment**, v. 814, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721075033>, acesso em 10 jun. 2023.
- KAMLE, M.; MAHATO, D. K.; GUPTA, A.; PANDHI, S.; SHARMA, B.; DHAWAN, K.; VASUNDHARA; MISHRA, S.; KUMAR, M.; TRIPATHI, A. D.; RASANE, P.; SELVA-KUMAR, R.; KUMAR, A.; GAMLATH, S.; KUMAR, P. Deoxynivalenol: An Overview on Occurrence, Chemistry, Biosynthesis, Health Effects and Its Detection, Management, and Control Strategies in Food and Feed. **Microbiology Research**. V. 123, n. 2, p. 292-314, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microbiolres13020023>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- KARLOVSKY, P.; SUMAN, M.; BERTHILLER, F.; DE MEESTER, J.; EISENBRAND, G.; PERRIN, I.; OSWALD, I. P.; SPEIJERS, G.; CHIODINI, A.; RECKER, T.; DUSSORT, P. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. **Mycotoxin Research**, v. 32, n. 4, p. 179–205, 2016. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12550-016-0257-7>, acesso em: 13 jun. 2023.
- KAZAN, K.; GARDINER, D. M.; MANNERS, J. M. On the trail of a cereal killer: recent advances in Fusarium graminearum pathogenomics and host resistance. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 4, p. 399-413, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00762.x>. Acesso em: 20 mai. 2023.

- KELLER, M. D.; BERGSTROM, G. C.; SHIELDS, E. J. The aerobiology of fusarium graminearum. **Aerobiologia**. v. 30, p. 123-136, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10453-013-9321-3>. Acesso em: 20 mai. 2023.
- KEMP, N. D.; VAUGHAN, M. M.; MCCORMICK, S. P.; BROWN, J. A.; BAKKER, M. G. *Sarocladium zeae* is a systemic endophyte of wheat and an effective biocontrol agent against Fusarium head blight. **Biological Control**. v. 149, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104329>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- KIM, Y. H.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; LEE, I. J. Oxidative Stress, stress response, Si fertilization, Biochemical and physiological function, Stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00510>. Acesso em: 06 ago. 2023.
- KUMAR, P.; MAHATO, D. K.; GUPTA, A.; PANDEY, S.; PAUL, V.; SAURABH, V.; PANDEY, A. K.; SELVAKUMAR, R.; BARUA, S.; KAPRI, M.; KUMAR, M.; KAUR, C.; TRIPATHI, A. D.; GAMLATH, S.; KAMLE, M.; VARZAKAS, T.; AGRIOPOULOU, S. Ni-valenol Mycotoxin Concerns in Foods: An Overview on Occurrence, Impact on Human and Animal Health and Its Detection and Management Strategies. **Toxins**, v. 14, n. 8, 2022. <https://doi.org/10.3390/toxins14080527>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- LAANE H-M. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. **Plants**, v. 7, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants7020045>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- LI, W.; LI, M.; XU, Y.; SHI, Y. Effects of Potassium Silicate Fertilizer on Photosynthetic Characteristics and Yield in Winter Wheat (*Triticum Aestivum* L.). **Bangladesh Journal of Botany**, v. 50, n. 4, p. 1127-1132, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3329/bjb.v50i4.57080>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- LIANG, Y., NIKOLIC, M., BÉLANGER, R., GONG, H., SONG, A. Silicon-Mediated Tolerance to Salt Stress. In: **Silicon in Agriculture**. Springer, Dordrecht. 2015, p. 123-142. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2_6. Acesso em: 29 jul. 2023.
- LIMA, M. I. P. M.; SILVA, M. S.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E.; FÁVERO, L. Avaliação de giberela no Ensaio Estadual de Cultivares de Trigo, na região do planalto médio do Rio Grande do Sul, em 2014. – Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018. 15 p. – (**Documentos online / Embrapa Trigo, 180**). Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/207743/1/Doc180-ImaculadaCompleto.pdf, acesso em: 28 mai. 2023.
- LIMA, M. I. P. M. Giberela ou brusone? Orientações para a identificação correta dessas enfermidades em trigo e em cevada. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 42 p. (Embrapa Trigo. **Documentos online; 51**). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/849828. Acesso em: 14 mai. 2023.
- LIMA, M. I. P. M. Identificação prática de giberela em trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017. 14 p. (**Embrapa Trigo. Documentos online, 176**). Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172470/1/ID44296-2017DO176.pdf. Acesso em: 28 mai. 2023.

LIMA, M. I. P. M. Giberela. *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*). In: LAU, D.; SBAL-CHEIRO, 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. (Org.). Principais doenças do trigo no sul do Brasil: diagnóstico e manejo. Passo Fundo, RS. Dezembro, 2020. (Embrapa Trigo. **Comunicado Técnico Online**, 375). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1129989>, acesso em: 01 mai. 2023.

LIU, J.; JIANG, J.; GUO, X.; QIAN, L.; XU, J.; CHE, Z.; CHEN, G.; LIU, S. Sensitivity and Resistance Risk Assessment of *Fusarium graminearum* from Wheat to Prothioconazole. **Plant Disease**, v. 106, n. 8, p. 2097-2104, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-21-2684-RE>. Acesso em: 16 jul. 2023.

LOGRIECO, A. F.; MILLER, J. D.; ESKOLA, M.; KRŠKA, R.; AYALEW, A.; BANDYOPADHYAY, R.; BATTILANI, P.; BHATNAGAR, D.; CHULZE, S.; DE SAEGER, S.; LI, P.; PERRONE, G.; POAPOLATHEP, A.; RAHAYU, E. S.; SHEPHARD, G. S.; STEPMAN, F.; ZHANG, H.; LESLIE, J. F. The mycotox charter: Increasing awareness of, and concerted action for, minimizing mycotoxin exposure worldwide. **Toxins**, v. 10, n. 4, p. 149, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins10040149>, acesso em: 15 jun. 2023.

MA, Z.; XIE, Q.; LI, G.; JIA, H.; ZHOU, J.; KONG, Z.; LI, N.; YUAN, Y. Germplasm, genetics and genomics for better control of disastrous wheat *Fusarium* head blight. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 133, p. 1541–1568, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03525-8>. Acesso em: 12 jul. 2023.

MAKANDAR, R., NALAM, V., LEE, H., TRICK, H., DONG, Y., & SHAH, J. Salicylic Acid Regulates Basal Resistance to *Fusarium* Head Blight in Wheat. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 25 n. 3, p. 431–439, 2012. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1094/MPMI-09-11-0232>, acesso em: 20 mai. 2023.

MARIN, S.; RAMOS, A. J.; CANO-SANCHO, G.; SANCHIS, V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 60, p. 218-237, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MCMULLEN, M.; BERGSTROM, G.; DE WOLF, E.; DILL-MACKY, R.; HERSHMAN, D.; SHANER, G.; SANFORD, D. V.; A Unified Effort to Fight an Enemy of Wheat and Barley: *Fusarium* Head Blight. **Plant Disease**, v. 96 n. 12, p. 1712-1728, 2012. <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1094/PDIS-03-12-0291-FE>, acesso em: 07 jul. 2023.

MCMULLEN, M.; JONES, R.; GALLENBERG, D. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. **Plant Disease**, v. 81, n. 12, p. 1340-1348, Feb. 1997. DOI 10.1094/ PDIS.1997.81.12.1340. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1094/PDIS.1997.81.12.1340>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MEENA, V. D.; DOTANIYA, M. L.; COUMAR, V. A.; RAJENDIRAN, S.; AJAY.; KUNDU, S.; SUBBA RAO, A. Case for Silicon Fertilization to Improve Crop Yields in Tropical Soils. Proc. Natl. Acad. Sci., India, **Sect. B Biol. Sci.** v. 84, n. 3, p. 505-518, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40011-013-0270-y>. Acesso em: 21 ago. 2023.

MIGUEL-ROJAS, C.; CAVINDER, B.; TOWNSEND, J. P.; TRAIL, F. Comparative Transcriptomics of *Fusarium graminearum* and *Magnaporthe oryzae* Spore Germination Leading up

To Infection. **mBio**, v. 14, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/mbio.02442-22>. Acesso em: 22 mai. 2024.

MITCHELL, N. J.; BOWERS, E.; HURBURGH, C.; WU, F. Potential economic losses to the US corn industry from aflatoxin contamination. **Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess**, v. 33, n. 3, p. 540–550, 2016. Disponível em: 10.1080/19440049.2016.1138545, acesso em: 25 jun. 2023.

MORAES, W. B.; MADDEN, L. V.; GILLESPIE, J.; PAUL, P. A. Environment, Grain Development, and Harvesting Strategy Effects on Zearalenone Contamination of Grain from Fusarium Head Blight-Affected Wheat Spikes. **Phytopathology**, v. 13, n. 2, p. 225-238, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-22-0190-R>. Acesso em: 16 jul. 2023.

NELSON, R. International Plant Pathology: Past and Future Contributions to Global Food Security. **Phytopathology**, v. 110, n. 2, p. 245-253, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-19-0300-IA>. Acesso em: 11 jul. 2023.

NICOLLI, C. P.; ANDRADE, B. C. de.; TIBOLA, C. S. Espécies micotoxigênicas e as principais micotoxinas no trigo. In: Tibola, C. S.; Fernandes, J. M. C. (Org.). **Micotoxinas no trigo: Estratégias de manejo para minimizar a contaminação**. 1ed. Passo Fundo: Editora Embrapa-Trigo, 2020, v. 1, p. 23-37.

OLIVEIRA, C. A. F. de.; CORASSIN, C. H.; CORRÊA, B.; OSWALD, I. P. (2014). Animal Health: Mycotoxins. In: VAN ALFEN, N. K. (ed). **Encyclopedia of agriculture and food systems**, London: Academic Press, 2014, pp. 358–377. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00200-X>, acesso em: 07 jul. 2023.

OSÓRIO, E. A.; PIEROBOM, C. R.; LUZZARDI, G. C.; FRANCO, L. B. Correlação de suscetibilidade à giberela com caracteres da planta de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 2, p. 111-114, 1998.

PANISSON, E.; REIS, E. M.; BOLLER, W. Quantificação de danos causados pela Giberela em cereais de inverno, na safra 2000, em Passo Fundo, RS. **Fitopatologia Brasileira**. v. 28, p. 189-192. 2003.

PARISI, M.; ALIOTO, D.; TRIPODI, P. Overview of Biotic Stresses in Pepper (*Capsicum* spp.): Sources of Genetic Resistance, Molecular Breeding and Genomics. **Int. J. Mol. Sci**, v. 21, n. 7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms21072587>. Acesso em: 16 set. 2023.

PARK, J.; CHANG, H.; KIM, D.; CHUNG, S.; LEE, C. Long-Term Occurrence of Deoxynivalenol in Feed and Feed Raw Materials with a Special Focus on South Korea. **Toxins**, v. 10, n. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins10030127>. Acesso em: 06 jul. 2023.

PARRY, D. W.; JENKINSON, P.; McLEOD, L. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals - a review. **Plant Pathology**, v. 44, n. 2, p. 207-238, April 1995. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02773.x>. Acesso em: 17 jul. 2023.

PESTKA, J. J.; SMOLINSKI, A. T. Deoxynivalenol: Toxicology and Potential Effects on Humans. **Journal of Toxicology and Environmental Health**. v. 8, n. 1, p. 39-69, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10937400590889458>. Acesso em: 06 jul. 2023.

PINHEIRO, P. R.; NUNES, L. R. D. L.; PINHEIRO, C. L.; ABUD, H. F.; TORRES, S. B. DUTRA, A. S. Potassium silicate as an inducer of abiotic stress resistance in grain sorghum seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220025>. Acesso em: 06 ago. 2023.

POONIYAN, S.; KOUR, S.; YADAV, KK.; GORA, R.; CHADHA, D.; CHOUDHARY, S. Silicon Status in Soils and Their Benefits in Crop Production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, n. 13, p. 1887–1895, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2211105>. Acesso em: 30 jul. 2023.

POWELL, A. J.; KIM, S. H.; CORDERO, J.; VUJANOVIC, V. Protocooperative Effect of Sphaerodes mycoparasitica Biocontrol and Crop Genotypes on FHB Mycotoxin Reduction in Bread and Durum Wheat Grains Intended for Human and Animal Consumption. **Microorganisms**, v. 11, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010159>. Acesso em: 10 jul. 2023.

QIAN, H.; DU, J.; CHI, M.; SUN, X.; LIANG, W.; HUANG, J.; LI, B. The Y137H mutation in the cytochrome P450 FgCYP51B protein confers reduced sensitivity to tebuconazole in Fusarium graminearum. **Pest. Manag. Sci**, v. 74, n. 6, p. 1472-1477, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4837>. Acesso em: 16 jul. 2023.

RAMOS GIRONA, A. J.; SILLUÉ, S. M.; GAHETE, F. M.; DONAT, P. V.; ALMENAR, V. S. Las micotoxinas: el enemigo silencioso. **Arbor**, v. 196, n. 795, 2020. Disponível em: <https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/2354>. Acesso em: 10 jun. 2023.

REIS, E. M.; BLUM, M. M. C.; CASA, R. T.; MEDEIROS, C. A. Grain losses caused by the infection of wheat heads by *Gibberella zeae* in southern Brazil, from 1984 to 1994. **Summa Phytopathologica**. v.22, p. 134-137, 1996.

REIS, E. M.; BOARETO, C.; DANELLI, A. L. D.; ZOLDAN, S. M. Anthesis, the infectious process and disease progress curves for fusarium head blight in wheat. **Summa Phytopathologica**, v.42, n.2, p.134-139, 2016.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; FORCELINI, C. A. Doenças do trigo (*Triticum aestivum* L.) *In*: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia**. 4ª. ed. São Paulo: Ceres, v.2, p.675. 1997.

REYES, V. P. Fantastic genes: where and how to find them? Exploiting rice genetic resources for the improvement of yield, tolerance, and resistance to a wide array of stresses in rice. **Funct Integr Genomics**, v. 23, n. 238, 2023. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10142-023-01159-0>. Acesso em: 16 set. 2023.

REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>. Acesso em: 29 jul. 2023.

- RICHARD, J. L. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses-an overview. **International Journal of Food Microbiology**. v. 119, n. 1, p. 3-10, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.019>, acesso em: 10 jun. 2023.
- RIZWAN, M.; ALI, S.; IBRAHIM, M.; FARID, M.; ADREES, M.; BHARWANA, S. A.; ZIA-UR-REHMAN, M.; QAYYUM, M. F.; ABBAS, F. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 20, p. 15416-15431, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5305-x>. Acesso em: 06 ago. 2023.
- SANTANA, F. M.; LAU, D.; MACIEL, J. L. N.; CARGNIN, A.; SEIXAS, C. D. S.; BAS-SOI, M. C.; SCHIPANSKI, C. A.; FEKSA, H.; CASA, R. T.; WESP, C.; NAVARINI, L.; BLUM, M. Eficiência de fungicidas para controle de giberela em trigo: resultados dos ensaios cooperativos - safra 2011. Passo Fundo, RS. 2012 (**Comunicado Técnico**).
- SANTANA, F. M.; LAU, D.; SBALCHEIRO, C. C.; SCHIPANSKI, C. A.; VENANCIO, W. S.; DALLAGNOL, L. J.; WESP, C.; KUHNEM JUNIOR, P. R.; CHAGAS, D. **Eficiência de fungicidas para controle de giberela do trigo: resultados dos ensaios cooperativos - safra 2018**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020. 19 p. 2020. (Circular Técnica N° 52).
- SANTOS, C. M. R. Sementes de trigo. Companhia Nacional de Abastecimento - A cultura do trigo. (Org.) OLIVEIRA NETO, A. A. de; SANTOS, C. M. R. Brasília: Conab, 2017.
- SAUDY, H. S.; SALEM, E. M. M.; ABD EL-MOMEN, W. R. Effect of Potassium Silicate and Irrigation on Grain Nutrient Uptake and Water Use Efficiency of Wheat Under Calcareous Soils. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 3, p. 647-654, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00729-9>. Acesso em: 06 ago. 2023.
- SAVARY, S.; WILLOCQUET, L.; PETHYBRIDGE, S. J.; ESKER, P.; MCROBERTS, N.; NELSON, A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, n. 3, p. 430-439, 2019.
- SCAGLIONI, P. T.; FURLONG, E. B. Mitigação da contaminação fúngica e produção de micotoxinas em cultivos de trigo e milho pela aplicação de extratos de microalgas. *In*: Nogueira, W. V. (Org.). **Realidades e Perspectivas em Ciência dos Alimentos**. 1ed. Nova Xavantina: Pantanal, 2020, v. 1, p. 6-29.
- SCHMALE III, D. G.; BERGSTROM, G. C. Giberela ou fusariose da espiga do Trigo. **The American Phytopathological Society (APS)**. Portuguese Translation by Emerson M. Del Ponte 2006. 2003. Disponível em: <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/fungas-lasco/pdlessons/Pages/FusariumPort.aspx> Acesso em: 23 abr. 2023.
- SCHMALE, D. G.; ROSS, S. D.; FETTERS, T. L.; TALLAPRAGADA, P.; WOOD-JONES, A. K.; DINGUS, B. Isolates of *Fusarium graminearum* collected 40–320 meters above ground level cause *Fusarium* head blight in wheat and produce trichothecene mycotoxins. **Aerobiologia**, v. 28, p. 1-11, 2012. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10453-011-9206-2>. Acesso em: 19 jan. 2024.

- SCHULTZ, B.; BORA, K. C.; NOGUEIRA, A. C.; AUER, C. G. Uso do silicato de potássio no controle de oídio em mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 32, n. 69, p. 93-99, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/923679/uso-do-silicato-de-potassio-no-controle-de-oidio-em-mudas-de-eucalyptus-benthamii>. Acesso em: 30 jul. 2023.
- SERRANO-COLL, H. A.; CARDONA-CASTRO, N. Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. **CES Medicina**. v. 29, n. 1, p. 143-151, 2015. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-87052015000100012&lng=en&nrm=iso, acesso em: 10 jun. 2023.
- SHAH, D. A.; DE WOLF, E. D.; PAUL, P. A.; MADDEN, L. V. Functional data analysis of weather variables linked to Fusarium head blight epidemics in the United States. **Phytopathology**. v. 109, n. 1, p. 96-110, 2019. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-17-0386-R>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- SHAH, L.; ALI, A.; YAHYA, M.; ZHU, Y.; WANG, S.; SI, H.; RAHMAN, H.; MA, C. Integrated control of fusarium head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat. **Plant Pathol**, v. 67, n. 3, p. 532-548, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppa.12785>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- SHANK, R. A.; FOROUD, N. A.; HAZENDONK, P.; EUDES, F.; BLACKWELL, B. A. Current and Future Experimental Strategies for Structural Analysis of Trichothecene Mycotoxins—A Prospectus. **Toxins**, v.3, n. 12, p.1518-1553, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins3121518>, acesso em: 13 jun. 2023.
- SHUDE, S. R. N.; YOBO, K. S.; MBILI, N. C. Progress in the management of Fusarium head blight of wheat: An overview. **South African Journal of Science**, Pretoria, v. 116, n. 11-12, p. 1-7, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2020/7854>. Acesso em: 21 mai. 2023.
- SILVA, F. J. A.; MICHEREFF, S. J. Quantificação de Fitobacterioses. In: GAMA, M. A. S.; NICOLI, A.; GUIMARÃES, L. M. P.; LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (ORG.). **Estado da arte em fitobacterioses tropicais**. 1. ed. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2016. p. 83-106.
- SINGH, J.; CHHABRA, B.; RAZA, A.; YANG, S. H.; SANDHU, K. S. Important wheat diseases in the US and their management in the 21st century. **Frontiers in Plant Science**. v. 13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1010191>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- SMITH, W. G. New Diseases of Wheat, Barley, and Rye-grass, caused by Fusisporium culmorum, horde, and Lolii. **Diseases of Field and Garden Crops: Chiefly such as are Caused by Fungi**, ed. WG Smith (New London: MacMillan and Co), p. 208-213, 1884.
- SONG, X. P.; VERMA, K. K.; TIAN, D. D. ZHANG, X. Q.; LIANG, Y. J.; HUANG, X.; LI, C. N. LI, Y. R. Exploration of silicon functions to integrate with biotic stress tolerance and crop improvement. **Biological Research**, v. 54, n. 19, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40659-021-00344-4>. Acesso em: 30 jull. 2023.

SPANIC, V.; MARICEVIC, M.; IKIC, I.; SULYOK, M.; SARCEVIC, H. Three-Year Survey of Fusarium Multi-Metabolites/Mycotoxins Contamination in Wheat Samples in Potentially Epidemic FHB Conditions. **Agronomy**, v. 13, n. 3, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13030805>, acesso em: 13 jun. 2023.

TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C. Contaminação do trigo por micotoxinas. *In*: TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C. (Org.). **Micotoxinas no trigo: estratégias de manejo para minimizar a contaminação**. Brasília, DF: Embrapa Trigo, 2020, v. 1, p. 11-22.

TILLEY, M. S.; HEINIGER, R. W.; CROZIER, C. R. Measuring tiller development and mortality in winter wheat under field conditions. **Agrosystems, Geosciences & Environment**. v. 2, n. 1, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.2134/age2018.12.0066>. Acesso em 21 mar. 2024.

TRAIL, F. For Blighted Waves of Grain: *Fusarium graminearum* in the Postgenomics Era. **Plant Physiology**. v. 149, n. 1, p. 103-110, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.108.129684>. Acesso em: 28 mai. 2023.

TRAIL, F.; XU, H.; LORANGER, R.; GADOURY, D. Physiological and environmental aspects of ascospore discharge in *Gibberella zeae* (anamorph *Fusarium graminearum*) **Mycologia**, v. 94, n. 2, p.181-189, 2002. Disponível em: DOI: 10.1080/15572536.2003.1183322. Acesso em: 20 mai. 2023.

USDA – United States Department of Agriculture. 2023. **Foreign Agricultural Service**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em 02 jun. 2024.

VAN COLLER, G. J.; ROSE, L. J.; BOUTIGNY, A. L.; WARD, T. J.; LAMPRECHT, S. C.; VILJOEN, A. The distribution and type B trichothecene chemotype of *Fusarium* species associated with head blight of wheat in South Africa during 2008 and 2009. **PLoS ONE**, v. 17, n. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275084>. Acesso em: 04 jul. 2023.

WACHOWSKA, U.; PLUSKOTA, W.; JASTRZĘBSKI, J. P.; GŁOWACKA, K.; STUPER, K. S.; BALCERZAK, M. A method for reducing the concentrations of *Fusarium graminearum* trichothecenes in durum wheat grain with the use of *Debaryomyces hansenii*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 397, n. 16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110211>. Acesso em: 04 jul. 2023.

WANG, M.; GAO, L.; DONG, S.; SUN, Y.; SHEN, Q.; GUO, S. Silicon, plant-pathogen interactions, Physical, biochemical, molecular, Defense response. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>. Acesso em: 19 ago. 2023.

WEGULO, S. N.; BAENZIGER, P. S.; HERNANDEZ NOPSA, J.; BOCKUS, W. W.; HALLEN-ADAMS, H. Management of *Fusarium* Head Blight of Wheat and Barley. **Crop Prot**, v. 73, p.100–107, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.025>. Acesso em: 17 jul. 2023.

WESP-GUTERRES, CAROLINE; SANTANA, F. M. Estratégias de manejo pré colheita para reduzir contaminação de trigo por micotoxinas. *In*: Tibola, C. S.; Fernandes, J. M. C. (Org.).

Micotoxinas no trigo: Estratégias de manejo para minimizar a contaminação. 1ed. Passo Fundo: Editora Embrapa-Trigo, 2020, v. 1, p. 38-50.

WOLF, C. E.; BULLERMAN, L. B. Heat and pH alter the concentration of deoxynivalenol in an aqueous environment. **Journal of Food Protection**, v. 61, n. 3, p. 365-367, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-61.3.365>. Acesso em: 06 jul. 2023.

WU, FELICIA. Measuring the economic impacts of Fusarium toxins in animal feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 137, n. 3-4, p. 363-374, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.010>, acesso em: 25 jun. 2023.

XU, F.; LIU, W.; SONG, Y.; ZHOU, Y.; XU, X.; YANG, G.; WANG, J.; ZHANG, J.; LIU, L. The Distribution of Fusarium graminearum and Fusarium asiaticum Causing Fusarium Head Blight of Wheat in Relation to Climate and Cropping System. **Plant Disease**, v. 105, n. 10. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-21-0013-RE>. Acesso em: 12 jul. 2023.

ZHANG, D.; CHEN, G.; ZHANG, H.; JIN, N.; GU, C.; WENG, S.; WANG, Q.; CHEN, Y. Integration of spectroscopy and image for identifying fusarium damage in wheat kernels. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 236, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118344>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ZHANG, H.; VAN DER LEE, T.; WAALWIJK, C.; CHEN, W. Q.; XU, J.; XU, J. S.; ZHANG, Y.; FENG, J. Population analysis of the Fusarium graminearum species complex from wheat in China show a shift to more aggressive isolates. **PLoS One**, v. 7, n. 2, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031722>. Acesso em: 12 jul. 2023.

ZHANG, P.; ZHU, Y.; MA, D.; XU, W.; ZHOU, J.; YAN, H.; YANG, L.; YIN, J. Screening, Identification, and Optimization of Fermentation Conditions of an Antagonistic Endophyte to Wheat Head Blight. **Agronomy**, v. 9, n. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy9090476>. Acesso em: 11 jul. 2023.

ZHAO, Y.; SELVARAJ, J. N.; XING, F.; ZHOU, L.; WANG, Y.; SONG, H.; TAN, X.; SUN, L.; SANGARE, L.; FOLLY, Y. M. E.; LIU, Y. Antagonistic action of bacillus subtilis strain sg6 on fusarium graminearum. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092486>. Acesso em: 17 jul. 2023.

ZHOU, F.; ZHOU, H.-H.; HAN, A.-H.; GUO, K.-Y.; LIU, T.-C.; WU, Y.-B.; HU, H.-Y.; LI, C.-W. Mechanism of Pydiflumetofen Resistance in Fusarium graminearum in China. **J. Fungi**, v. 9, n. 62, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jof9010062>. Acesso em: 16 jul. 2023.

ZHOU, H.; GUOG, T.; DAI, H.; YU, Y.; ZHANG, Y.; MA, L. Deoxynivalenol: toxicological profiles and perspective views for future research. **World Mycotoxin Journal**, v. 13, n. 2, p. 179-188, 2020. 1–10. Disponível em: <https://doi.org/10.3920/WMJ2019.2462>. Acesso em: 06 jul. 2023.

ZINGALES, V.; FERNÁNDEZ-FRANZÓN, M.; RUIZ, M. J. Occurrence, mitigation and in vitro cytotoxicity of nivalenol, a type B trichothecene mycotoxin – Updates from the last decade (2010–2020). **Food and Chemical Toxicology**, v. 152, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112182>. Acesso em: 07 jul. 2023.

CAPÍTULO II: VIABILIDADE TÉCNICA DA INTEGRAÇÃO DE RESISTÊNCIA GENÉTICA, FUNGICIDA E SILICATO DE POTÁSSIO NO MANEJO DA GIBERELA DO TRIGO EM CONDIÇÕES IRRIGADA E DE SEQUEIRO

RESUMO

A giberela do trigo (*Gibberella zeae* Schwein, *Fusarium graminearum*), é uma das mais importantes doenças desse cereal no mundo, ocasionando danos nos grãos na forma de atrofia, redução de peso e descoloração. Além de causar perda de rendimento, também ocasiona a contaminação dos grãos por micotoxinas, colocando em risco a saúde humana e animal. Assim, o manejo da doença é um enorme desafio para a triticultura mundial. Nenhuma estratégia utilizada de forma isolada promove redução satisfatória da intensidade da doença e da concentração das micotoxinas em condições favoráveis ao desenvolvimento do patógeno. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da integração de fungicidas, resistência genética e silício no manejo da giberela, em sistema de produção irrigado e sequeiro. Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições e quatro tratamentos, a saber: T1 – Aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2 – Aplicação de Fungicida (F); T3 – Aplicação de Silicato de Potássio (SK) e T4 – Controle (sem aplicação F e SK). Em todos os experimentos foram quantificadas a incidência, severidade, índice de giberela, peso de mil sementes e produtividade. Após proceder análise da variância e teste de Tukey ($p < 0,05$) verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Palavras-chave: *Gibberella zeae*. Controle químico. Variedade resistente. Silicato de potássio.

ABSTRACT

Wheat fusarium head blight (*Gibberella zae* Schwein, *Fusarium graminearum*) is one of the most significant diseases affecting this cereal worldwide, causing damage to grains in the form of shrinkage, weight reduction, and discoloration. In addition to yield loss, it also leads to grain contamination with mycotoxins, posing a risk to human and animal health. Thus, managing the disease is a significant challenge for global wheat cultivation. No single strategy used in isolation provides satisfactory reduction in disease intensity and mycotoxin concentration under conditions favorable to pathogen development. The objective of this study was to evaluate the technical feasibility of integrating fungicides, genetic resistance, and silicon in the management of Fusarium Head Blight in both irrigated and rainfed production systems. The experiments were conducted in a randomized block design with three replications and four treatments, namely: T1 – Application of Fungicide + Potassium Silicate (F + PS); T2 – Application of Fungicide (F); T3 – Application of Potassium Silicate (PS); and T4 – Control (no F and PS application). In all experiments, incidence, severity, Gibberella index, thousand kernel weight, and productivity were quantified. After performing variance analysis and Tukey's test ($p < 0.05$), it was found that there was no significant difference between the treatments.

Keywords: *Gibberella zae*. Chemical control. Resistant variety. Potassium silicate.

1 INTRODUÇÃO

A Giberela do trigo ou fusariose da espiga, também conhecida como ferrugem da orelha do *Fusarium* ou como sarna da cabeça (Alisaac e Mahlein, 2023). É causada pelo fungo (*Gibberella zae* Schwein) cuja forma imperfeita é o *Fusarium graminearum* Schwabe, é uma das mais importantes doenças desse cereal no mundo (SANTANA *et al.*, 2012; SAVARY *et al.*, 2019). É classificada como o “quarto patógeno fúngico mais importante em todo o mundo”, não podendo em hipótese alguma ser subestimada (DEAN *et al.*, 2012; SHUDE *et al.*, 2020; ABBAS *et al.*, 2022).

O patógeno acomete espigas e os grãos de trigo, causando danos nos grãos na forma de atrofia, redução de peso e descoloração, resultando em perdas significativas de rendimento e qualidade (ZHANG *et al.*, 2020). Por se tratar de uma doença extremamente agressiva e de fácil dispersão, os danos e prejuízos causados as lavouras podem comprometer grande parte da produção. A giberela é uma doença fúngica e com severo poder devastador para o trigo,

portanto além de causar perda de rendimento, também ocasiona a contaminação dos grãos com micotoxinas, como desoxinivalenol (DON) e zearalenona (ZEN), ameaçando a saúde humana e animal (DRAKOPOULOS *et al.*, 2020). O DON é considerado a principal micotoxina da cultura do trigo, é membro da família de micotoxinas denominada tricotecenos. Sua ocorrência está associada primordialmente à espécie de fungos do complexo *F. graminearum*, sendo o agente causal da giberela do trigo (BERNARDI *et al.*, 2018).

De acordo com Zhou *et al.* (2023) em função da ausência de variedades de trigo que apresente característica efetivamente estáveis de alta resistência ao Fusarium, a aplicação de fungicidas sintéticos continua sendo a estratégia de manejo mais eficaz para controlar a giberela. Neste sentido Powell *et al.* (2023) argumentam que a aplicação foliar de fungicidas sintéticos é o método mais amplamente preconizado para controlar o fusarium e as micotoxinas, isto se dá em função da falta de resistência ao *F. graminearum* nas cultivares modernas contra as linhagens altamente virulentas.

Por outro lado, lamentavelmente o uso inadequado e excessivo por um longo período de tempo de alguns princípios ativos, já levou ao surgimento de resistência a alguns dos principais fungicidas, incluindo carbendazim e tebuconazol, em populações de campo de *F. graminearum* (QIAN *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2022; ZHOU *et al.*, 2023).

Duffeck *et al.* (2020), comentam que o método mais efetivo para controlar a doença da giberela no trigo é a integração de várias práticas em conjunto e não o uso de somente uma estratégia de manejo. A implementação de medidas culturais destinadas a reduzir o inóculo local, o uso de cultivares geneticamente mais resistentes, aliadas a pulverizações de fungicidas apresentam maior efetividade de controle quando realizadas em conjunto. Contudo, a busca por novos insumos que apresentem potencial de controle e ao mesmo tempo menor impacto ambiental e a saúde humana se faz necessário.

Neste sentido alguns produtos à base de silício (Si) têm instigado a atenção e o interesse de pesquisadores por agirem como indutor de resistência a certas doenças (SCHULTZ *et al.*, 2012). Dentre esses produtos o silicato de potássio (SK) apresenta-se como um insumo interessante em função de ser uma alternativa ao controle químico e também por proporcionar benefícios nutricionais as plantas (VIEIRA *et al.*, 2016).

A respeito da ação do Si como indutor de resistência para as plantas, Deliopoulos *et al.* (2010) comentam que a supressão de doenças fúngicas pela fertilização com Si parece estar associada tanto ao estímulo dos mecanismos naturais de defesa da planta, quanto ao fortalecimento das paredes celulares, o que cria uma barreira natural à penetração fúngica.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi analisar a epidemiologia da giberela do trigo elucidando o papel de diferentes estratégias de manejo, neste caso comparando o efeito de fungicida, silicato de potássio e suas integrações em sistema de produção irrigado e sequeiro, a fim de mitigar os efeitos danosos e nocivos à cultura do trigo provenientes do fungo *Gibberella zeae*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida no *campus* Lagoa do Sino da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, município de Buri, SP, latitude: 23°36'4.65"S, longitude: 48°31'25.53"O e altitude: 637 m, localizado no Sudoeste Paulista (Figura 6) em área experimental de 0,5 hectares irrigado e 0,5 hectares sequeiro. O clima da região é classificado como do tipo “Cwa”, conforme classificação climática de Köppen, caracterizado por inverno seco com temperaturas inferiores a 18 °C e verão quente com temperaturas superiores a 22 °C, e precipitação total anual média de 1.300 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, álico, relevo suave ondulado (ROSSI, 2017).

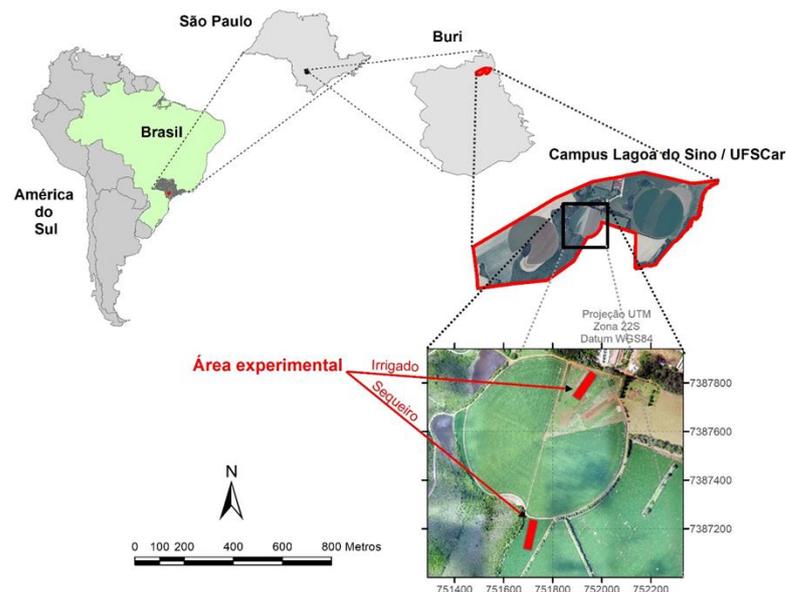


Figura 6 – Localização dos experimentos, *campus* UFSCar Lagoa do Sino

Fonte: André Toledo, (CePE-Geo) – a pedido do autor

2.1.1 Delineamento Experimental

Os experimentos foram realizados envolvendo combinações entre “ano” (2022 – plantio em 16/05/2022 e 2023 – plantio em 08/05/2023), sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) e cultivares (moderadamente resistente - MR e susceptível - S), resultando em 8 experimentos (Figura 7). Em todos os experimentos foi empregado delineamento em blocos ao acaso, com três repetições e os seguintes tratamentos: T1 – aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2 – aplicação de Fungicida (F); T3 – aplicação de Silicato de Potássio (SK) e T4 – Controle (sem pulverização de fungicida e silicato de potássio).

Experimento	Ano		Sistema de Cultivo		Cultivar	
	2022	2023	Irrigado	Sequeiro	MR	S
1	■		■		■	
2	■		■			■
3	■			■	■	
4	■			■		■
5		■	■		■	
6		■	■			■
7		■		■	■	
8		■		■		■

Figura 7 – Esquema representativo dos experimentos, distribuídos entre ano, sistema de cultivo e cultivar.

* MR e S – significam cultivar moderadamente resistente e suscetível, respectivamente.

A área total da parcela experimental foi de 15 m² (2,5 m x 6 m), com espaçamento entre linhas de 0,17 m e densidade de semeadura de 300 a 350 plantas/m². Para evitar interferência entre os tratamentos, foram descartados três linhas de plantio de cada lateral e 0,5 m entre o início e fim de cada parcela amostral.

Para realização do plantio foi utilizado trator 160 cv e semeadora de trigo de 24 linhas para plantio direto. A adubação de base foi realizada empregando-se 300 kg/ha do fertilizante 08-28-16 (N-P-K), e para adubação de cobertura 200 kg/ha de ureia 45% (N), realizada 38 dias após a semeadura, em todos os tratamentos.

Na área irrigada foram realizadas cinco irrigações via pivô central a partir da semeadura até a colheita, empregando-se lâminas de 12 milímetros e duração de 30 minutos cada. No

período compreendido entre extrusão das anteras e o término das mesmas foram realizadas três irrigações. Todas as irrigações foram realizadas no mesmo horário (09:30h da manhã).

Foi utilizado o fungicida trifloxistrobina (100 g/l) + tebuconazol (200 g/l) na dose de 0,75 l/ha, adicionado de óleo adjuvante metilado de soja na dose de 0,25% do volume de calda. O Silicato de Potássio (SK) empregado foi composto por Silício (Si) 12%, Potássio (K₂O) 12%, com densidade de 1,38 g/cm⁻³ e pH = 10,96, sendo utilizada dose de 1,5 L/ha⁻¹.

Para aplicação dos tratamentos foi empregado um pulverizador costal manual - JACTO®, com capacidade de 20 litros, com pressão máxima de trabalho de 75 psi, com ponta de pulverização de jato simples, utilizando bico tipo cone, calibrado para a aplicação de um volume de calda de 150 L/ha⁻¹.

2.1.2 Realização dos tratamentos

Os tratamentos foram aplicados em três momentos distintos, considerados de maior suscetibilidade do trigo à infecção, a saber: estágios 60 (pré-antese), 65 (antese) e 69 (pós-antese) da escala de Zadoks (ZADOKS et al., 1974).

2.1.3 Variáveis Analisadas

2.1.3.1 Quantificação da Intensidade da Giberela

A intensidade da giberela foi quantificada pela incidência, severidade e índice de giberela (LIMA et al., 1999; CASA et al., 2007) em 100 espigas coletadas ao acaso nas linhas centrais de cada parcela, no estágio de desenvolvimento 88 da escala fenológica de Zadoks et al. (1974). Nesta época, as espigas foram cortadas e levadas para o Laboratório de Fitopatologia. A incidência (INC) de FHB foi determinada através da porcentagem de espigas doentes do número total de espigas avaliadas. Foi considerada espiga doente (giberelada) aquela com a presença de, no mínimo, uma espiguetas infectada, apresentando sintomas característicos da doença. A severidade (SEV) foi determinada contando-se o número de espiguetas infectadas por espiga. Os dados de severidade foram expressos em porcentagem, obtidos do número médio de espiguetas gibereladas em função do número médio de espiguetas por espiga. O índice de giberela (IG) foi calculado de acordo com o modelo ajustado de Moschini *et al.* (2002), equação 1:

$$IG = (INC \times SEV) / 100 \quad (\text{equação 1})$$

Em que I é incidência e S é severidade.

2.1.3.2 Determinação do Rendimento Produtivo

O peso de mil sementes (PMS) foi determinado em balança eletrônica de precisão com três casas decimais. Para a determinação da produtividade de grãos (PROD) em kg/ha, utilizou-se um instrumento (quadro de madeira) com medidas de 1 m x 1 m, onde este foi lançado aleatoriamente sobre a área útil de cada parcela para colheita de todas as espigas que estavam dentro do quadro de 1m². Após a colheita a umidade de cada amostra foi ajustada para 13%.

2.1.4 Análise de dados

Para cada uma das variáveis (INC, SEVER, IG, PMS e PROD) foram realizadas análise de variância (ANOVA) utilizando o programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2019) seguidos do teste F (0,05 e 0,01) e Tukey (p<0,05).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIÁVEIS FITOPATOLÓGICAS

3.1.2 Intensidade da Giberela

A seguir serão apresentados os valores obtidos nas safras 2022 e 2023, entre os tratamentos T1, fungicida mais silicato de potássio (F + SK); T2, fungicida (F); T3, silicato de potássio (SK) e T4, controle, para a incidência, quando estes foram realizados em sistema irrigado (Figura 8 – A e B) e sequeiro (Figura 9 – A e B). Para severidade em sistema irrigado (Figura 10 – A e B) e sequeiro (Figura 11 – A e B) e, por fim, para o índice de giberela em sistema irrigado (Figura 12 – A e B) e em sistema sequeiro (Figura 13 – A e B).

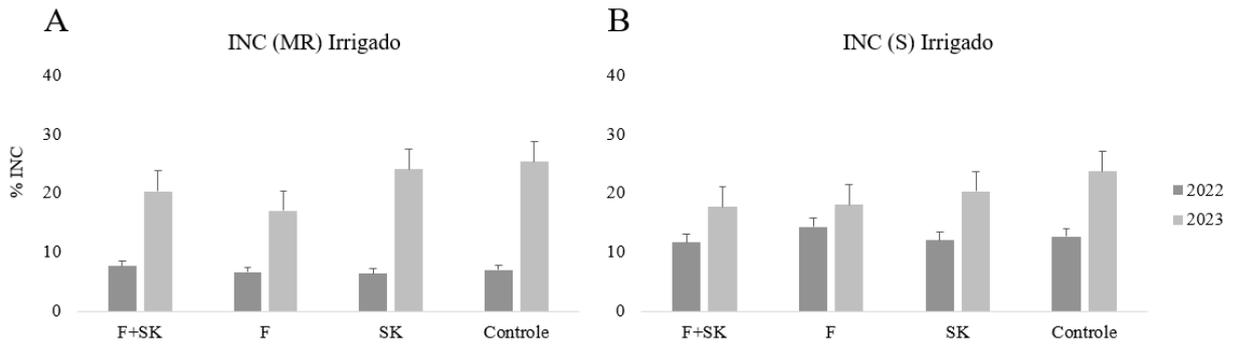


Figura 8 – Incidência da giberela (INC) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema irrigado. Barra vertical representa o erro padrão.

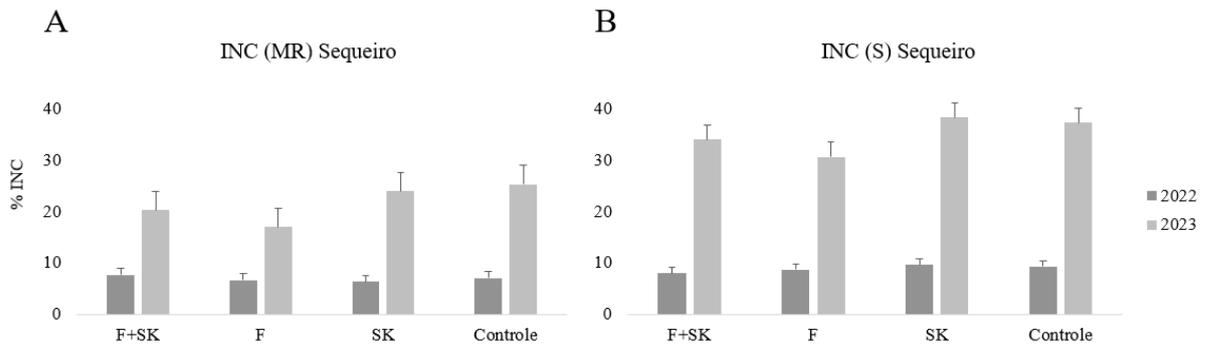


Figura 9 – Incidência da giberela (INC) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema sequeiro. Barra vertical representa o erro padrão.

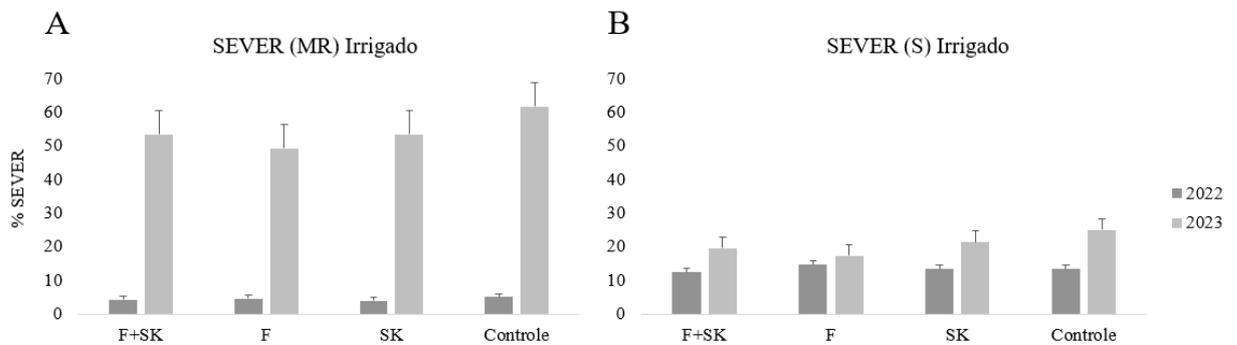


Figura 10 – Severidade da giberela (SEVER) entre os tratamentos (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”) no sistema irrigado. Barra vertical representa o erro padrão.

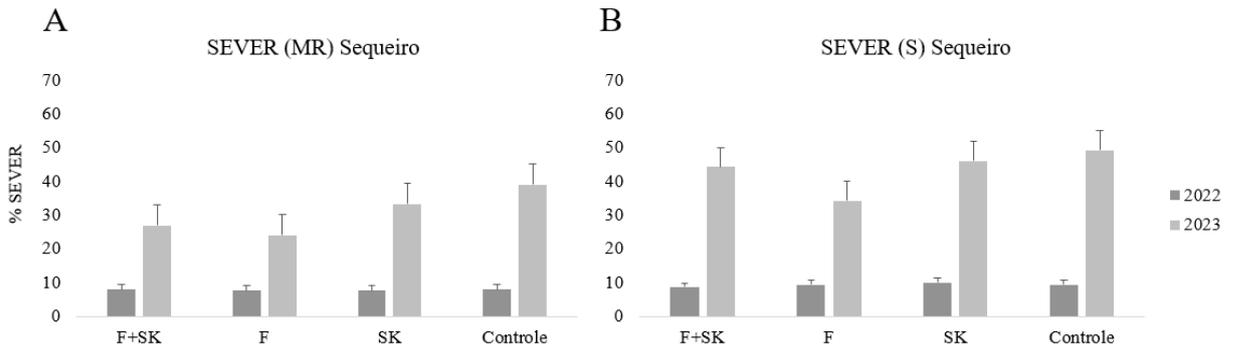


Figura 11 – Severidade da giberela (SEVER) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema sequeiro. Barra vertical representa o erro padrão.

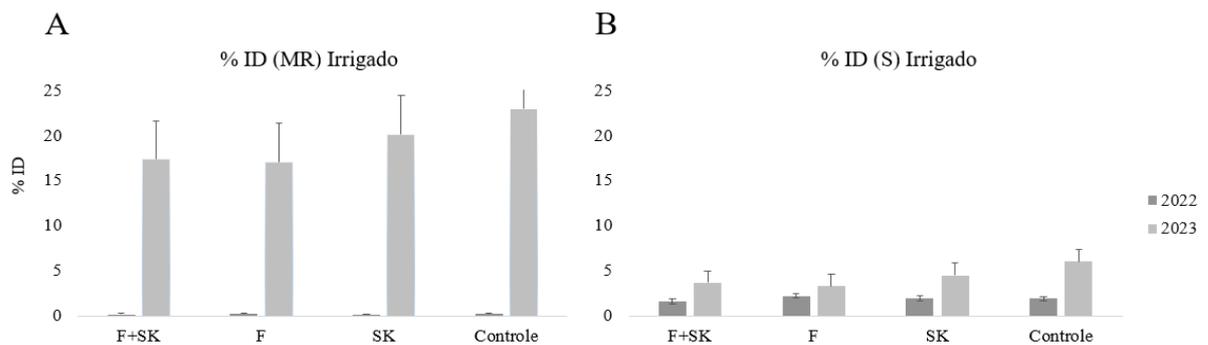


Figura 12 – Índice da doença da giberela (IG) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema irrigado. Barra vertical representa o erro padrão.

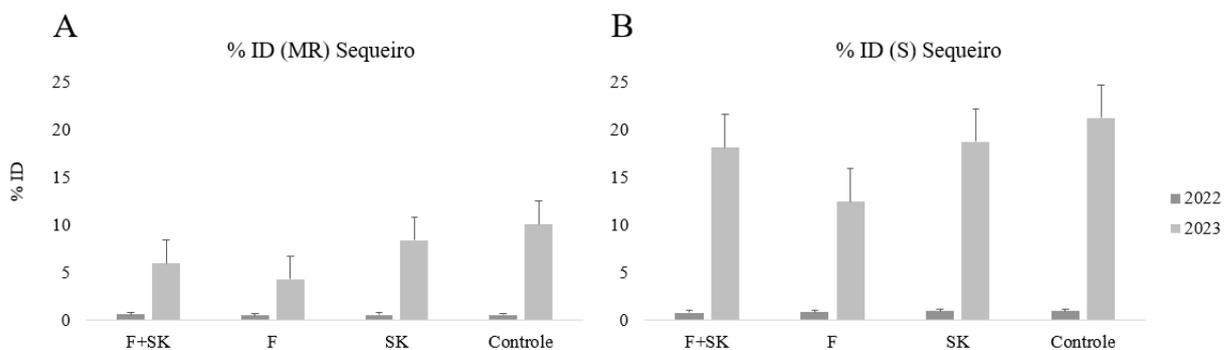


Figura 13 – Índice da doença da giberela (IG) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema sequeiro. Barra vertical representa o erro padrão.

Após proceder à análise de variância e teste de Tukey ($\alpha=0,05$), não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos em nenhum dos oito experimentos para as variáveis incidência (INC), severidade (SEVER) e índice de giberela (IG) tanto para cultivar MR quanto para a S, em sistema irrigado (Tabela 2) e em sistema sequeiro (Tabela 3).

Tabela 2 – Análise de variância e teste de Tukey para os efeitos de tratamentos nas cultivares moderadamente resistente (MR) e suscetível (S) para as variáveis incidência (INC), severidade (SEVER), índice de giberela (IG), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD) em sistema irrigado.

Ano	Variáveis	INC		SEVER		IG%		PMS (g)		PROD (kg/ha)	
		MR	S	MR	S	MR	S	MR	S	MR	S
2022	Irrigado										
	T1	3,66a	11,66a	4,33a	12,33a	0,18a	1,64a	33,86a	36,6a	4.040a	4.267a
	T2	4,66a	14,33a	4,66a	14,66a	0,24a	2,22a	33,7a	36,86a	4.667a	4.987a
	T3	3,33a	12,0a	4,0a	13,33a	0,17a	1,95a	33,27a	36,33a	5.800a	5.067a
	T4	4,33a	12,66a	5,0a	13,33a	0,21a	1,91a	33,29a	36,91a	4.680a	4.747a
	Média	4,0	12,66	4,5	13,41	0,20	1,93	33,53	36,68	4.797	4.767
	CV	35,6	19,02	41,4	16,67	62,28	24,17	1,67	1,88	21,25	13,86
	F	0,55 ^{NS}	0,72 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,78 ^N S	0,85 ^{NS}	0,44 ^{NS}	1,55 ^{NS}	0,89 ^{NS}
2023	Irrigado										
	T1	31,0a	17,66a	53,33a	19,66a	17,34a	3,67a	28,95a	29,97a	3.529a	3.424a
	T2	34,66a	18,0a	49,33a	17,33a	17,02a	3,28a	28,9a	29,17a	3.976a	3.407a
	T3	37,3a	20,33a	53,33a	21,33a	20,12a	4,51a	28,29a	29,86a	3.674a	3.585a
	T4	36,7a	23,66a	61,66a	25,0a	22,93a	6,05a	28,11a	29,23a	3.821a	3.140a
	Média	34,9	19,91	54,41	20,83	19,35	4,38	28,56	29,56	3.750	3.389
	CV	16,9	29,48	22,88	27,63	38,61	52,99	2,41	5,04	13,76	17,26
	F	0,70 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,84 ^N S	1,15 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,29 ^{NS}

* Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$), (NS) = Não Significativo. Os tratamentos foram: T1: aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2: aplicação de Fungicida (F); T3: aplicação de Silicato de Potássio (SK); T4: Controle negativo (sem aplicação de fungicida e silicato de potássio).

Tabela 3 – Análise de variância e teste de Tukey para os efeitos de tratamentos nas cultivares moderadamente resistente (MR) e suscetível (S) para as variáveis incidência (INC), severidade (SEVER), índice da doença da giberela (IG), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD) em sistema sequeiro.

Ano	Variáveis	INC		SEVER		IG%		PMS (g)		PROD (kg/ha)	
		MR	S								
2022	Cultivar										
	Sequeiro										
	T1	7,66a	8,0a	8,0a	8,66a	0,63a	0,83a	33,67a	37,26a	3,693a	3,627a
	T2	6,66a	8,66a	7,66a	9,33a	0,53a	0,88a	34,52a	36,48a	3,267a	3,973a
	T3	6,33a	9,66a	7,66a	10,0a	0,58a	1,0a	32,95a	37,34a	3,773a	4,027a
	T4	7,0a	9,33a	8,0a	9,33a	0,56a	0,98a	33,64a	36,86a	3,947a	4,080a
	Média	6,91	8,91	7,83	9,33	0,58	0,92	33,70	36,99	3,670	3,927
	CV	31,14	20,9	32,62	23,49	62,70	38,27	4,04	1,27	16,70	14,94
F	0,21 ^{NS}	0,47 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,04	0,15	0,66 ^{NS}	2,14 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,36 ^{NS}	
2023	Sequeiro										
	T1	20,33a	34,0a	27,0a	44,33a	6,01a	18,16a	24,77a	27,13a	2,371a	2,817a
	T2	17,0a	30,66a	24,0a	34,33a	4,34a	12,46a	24,63a	26,82a	2,349a	2,170a
	T3	24,0a	38,33a	33,33a	46,00a	8,46a	18,8a	25,32a	26,02a	2,165a	2,272a
	T4	25,33a	37,33a	39,0a	49,33a	10,09a	21,29a	25,5a	28,49a	2,266a	2,279a
	Média	21,66	35,08	30,83	43,50	7,22	17,67	25,06	27,11	2,288	2,385
	CV	28,96	14,15	34,05	23,11	58,52	34,46	3,3	3,31	10,42	16,15
	F	1,07 ^{NS}	1,47 ^{NS}	1,21 ^{NS}	1,23 ^{NS}	1,09 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,77 ^{NS}	3,94 ^{NS}	0,46 ^{NS}	1,73 ^{NS}

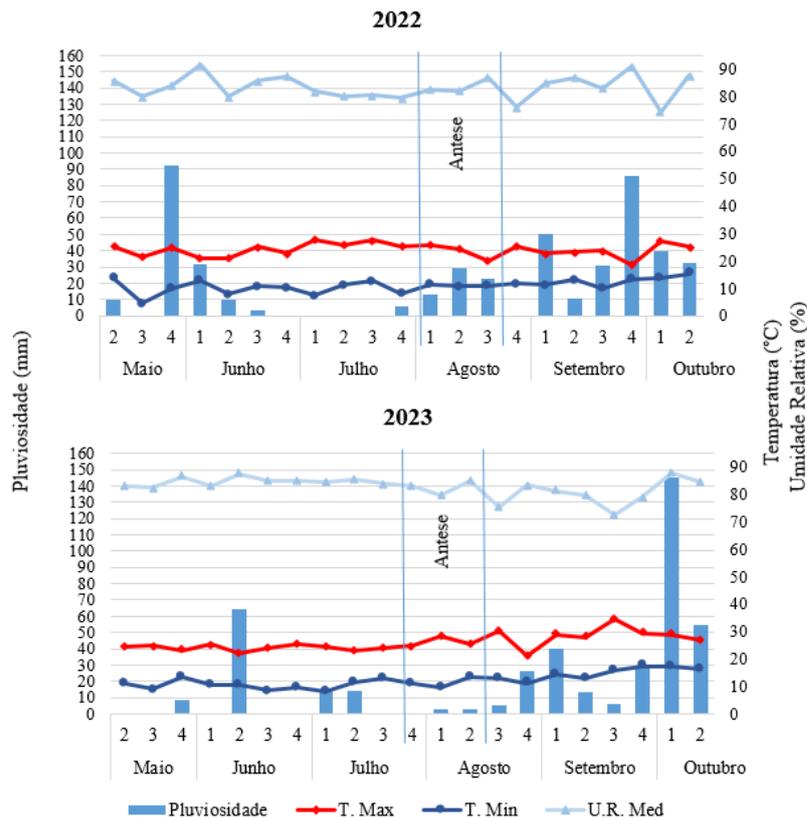
* Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$), (NS) = Não Significativo. Os tratamentos foram: T1: aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2: aplicação de Fungicida (F); T3: aplicação de Silicato de Potássio (SK); T4: Controle negativo (sem aplicação de fungicida e silicato de potássio).

Os experimentos com as duas cultivares foram independentes tanto no sistema irrigado, quanto no sistema sequeiro, ou seja, não foram casualizados entre si, e, portanto, foram analisados estatisticamente de forma autônoma. Contudo, eles foram semeados de forma contígua. Desse modo, pretendeu-se aproximar a execução dos experimentos da realidade encontrada em campo, visto que não é incomum produtores rurais semear em uma mesma gleba, mais de um material genético da mesma espécie dentro de uma mesma safra.

Não houve diferença estatística ao nível de significância de 5% para nenhum dos tratamentos em nenhum ano, tanto no experimento com a cultivar MR, quanto no experimento S nas duas condições de plantio, irrigado e sequeiro (Tabelas 2 e 3). Apesar disso, entendeu-se ser importante fazer algumas deduções a partir de uma discussão descritiva e atenciosa.

Como mencionado, não houve diferença estatística entre os tratamentos tanto no cultivo irrigado como no sequeiro. De modo geral os valores de incidência foram baixos no ano de 2022, independente de ser irrigado ou sequeiro (Figuras 8 e 9). Na safra 2023 houve nos dois ambientes, irrigado e sequeiro, significativo aumento da incidência em relação a 2022. Considerando que foram respeitadas as mesmas condições de plantio e manejo de um ano para o outro e como a giberela é uma doença extremamente influenciada pelo ambiente (SHAH *et al.*, 2019), atribuiu-se esse aumento as condições meteorológicas, visto que, em 2023 no estágio da pré-antese até antese completa, ocorreu a combinação dos fatores alta temperatura e umidade no ambiente. A temperatura média no período foi de 26,3 °C e a umidade relativa média foi de 82,6 %, valores superiores ao ano anterior (Figura 14).

Esse resultado está em consonância com os resultados observados por Getahun *et al.* (2022), quando constataram aumento significativo da incidência média da giberela de um ano para outro. Os autores relatam que no período crítico da doença a temperatura chegou aos 28,5 °C, seguido de um elevado nível de precipitação, sendo, portanto, essa combinação de fatores a principal causa do aumento da incidência. Moreno-Amores *et al.* (2020), argumentam que condições climáticas ideais na antese além de promover a infecção, acabam por estimular a propagação vegetativa do micélio para flores vizinhas, favorecendo componentes do ciclo da doença como maturação de peritécios e formação de ascósporos, resultando maior incidência da doença.



Fonte: Adaptado de iCrop (2024).

Figura 14 – Dados meteorológicos de pluviosidade (mm), temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa (%), no período de realização dos experimentos nos anos de 2022 e 2023.

Como o exposto não houve diferença significativa em nenhum dos experimentos para a variável incidência da doença. Entretanto, é importante ressaltar que há vasta literatura sobre o uso de fungicidas para o controle da giberela no trigo. Contudo, até o momento a literatura é muito parca em relação ao uso de silicato de potássio para controle dessa doença. Desse modo, a comparação dos resultados aqui encontrados com outros estudos de mesma natureza fica prejudicada.

Ainda assim, Yobo *et al.* (2019) realizaram trabalho avaliando duas formulações de silicato de potássio e duas cepas de *Trichoderma* para controle da fusariose no trigo. Os autores realizaram o trabalho em casa de vegetação, utilizando duas formulações de SK, uma granulada e outra líquida, associada ou não ao *Trichoderma* com três doses diferentes. Em conclusão verificaram que a adição de *Trichoderma* ao SK não apresentou diferença significativa para controle da doença e que a dose intermediária de SK na formulação granulada teve melhor resultado, mas com potencial limitado para controle da giberela.

Em relação a severidade, a dinâmica foi semelhante ao da incidência, ou seja, em 2022 a severidade média foi baixa e em 2023 houve aumento considerável (Figuras 10 e 11). Apesar dos tratamentos não diferirem estatisticamente, no ano de 2023 houve uma tendência do tratamento T2 contendo somente fungicida, apresentar melhor resultado para diminuição da severidade nas duas cultivares em todos os ambientes, sendo que o tratamento controle negativo (T4) apresentou maiores valores de severidade.

A eficiência do tratamento T2, ou seja, o percentual de redução em relação a T4, variou de 25% a 62,5% em 2023 (Tabelas 2 e 3). Assim, verifica-se que a eficiência do tratamento T2 em relação a T4 foi semelhante quando aplicado na cultivar S, sendo 44,26% no irrigado e 43,69% no sequeiro. No entanto, para a cultivar MR o fungicida foi mais eficaz na redução da severidade quando este foi aplicado em sequeiro 62,5%, quando o fungicida foi aplicado na cultivar MR no ambiente irrigado, a eficiência comparada ao tratamento controle foi menor, ficando em 25%.

Resultados semelhantes foram obtidos por Getahun *et al.* (2024), quando testaram a campo em sistema de sequeiro a eficácia de três materiais genéticos de trigo, moderadamente resistente, moderadamente suscetível e suscetível com aplicação de fungicidas. Os autores

apuraram que o melhor desempenho do fungicida se deu para cultivar moderadamente resistente. De igual modo, Amarasinghe *et al.* (2013), Wegulo *et al.* (2011), Mesterházy *et al.* (2011) e Mesterházy *et al.* (2003), avaliaram o manejo da giberela do trigo com diferentes materiais genéticos, associados com aplicação de diferentes fungicidas. De modo geral os autores constataram que o manejo da giberela por fungicidas foi mais eficaz em cultivares de trigo moderadamente resistente em relação a suscetível.

Desse modo, os resultados observados nesta pesquisa podem sugerir haver maior eficácia para reduzir a severidade da giberela, quando fungicidas são aplicados em cultivares que apresentam certo grau de resistência, sobretudo em área de sequeiro. Entretanto, Beres *et al.* (2018) alertam que a eficácia dos fungicidas depende da cultivar, das épocas e métodos de aplicação do fungicida, do nível de infecção da doença, entre outros.

Quanto ao índice de giberela (Figura 12 – A e B irrigado e Figura 13 – A e B sequeiro), observou-se valores relativamente baixos em 2022 e, assim como, a incidência e severidade em 2023 o índice da doença apresentou maiores valores médios em relação ao ano anterior. Como exposto anteriormente o ambiente exerce influência sobre a dinâmica da giberela, de modo que o aumento da temperatura e umidade observados em 2023 proporcionaram condições meteorológicas mais favoráveis ao desenvolvimento da doença.

Esse resultado corrobora com outras pesquisas que descrevem a ocorrência de infecção em pequenos grãos por *Fusarium* spp. em uma faixa de temperatura de 15 a 29 °C (HAY *et al.*, 2021; PEI *et al.*, 2022; RAMIREZ *et al.*, 2006; ROSSI *et al.*, 2001). Sobre o baixo índice da doença verificado em 2022 e até mesmo valores não expressivos em 2023, este fato ocorreu em função da baixa pressão do inóculo presente no ambiente, visto que os experimentos estiveram sob condições de infecção natural e foram plantados sobre restos de cultura anterior de soja.

Apesar de não serem constatadas diferenças ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey, em 2022 o tratamento T3 (aplicação de silicato de potássio) apresentou o maior nível de controle, com eficiência de 41,18% na cultivar MR em ambiente irrigado (Tabela 2). Os resultados obtidos nesta pesquisa assemelham-se aos obtidos por Pazdiora *et al.* (2021), quando avaliaram o efeito da incorporação de silicato de cálcio no solo e a aplicação de fungicida em duas cultivares de trigo (S e MR). De acordo com os autores o menor índice de giberela foi obtido com a cultivar MR plantada em solo corrigido com silicato de cálcio acrescido de duas aplicações de fungicida.

Resultados similares foram relatados por Gautam e Dill-Mack (2012) quando analisaram os efeitos da umidade e da genética da cultivar no desenvolvimento da giberela e acúmulo de tricoteceno no trigo. Em um estudo conduzido em duas safras os autores

constatarem que a umidade causou efeito significativo para o desenvolvimento do fungo da giberela e dentre os três materiais genéticos por eles utilizados moderadamente resistente, moderadamente suscetível e suscetível, a variedade suscetível foi consistentemente mais acometida pela doença.

Em 2023 o menor valor de média para a variável índice de giberela foi verificado no tratamento T2 (aplicação de fungicida), na cultivar MR, no ambiente sequeiro (Tabela 3). O tratamento 2 resultou em maior redução da doença, com eficiência de 132,5% em relação ao tratamento controle (T4). Sendo assim, fica evidente a capacidade que o material genético com maior resistência possuiu em responder ao estímulo de proteção. Entretanto, há exceções. Spolti *et al.* (2013) avaliaram o efeito de aplicações únicas e sequenciais com uma formulação ou com mistura de fungicidas para controlar a giberela e verificaram que o menor índice de giberela ocorreu em cultivar suscetível.

3.2 VARIÁVEIS DE RENDIMENTO PRODUTIVO

3.2.1 Peso de mil sementes (PMS) e Produtividade (PROD)

As figuras 15 – A e B sistema irrigado e figura 16 – A e B sistema sequeiro apresentam o desempenho dos tratamentos T1 fungicida mais silicato de potássio (F+SK), T2 fungicida (F), T3 silicato de potássio (SK) e T4 (controle), para a variável peso de mil sementes. Nas figuras 17 – A e B irrigado e figuras 18 – A e B sequeiro são apresentadas o efeito dos tratamentos em relação a produtividade.

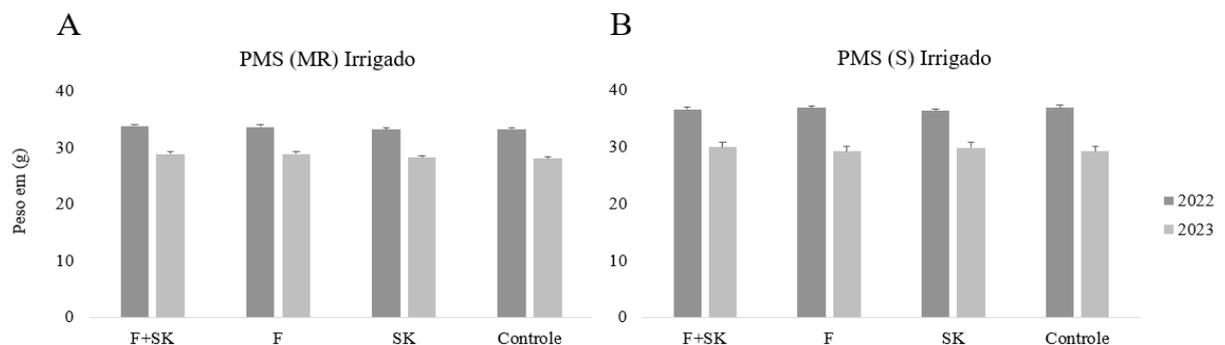


Figura 15 – Peso de mil sementes (PMS) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema irrigado. Barra vertical representa o erro padrão.

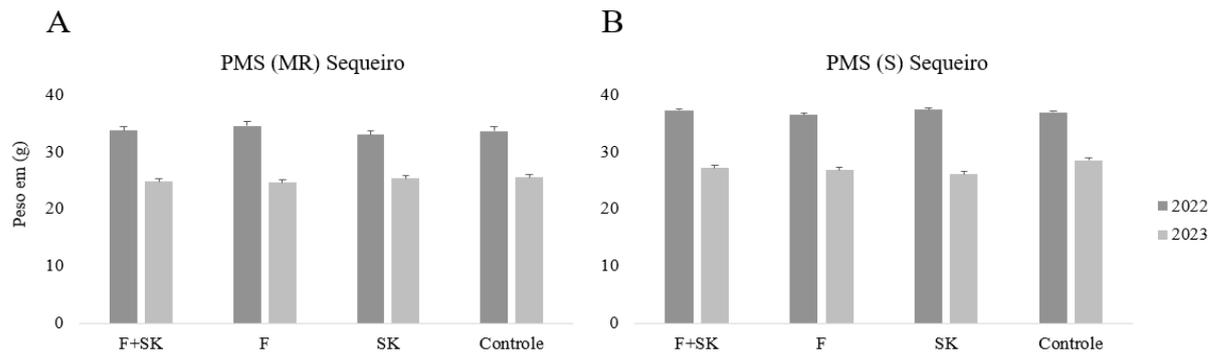


Figura 16 – Peso de mil sementes (PMS) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema sequeiro. Barra vertical representa o erro padrão.

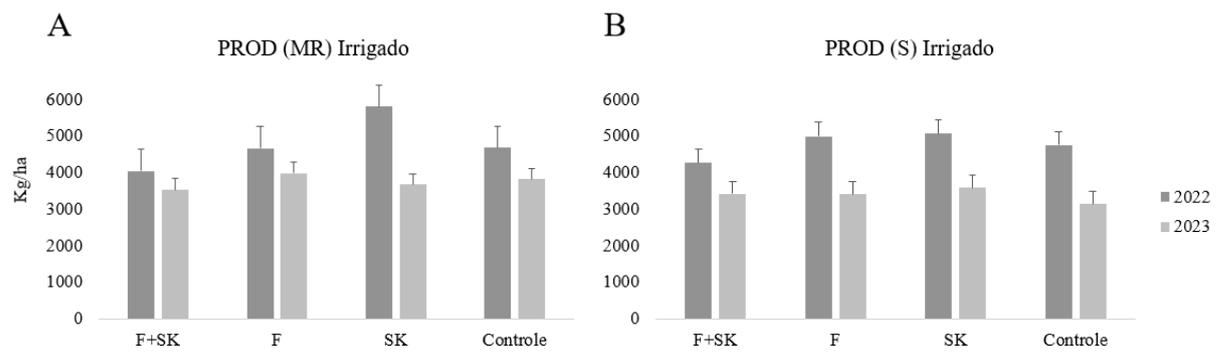


Figura 17 – Produtividade (PROD) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema irrigado. Barra vertical representa o erro padrão.

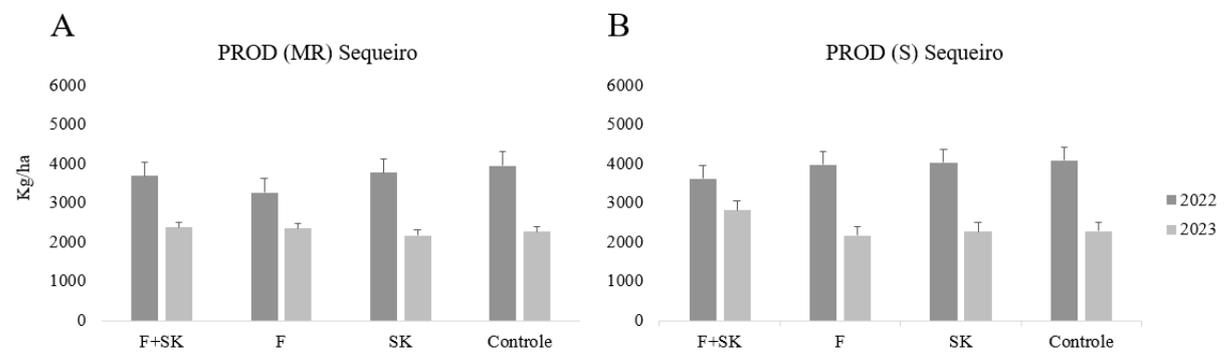


Figura 18 – Produtividade (PROD) entre os tratamentos, para a variedade moderadamente resistente (MR, em “A”) e suscetível (S, em “B”), no sistema sequeiro. Barra vertical representa o erro padrão.

Conforme Abdipour (2016) o PMS é uma característica importante utilizada para avaliar a qualidade industrial do trigo e está positivamente correlacionado com o rendimento agrônomico da cultura. As figuras acima apresentam o PMS obtido entre os tratamentos MR e S no sistema irrigado figura – 15 A e B e no sistema sequeiro figura 16 – A e B nos anos de 2022 e 2023.

Não foram encontrados efeito significativo ($p < 0,05$) em nenhum dos experimentos para nenhum dos tratamentos independente do sistema plantado e da cultivar utilizada no concernente as variáveis de rendimento produtivo (Tabelas 2 e 3). Ao contrário das variáveis fitopatológicas que em 2023 foram em todas as situações numericamente superiores ao ano de 2022, as variáveis de rendimento produtivo (peso de mil sementes e produtividade), foram em todas as situações inferiores no ano de 2023 em relação a 2022.

Com relação ao PMS em 2022 o tratamento T3, o qual foi aplicado somente silicato de potássio, apresentou tendência de ser menos eficiente em quase todas as situações. T3 foi o tratamento que apresentou resultados numericamente menores no sistema irrigado para as duas cultivares, e no sistema sequeiro para a cultivar MR. Em 2023 os resultados das médias gerais foram mais heterogêneos, mas ainda sim o tratamento T3 apresentou resultado numericamente menor de PMS para a cultivar S no sistema de sequeiro.

Em estudo conduzido por Seregina *et al.* (2023) foi analisada a influência de diferentes meios de utilização de silicato de potássio na produtividade do trigo. O experimento baseou-se em dois modos de aplicar silicato de potássio, um tratando as sementes antes de semear e o outro aplicando no solo, além do controle negativo. Apesar de não ser descrito a concentração do produto utilizado, os autores perceberam que quando o SK foi usado antes de semear, ainda no tratamento de sementes, resultou em maior PMS, cerca de 22% a mais em relação ao controle. Os autores atribuem o resultado pelo provável estímulo ao crescimento do sistema radicular nos estágios iniciais de desenvolvimento das plantas. Segundo os autores, a adição de K_2SiO_3 diretamente na semente fez com que as plantas desenvolvam um sistema radicular vigoroso, estimulando um fluxo ativo dos principais nutrientes dos órgãos vegetativos para os órgãos reprodutivos em desenvolvimento, aumentando a absorção de quantidades adicionais de nutrientes básicos pelas plantas.

Diferentemente de Seregina *et al.* (2023), o qual realizaram a aplicação do SK ainda no tratamento de sementes, esta pesquisa realizou a aplicação via folhar na fase reprodutiva, entre os estágios 60 a 69 da escala de Zadoks. Acaso a presente pesquisa tivesse sido constituída de estágios diferentes para aplicação de K_2SiO_3 , poderiam ser encontrados resultados diferentes de PMS com relação ao uso do silicato de potássio na cultura do trigo.

Sousa *et al.* (2010) avaliaram o efeito de diferentes doses de silicato de potássio via foliar na cultura do milho. Em seu trabalho os autores utilizaram silicato de potássio com a concentração de 12,2% de silício e 15% de potássio, pH 12 e densidade de $1,4g\ dm^{-3}$, apesar de um ser produto com concentração um pouco maior, ainda assim foi similar ao utilizado nesta pesquisa. No comparativo de diferentes dosagens, sendo sete doses de K_2SiO_3 variando de 0 a 6 l/ha, aplicado duas vezes em todos os tratamentos nas fases de V4 e V6 do milho, os autores observaram que o SK respondeu com o maior PMS na dose de 3,9 l/ha, sendo que doses inferiores a esse valor não foram significativas e doses acima de 3,9 l/ha, apresentaram sinais de fitotoxicidade na planta possivelmente pela salinidade expressa em dose alta (SOUSA *et al.*, 2010).

Neste sentido, uma possível causa para a aplicação do silicato de potássio não ter produzido efeitos significativamente positivos pode estar relacionada a dosagem utilizada. Apesar de ser aplicado a dose recomendada pelo fabricante 1,5 l/ha, Sousa *et al.* (2010), ao encontrarem o melhor valor de PMS utilizaram dose de K_2SiO_3 aproximadamente 73% maior do que se utilizou no presente estudo.

Nesta mesma lógica Li *et al.* (2021) avaliaram, entre outros, os efeitos de diferentes dosagens de silicato de potássio aplicado no sulco de plantio na produtividade do trigo de inverno em condições de campo, com quatro doses diferentes, sendo: 0, 45, 90 e 135 kg/ha. Ao avaliar a variável PMS constataram que a dose contendo 90 kg/ha de SK foi a dosagem que expressou o maior valor de peso para mil sementes entre os demais tratamentos.

Diante de tais constatações parece ser prudente refletir sobre a dosagem utilizada nesta pesquisa. Apesar de seguir a recomendação do fabricante, seria interessante realizar testes com variação de dose utilizando a mesma fonte de SK usado neste trabalho. Nesse mesmo raciocínio, seria ainda relevante a condução de estudos comparativos entre diferentes culturas sendo tratadas com K_2SiO_3 , para desse modo poder referendar com maior segurança os efeitos do SK em relação a variável peso de grãos.

Acerca da variável produtividade, esta seguiu o padrão de resposta encontrado nas variáveis anteriores e também não apresentou efeito significativo ($\alpha=0,05$) em nenhum dos

experimentos, entretanto como mostram as tabelas de sistema irrigado e de sistema sequeiro, (Tabelas 2 e 3), houve considerável diferença entre os sistemas de plantio.

Como previsto, quando o trigo foi plantado em sistema irrigado, independente da cultivar, apresentou melhores resultados para a variável PROD, evidenciando, desse modo, que o estresse hídrico é um fator limitante para que o material genético expresse seu potencial produtivo.

Ao considerar a média geral de produtividade entre as cultivares MR e S nos anos de 2022 e 2023, é possível verificar que no sistema irrigado a cultivar MR produziu 4.797 e 3.750 kg/ha, respectivamente (Tabela 2) em comparação ao sistema sequeiro, quando a mesma cultivar produziu 3.670 kg/ha em 2022 e no ano seguinte 2.288 kg/ha (Tabela 3), ou seja, a mesma cultivar quando teve acesso à irrigação produziu 30,7% e 63,9%, respectivamente a mais que na situação de estresse hídrico. Já a cultivar S no sistema irrigado produziu na média 4.767 kg/ha em 2022 e 3.389 kg/ha em 2023 (Tabela 2) e na situação de sequeiro produziu 3.927 kg/ha e 2.385 kg/ha (Tabela 3) conferindo, desse modo, 21,4% e 42,1%, respectivamente a mais quando a cultivar S teve acesso a água. Portanto, a irrigação pode aumentar a produtividade do trigo, sobretudo quando é realizada nas fases da antese e enchimento dos grãos (MOHAMMADI, 2024; AHMAD *et al.*, 2023; DEVKOTA *et al.* 2023).

Resultado semelhante aos desta pesquisa foram encontrados por Boussakouran *et al.* (2021), quando avaliaram o efeito (genótipo x ambiente) para o rendimento de grãos e outras características relacionadas no trigo em dois sistemas de plantio, irrigado e sequeiro. Os pesquisadores verificaram que havia 30% de diminuição gerada pelo déficit hídrico na produtividade, evidenciando assim, que a produtividade de grãos e as características associadas foram essencialmente afetadas pelo regime hídrico.

Neste mesmo sentido, Aurangzaib *et al.* (2022), trabalhando com diferentes doses de silicato de potássio com aplicação foliar na cultura de trigo, analisaram a capacidade do SK mitigar efeitos negativos causados em função do estresse hídrico. Os autores utilizaram quatro doses de SK 0, 1%, 2% e 3% como tratamentos e avaliaram ainda momentos distintos de irrigação. Em conclusão, verificaram que a aplicação de 2% de SK na fase da antese contribuiu para melhoria dos aspectos fisiológicos e bioquímicos da planta resultando em aumento de produtividade de grãos.

Levando em consideração a média geral da variável PROD entre as duas cultivares, o material MR apresentou ligeira vantagem em relação ao S no sistema irrigado. Em 2022 produziu 30 kg/ha a mais e no ano seguinte 360,6 kg/ha. De outro modo, os mesmos materiais sob condição de sequeiro diferiram em 256,7 kg/ha no primeiro ano e em 2023 96,7 kg/ha a

favor da cultivar S, ou seja, a cultivar suscetível rendeu 4,28 e 1,61 sacas de 60 kg/ha, respectivamente em comparação a moderadamente resistente, na situação de sequeiro.

As figuras 17 – A e B e 18 – A e B, ajudam a ilustrar os resultados de PROD, assim como, mostram as diferenças obtidas entre os experimentos. Apesar de não serem significativas ($\alpha=0,05$), o tratamento T3 (silicato de potássio), quando realizado no sistema irrigado mostrou ser mais eficiente em relação aos demais tratamentos.

A produtividade de qualquer cultura é sempre um dos fatores mais desejados pelos produtores rurais, pois a medida que o produto final apresenta bons parâmetros de qualidade, a quantidade faz toda diferença. Logo, quando se obtêm safras produtivas, a possibilidade de bons resultados econômicos é real. Partindo desse pressuposto, a utilização de uma ou mais aplicações de silicato de potássio para controle da giberela no trigo pode ser uma estratégia muito interessante, seja pela ampliação das possibilidades de estratégias para o manejo integrado, seja ainda pelas questões ambientais e econômicas envolvidas.

Como visto, os tratamentos utilizados nesta pesquisa não diferiram estatisticamente em nenhum dos experimentos para a variável PROD. Entretanto, T3 apresentou tendência como melhor tratamento, sobretudo, quando foi utilizada irrigação. Neste sentido, a utilização do tratamento T3 para qualquer das cultivares nas duas situações distintas de cultivo (sistema irrigado e sequeiro), não foram capazes de proporcionar resultados positivos. Contudo, também não produziram efeitos negativos, ainda que estes fossem de ordem qualitativa ou quantitativa.

Apesar de não fazer parte dos objetivos desta pesquisa a realização de análise financeira para os experimentos, foi possível conhecer o custo de aplicação dos insumos utilizados para os tratamentos. Em vista disso, verificou-se que o fungicida utilizado custou 27,65%/ha a mais por aplicação em comparação ao silicato de potássio. Diante disso, parece ser razoável que a utilização de uma ou mais aplicações de K_2SiO_3 em substituição ao fungicida sintético possa ser incorporada pelos produtores junto as estratégias de manejo, quando a doença em questão for a giberela no trigo.

4 CONCLUSÃO

Não foi detectada diferença significativa entre os tratamentos nos experimentos.

Em 2022 o tratamento T3, apresentou o maior nível de controle da doença no ambiente irrigado com a cultivar MR. Em 2023 o tratamento T2, obteve o melhor índice de controle da doença em sistema sequeiro com a cultivar MR. O material genético MR apresentou maior capacidade de resposta ao estímulo de proteção nos dois ambientes.

Quando o tratamento T3, silicato de potássio foi aplicado no ambiente irrigado independente da cultivar, este apresentou tendência como melhor resultado para variável produtividade.

O tratamento T3 apresentou desempenho semelhante ao fungicida utilizado. O silicato de potássio tem potencial como insumo a ser incorporado dentro de estratégias de manejo integrado para giberela do trigo.

REFERÊNCIAS

ABBAS, A.; YLI-MATTILA, T. Biocontrol of *Fusarium graminearum*, a Causal Agent of *Fusarium* Head Blight of Wheat, and Deoxynivalenol Accumulation: From In Vitro to In Planta. **Toxins**, v. 14, n. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins14050299>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ABDIPOUR, M.; EBRAHIMI, M.; IZADI-DARBANDI, A.; MASTRANGELO, A. M.; NAJAFIAN, G.; ARSHAD, Y.; MIRNIYAM, G. Association between Grain Size and Shape and Quality Traits, and Path Analysis of Thousand Grain Weight in Iranian Bread Wheat Landraces from Different Geographic Regions. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 44, n. 1, p. 228-236, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15835/nbha44110256>. Acesso em: 23 set. 2023.

AHMAD, A.; IQBAL, M. N.; ANJUM, M. M.; KHAN, B.; KHAN, S.; ULLAH, S.; ULLAH, R.; AFRIDI, M. Y. Genetic Attributes and Correlation Studies for Important Traits in Wheat Under Irrigated and Rainfed Conditions. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, p. 2387-2400, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00884-7>. Acesso em: 27 abr. 2024.

ALISAAC, E.; MAHLEIN, A.-K. *Fusarium* Head Blight on Wheat: Biology, Modern Detection and Diagnosis and Integrated Disease Management. **Toxins**, v. 15, n. 192, 2023. <https://doi.org/10.3390/toxins15030192>. Acesso em: 07 jul. 2023.

AMARASINGHE, C. C.; TAMBURIC-ILINCIC, L.; GILBERT, J.; BRÛLÉ-BABEL, A. L.; DILANTHA FERNANDO, W. G. Evaluation of different fungicides for control of fusarium head blight in wheat inoculated with 3ADON and 15ADON chemotypes of *Fusarium graminearum* in Canada. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 35, n. 2, p. 200-208, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.773942>. Acesso em: abr. 2024.

AURANGZAIB, M.; AHMAD, Z.; JALIL, M. I.; NAWAZ, F.; SHAHEEN, M. R.; AHMAD, M.; HUSSAIN, A.; EJAZ, M. K.; TABASSUM, M. A. Foliar Spray of Silicon Confers Drought Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) by Enhancing Morpho-Physiological and Antioxidant Potential. **Silicon**, v. 14, p. 4793-4807, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01271-5>. Acesso em: 15 out. 2023.

BERES, B. L.; BRÛLÉ-BABEL, A. L.; YE, Z.; GRAF, R. J.; TURKINGTON, T. K.; HARDING, M. W.; KUTCHER, H. R.; HOOKER, D. C. “Exploring Genotype × Environment × Management Synergies to Manage *Fusarium* Head Blight in Wheat.”

Canadian Journal of Plant Pathology, v. 40, n. 2, p. 179-188, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1445661>. Acesso em: 14 abr. 2024.

BERNARDI, C. M. G.; RESENDE, D. de O.; TIBOLA, C. S. Cartilha do agricultor micotoxinas no trigo. São Paulo/SP: Abitrito, 2018 (**Documento on line**). Disponível em: <https://www.abitrito.com.br.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

BOUSSAKOURAN, A.; YAMANI, M. E.; SAKAR, E. H.; RHARRABTI, Y. Genetic Advance and Grain Yield Stability of Moroccan Durum Wheats Grown under Rainfed and Irrigated Conditions. **International Journal of Agronomy**, v. 2021, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/5571501>. Acesso em: 02 out. 2023.

DEAN, R.; VAN KAN, J. A. L.; PRETORIUS, Z. A.; HAMMOND-KOSACK, K. E.; DI PIETRO, A.; SPANU, P. D.; RUDD, J. J.; DICKMAN, M.; KAHMANN, R.; ELLIS, J.; FOSTER, G. D. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 4, p. 414-430, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>. Acesso em: 10 jul. 2023.

DELIOPOULOS, T.; KETTLEWELL, P. S.; HARE, M. C. Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. **Crop Protection**, v. 29, n. 10, p. 1059-1075, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.011>. Acesso em: 13 ago. 2023.

DEVKOTA, M.; DEVKOTA, K. P.; KARROU, M.; NANGIA, V. Genotype and agronomic management interaction to enhance wheat yield and water use efficiency in the Mediterranean rainfed environment of Morocco: I. Field data analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 151, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126972>. Acesso em: 27 abr. 2024.

DRAKOPOULOS, D.; KÄGI, A.; GIMENO, A.; SIX, J.; JENNY, E.; FORRER, H. R.; MUSA, T.; MECA, G.; VOGELGSANG, S. Prevention of Fusarium head blight infection and mycotoxins in wheat with cut-and-carry biofumigation and botanicals. **Field Crops Research**, v. 246, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107681>. Acesso em: 10 jul. 2023.

DUFFECK, M. R.; ALVES, K. S.; MACHADO, F. J.; ESKER, P. D.; DEL PONTE, E. M. Modeling yield losses and fungicide profitability for managing Fusarium head blight in Brazilian spring wheat. **Phytopathology**, v. 110, n. 2, p. 370-378, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-19-0122-R>. Acesso em: 16 jul. 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 01 set. 2023.

GAUTAM, P.; DILL-MACKY, R. Impact of moisture, host genetics and Fusarium graminearum isolates on Fusarium head blight development and trichothecene accumulation in spring wheat. **Mycotoxin Research**, v. 28, n. 1, p. 45-58, 2012. Disponível em: doi:10.1007/s12550-011-0115-6. Acesso em: 17 set. 2023.

GETAHUN, M.; FININSA, C.; BEKEKO, Z; MOHAMMED, A. Analysis of the spatial distribution and association of wheat fusarium head blight with biophysical factors in

Ethiopia. **Journal of Crop Science and Biotechnology**. v. 164, p. 391-410, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02569-9>. Acesso em: 11 abr. 2024.

GETAHUN, M.; FININSA, C.; MOHAMMED, A.; BEKEKO, Z. Integrated management of wheat (*Triticum aestivum* L.) Fusarium head blight and deoxynivalenol contamination through host resistance and fungicide application in Ethiopia. **Journal of Crop Science and Biotechnology**. v. 27, p. 195-209, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12892-023-00223-2>. Acesso em 13 abr. 2024.

HAY, W. T.; MCCORMICK, S. P.; VAUGHAN, M. M. Effects of Atmospheric CO₂ and Temperature on Wheat and Corn Susceptibility to Fusarium graminearum and Deoxynivalenol Contamination. **Plants**, v. 10, n. 12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants10122582>. Acesso em: 19 abr. 2024.

ICROP - Icrop tecnologia e consultoria agricola S.A. Gestão de irrigação e soluções meteorológicas. Dados estação fazenda – Buri-SP, 2024.

LI, W.; LI, M.; XU, Y.; SHI, Y. Effects of Potassium Silicate Fertilizer on Photosynthetic Characteristics and Yield in Winter Wheat (*Triticum Aestivum* L.). **Bangladesh Journal of Botany**, v. 50, n. 4, p. 1127-1132, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3329/bjb.v50i4.57080>. Acesso em: 19 nov. 2023.

LIU, J.; JIANG, J.; GUO, X.; QIAN, L.; XU, J.; CHE, Z.; CHEN, G.; LIU, S. Sensitivity and Resistance Risk Assessment of Fusarium graminearum from Wheat to Prothioconazole. **Plant Disease**, v. 106, n. 8, p. 2097-2104, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-21-2684-RE>. Acesso em: 16 jul. 2023.

MESTERHÁZY, Á.; BARTÓK, T.; LAMPER, C. Influence of Wheat Cultivar, Species of Fusarium, and Isolate Aggressiveness on the Efficacy of Fungicides for Control of Fusarium Head Blight. **Plant Disease**, v. 87, n. 9, p. 1107-1115, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.9.1107>. Acesso em: 14 abr. 2024.

MESTERHÁZY, Á.; TÓTH, B.; VARGA, M.; BARTÓK, T.; SZABÓ-HEVÉR, Á.; FARÁDY, L.; LEHOCZKI-KRSJAK, S. Role of Fungicides, Application of Nozzle Types, and the Resistance Level of Wheat Varieties in the Control of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol. **Toxins**, v. 3, n. 11, p. 1453-1483, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins3111453>. Acesso em: 21 abr. 2024.

MOHAMMADI, R. Effects of post-flowering drought and supplemental irrigation on grain yield and agro-phenological traits in durum wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 156, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127180>. Acesso em: 27 abr. 2024.

MORENO-AMORES, J.; MICHEL, S.; LÖSCHENBERGER, F.; BUERSTMAYR, H. Dissecting the Contribution of Environmental Influences, Plant Phenology, and Disease Resistance to Improving Genomic Predictions for Fusarium Head Blight Resistance in Wheat. **Agronomy**. v. 10, n. 12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10122008>. Acesso em: 11 abr. 2024.

PAZDIORA, P. C.; DORNELES, K. R.; MORELLO, T. N. NICHOLSON, P.; DALLAGNOL, L. J. Silicon soil amendment as a complement to manage tan spot and

fusarium head blight in wheat. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 41, n. 21, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00677-0>. Acesso em: 20 abr. 2024.

PEI, P.; XIONG, K.; WANG, X.; SUN, B.; ZHAO, Z.; ZHANG, X.; YU, J. Predictive growth kinetic parameters and modelled probabilities of deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* on wheat during simulated storing conditions, **Journal of Applied Microbiology**, v. 133, n. 2, p. 349-361, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jam.15557>. Acesso em: 19 abr. 2024.

POWELL, A. J.; KIM, S. H.; CORDERO, J.; VUJANOVIC, V. Protocooperative Effect of *Sphaerodes mycoparasitica* Biocontrol and Crop Genotypes on FHB Mycotoxin Reduction in Bread and Durum Wheat Grains Intended for Human and Animal Consumption. **Microorganisms**, v. 11, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010159>. Acesso em: 10 jul. 2023.

QIAN, H.; DU, J.; CHI, M.; SUN, X.; LIANG, W.; HUANG, J.; LI, B. The Y137H mutation in the cytochrome P450 FgCYP51B protein confers reduced sensitivity to tebuconazole in *Fusarium graminearum*. **Pest. Manag. Sci.**, v. 74, n. 6, p. 1472-1477, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4837>. Acesso em: 16 jul. 2023.

RAMIREZ, M. L.; CHULZE, S.; MAGAN, N. Temperature and water activity effects on growth and temporal deoxynivalenol production by two Argentinean strains of *Fusarium graminearum* on irradiated wheat grain. **International Journal of Food Microbiology**, v. 106, n. 3, p. 291-296, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.09.004>. Acesso em 19 abr. 2024.

REIS, E. M.; BOARETO, C.; DANELLI, A. L. D.; ZOLDAN, S. M. Anthesis, the infectious process and disease progress curves for fusarium head blight in wheat. **Summa Phytopathologica**, v.42, n.2, p.134-139, 2016.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, v.1. 118p. (inclui Mapas), 2017.

ROSSI, V.; RAVANETTI, A.; PATTORI, E.; GIOSUÈ, S. Influence of temperature and humidity on the infection of wheat spikes by some fungi causing fusarium head blight. **Journal of Plant Pathology**, v. 83, n. 3, p. 189-198, 2001. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41998061>. Acesso em: 19 abr. 2024.

SANTANA, F. M.; LAU, D.; MACIEL, J. L. N.; CARGNIN, A.; SEIXAS, C. D. S.; BASSOI, M. C.; SCHIPANSKI, C. A.; FEKSA, H.; CASA, R. T.; WESP, C.; NAVARINI, L.; BLUM, M. Eficiência de fungicidas para controle de giberela em trigo: resultados dos ensaios cooperativos - safra 2011. Passo Fundo, RS. 2012 (**Comunicado Técnico**).

SAVARY, S.; WILLOCQUET, L.; PETHYBRIDGE, S. J.; ESKER, P.; MCROBERTS, N.; NELSON, A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, n. 3, p. 430-439, 2019.

SCHULTZ, B.; BORA, K. C.; NOGUEIRA, A. C.; AUER, C. G. Uso do silicato de potássio no controle de oídio em mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 32, n. 69, p. 93-99, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/->

[/publicacao/923679/uso-do-silicato-de-potassio-no-controle-de-oidio-em-mudas-de-eucalyptus-benthamii](#). Acesso em: 30 jul. 2023.

SEREGINA, I.; ISLAMGULOVA, R.; TRUKHACHEV, V.; ELISEEVA, O.; ZHARKIKH, O.; ZHEVNEROV, A. Silicon in agrocenosis with spring wheat. **Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.**, v. 1206, n. 1. 2023. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1206/1/012033>. Acesso em 24 set. 2023.

SHAH, D. A.; DE WOLF, E. D.; PAUL, P. A.; MADDEN, L. V. Functional data analysis of weather variables linked to Fusarium head blight epidemics in the United States. **Phytopathology**. v. 109, n. 1, p. 96-110, 2019. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-17-0386-R>. Acesso em: 07 jul. 2023.

SHUDE, S. R. N.; YOBO, K. S.; MBILI, N. C. Progress in the management of Fusarium head blight of wheat: An overview. **South African Journal of Science**, Pretoria, v. 116, n. 11-12, p. 1-7, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2020/7854>. Acesso em: 21 mai. 2023.

SOUSA, J. V. de.; RODRIGUES, C. R.; LUZ, J. M. Q.; CARVALHO, P. C. de.; RODRIGUES, T. M.; BRITO, C. H. de. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7148>. Acesso em: 23 set. 2023.

SPOLTI, P.; GUERRA, D. S.; BADIÁLE-FURLONG, E.; DEL PONTE, E. M. Single and sequential applications of metconazole alone or in mixture with pyraclostrobin to improve Fusarium head blight control and wheat yield in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 2, p. 85-96, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013000200001>. Acesso em 21 abr. 2024.

VIEIRA, D. L.; BARBOSA, V. O.; DE SOUZA, W. C. O.; SILVA, J. G.; MALAQUIAS, J. B.; BATISTA, J. L. Potassium silicate-induced resistance against blackfly in seedlings of *Citrus reticulata*. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 49-55, 2016. Disponível em: <http://www.edpsciences.org/journal/index.cfm?edpsname=fruits>. Acesso em: 16 mai. 2024.

WEGULO, S. N.; BOCKUS, W. W.; HERNANDEZ NOPSA, J.; DE WOLF, E. D.; ESKRIDGE, K. M.; PEIRIS, K. H. S.; DOWELL, F. E. Effects of integrating cultivar resistance and fungicide application on Fusarium head blight and deoxynivalenol in winter wheat. **Plant Disease**, v. 95, n. 5, p. 554-560, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-10-0495>. Acesso em: 14 abr. 2024.

YOBO, K. S.; MNGADI, Z. N. C.; LAING, M. D. Efficacy of Two Potassium Silicate Formulations and Two Trichoderma Strains on Fusarium Head Blight of Wheat. **Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.**, v. 89, p. 185-190, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40011-017-0935-z>. Acesso em: 19 nov. 2023.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, n. 6, p. 415-421, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>. Acesso em: 27 ago. 2023.

ZHANG, D.; CHEN, G.; ZHANG, H.; JIN, N.; GU, C.; WENG, S.; WANG, Q.; CHEN, Y. Integration of spectroscopy and image for identifying fusarium damage in wheat kernels. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 236, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118344>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ZHOU, F.; ZHOU, H.-H.; HAN, A.-H.; GUO, K.-Y.; LIU, T.-C.; WU, Y.-B.; HU, H.-Y.; LI, C.-W. Mechanism of Pydiflumetofen Resistance in *Fusarium graminearum* in China. **J. Fungi**, v. 9, n. 62, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jof9010062>. Acesso em: 16 jul. 2023.

CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DO USO DE FUNGICIDA, SILICATO DE POTÁSSIO E SUAS INTEGRAÇÕES NA REDUÇÃO DE TRICOTECENOS DO GRUPO B CAUSADAS PELA GIBERELA NO TRIGO EM SISTEMA IRRIGADO E DE SEQUEIRO

RESUMO

A giberela (*Gibberella zeae* - *Fusarium graminearum*) é considerada uma das doenças mais importantes do trigo. Os fungos são responsáveis por sintetizar alguns tricotecenos incluindo aqueles do tipo B, como desoxinivalenol (DON), 3ADON e 15ADON que apresentam toxicidade para humanos e animais. A aplicação de fungicidas para o manejo da giberela continua sendo a prática mais preconizada, entretanto, produtos alternativos e realização de manejo integrado se fazem necessários para o manejo mais eficaz e amigável. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de fungicida e silicato de potássio aplicados isoladamente e suas integrações na redução de micotoxinas causadas pela giberela na cultura do trigo, em sistema irrigado e de sequeiro. O delineamento empregado em cada experimento foi em blocos ao acaso, com três repetições e quatro tratamentos: T1 aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2 aplicação de Fungicida (F); T3 aplicação de Silicato de Potássio (SK) e T4 (controle), sem aplicação de Fungicida e Silicato de Potássio. Foram realizadas análise de variância (ANOVA), testes de comparação múltipla das médias dos tratamentos com o teste F de REGWF ($p < 0,10$). Quando necessário, a transformação para normalizar os resíduos foi: $y' = \ln(x+1)$. O tratamento T3 (aplicação de silicato de potássio) apresentou ligeira vantagem para diminuição de DON entre os demais tratamentos. Entretanto, não houve diferença significativa pelo teste de Fischer ($p < 0,10$) entre T2 fungicida e T1 fungicida + silicato de potássio. T3 apresentou ainda tendência como melhor tratamento para a diminuição de 15ADON. A utilização do silicato de potássio parece inibir a produção de DON sobre a cultura do trigo.

Palavras-chave: *Fusarium graminearum*. Indutor de Resistência. Tricotecenos. Desoxinivalenol.

ABSTRACT

Gibberella (*Gibberella zeae* - *Fusarium graminearum*) is considered one of the most important diseases in wheat. The fungi are responsible for synthesizing several trichothecenes, including type B ones such as deoxynivalenol (DON), 3ADON, and 15ADON, which are toxic to humans and animals. The application of fungicides for *Gibberella* management remains the most recommended practice; however, alternative products and integrated management are necessary for more effective and eco-friendly control. Thus, the objective of this study was to evaluate the use of fungicide and potassium silicate applied alone and in combination to reduce mycotoxins caused by *Gibberella* in wheat crops, under both irrigated and rainfed systems. The experimental design used in each experiment was a randomized complete block design with three replications and four treatments: T1 – Application of Fungicide + Potassium Silicate (F + SK); T2 – Application of Fungicide (F); T3 – Application of Potassium Silicate (SK); and T4 – Control (no Fungicide or Potassium Silicate application). Analysis of variance (ANOVA) and multiple comparison tests of treatment means were performed using the REGWF F-test ($p < 0.10$). When necessary, residual normalization was achieved using the transformation: $y' = \ln(x+1)$. Treatment T3 (application of potassium silicate) showed a slight advantage in reducing DON compared to other treatments. However, there was no significant difference by Fischer's test ($p < 0.10$) between T2 (fungicide) and T1 (fungicide + potassium silicate). T3 also showed a trend as the best treatment for reducing 15ADON. The use of potassium silicate appears to inhibit the production of DON in wheat crops.

Keywords: *Fusarium graminearum*. Induced Resistance. Trichothecenes. Deoxynivalenol.

1 INTRODUÇÃO

A giberela do trigo (*Gibberella zeae*) é uma das doenças fúngicas mais severas e devastadoras em regiões produtoras no mundo inteiro. O principal agente causal é o *Fusarium graminearum* (HE *et al.* 2024). A planta infectada produz espiguetas descoloridas, de cor salmão, os grãos que se formam ficam com aspecto enrugados, com aparência murcha, chochos e apresentam baixo peso de massa (LIMA, 2004). Devido aos danos causados podem ocorrer perdas de rendimento de até 80%, comprometendo seriamente a segurança alimentar (MCMULLEN *et al.*, 2012).

O fungo da *G. zae* é extremamente agressivo e infecta não somente a cultura do trigo, mas um grande número de outros cereais como Triticale (*Triticosecale*), Centeio (*Secale cereale*), Cevada (*Hordeum vulgare*), Milho (*Zea mays* L.), Arroz (*Oryza sativa*), e Sorgo (*Sorghum bicolor*) (REIS *et al.*, 1997), afetando desse modo a produção agrícola em todo o mundo, com epidemias relatadas na maioria das áreas produtoras de trigo (BUERSTMAYR *et al.*, 2009; MCMULLEN *et al.*, 2012; KEMP *et al.*, 2020).

A giberela há anos tem causado sérios danos aos cultivos de trigo, sendo estes relatados por inúmeros pesquisadores (OSÓRIO *et al.*, 1998; LIMA, 2004; MCMULLEN *et al.*, 2012; SPOLTI *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2020; GAIRE *et al.*, 2022; MIGUEL-ROJAS *et al.*, 2023; AJMAL *et al.*, 2023). Desse modo além de causar perdas quantitativas também ocorrem perdas na qualidade, pois o *F. graminearum* é capaz de produzir algumas micotoxinas, como desoxinivalenol (DON), nivalenol (NIV) e zearalenona (ZEN) em grãos de trigo, essas micotoxinas apresentam toxicidade a saúde humana e animal (COVARELLI *et al.*, 2015; HU *et al.*, 2022).

Como exposto o complexo de espécies de *F. graminearum* (FGSC) é o principal agente etiológico da giberela do trigo e também o agente causal das principais micotoxinas no trigo. Dentre essas micotoxinas, se destacam os tricotecenos que podem ser divididos em classes do tipo A, B, C e D, dependendo da ausência ou presença de grupos funcionais característicos, sendo que os principais tricotecenos sintetizados pelo *F. graminearum* são aqueles do tipo B (SCAGLIONI e FURLONG, 2020).

Tricotecenos do tipo B são responsáveis pela produção da micotoxina desoxinivalenol (DON) e seus derivados acetilados 3-acetil-DON (DON/3ADON) e 15-acetil-DON (DON/15ADON), DON-3-glicosídeo (DON-3-gl), nivalenol (NIV). (WACHOWSKA *et al.*, 2023; KARLOVSKY *et al.*, 2016; SPANIC *et al.*, 2023; SHANK *et al.*, 2011; VAN COLLER *et al.*, 2022; GAVRILOVA *et al.*, 2023).

A aplicação de fungicidas para o controle da giberela continua sendo a prática mais preconizada, entretanto os resultados de sua eficácia são variáveis (BARRO *et al.*, 2021; PAZDIORA *et al.*, 2023). Nesse sentido há necessidade de encontrar métodos alternativos como parte da gestão integrada para o controle dessa doença (SAKR e KURDALI, 2023). É sabido que a integração de práticas de manejo como rotação de culturas, preparo do solo, fungicidas, agentes de controle biológico e genética contribuem para mitigar a intensidade da giberela (XU e NICHOLSON, 2009).

Uma alternativa prática concerne ao manejo nutricional a fim de aumentar a resistência do trigo ao *F. graminearum*. Nesse sentido, a fertilização com silício (Si) oferece uma

alternativa viável como parte de estratégias de manejo integrado da giberela (SAKR e KURDALI, 2023). Alguns produtos à base de silício (Si) têm chamado a atenção de pesquisadores por agirem como indutor de resistência a certas doenças (DEBONA *et al.*, 2017) com *Erysiphe graminis* f. sp. *Graminis*, (SCHULTZ *et al.*, 2012) com *Oidium eucalypti*, (ARAÚJO *et al.*, 2023) com *Pyricularia oryzae*, (SAKR, 2022) com *F. culmorum*, *F. solani*, *F. verticillioides*, *F. equiseti*.

Dentre esses produtos o silicato de potássio (SK) apresenta-se como um insumo potencial em função de ser uma fonte de silício de fácil aplicação e também uma alternativa ao controle químico (VIEIRA *et al.*, 2016). Desse modo, espera-se que a aplicação de SK possa induzir a resistência do trigo ao *Fusarium*.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de fungicida e silicato de potássio aplicados isoladamente e suas integrações na redução de tricotecenos do grupo B causadas pela giberela no trigo em sistema irrigado e de sequeiro.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados envolvendo combinações entre “ano” (2021 – plantio em 11/05/2021 e 2022 – plantio em 16/05/2022), sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) e cultivares (moderadamente resistente - MR e suscetível - S), resultando em 8 experimentos (Figura 19). Em todos os experimentos foi empregado delineamento em blocos ao acaso, com três repetições e os seguintes tratamentos: T1 – aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2 – aplicação de fungicida (F); T3 – aplicação de Silicato de Potássio (SK) e T4 – Controle (sem pulverização). O manejo fitossanitário foi o mesmo para todos os experimentos, com exceção da aplicação dos tratamentos.

Experimento	Ano		Sistema de Cultivo		Cultivar	
	2021	2022	Irrigado	Sequeiro	MR	S
1	■		■		■	
2	■		■			■
3	■			■	■	
4	■			■		■
5		■	■		■	
6		■	■			■
7		■		■	■	
8		■		■		■

Figura 19 – Esquema representativo dos experimentos, distribuídos entre ano, sistema de cultivo e cultivar.

* MR e S – significam cultivar moderadamente resistente e suscetível, respectivamente.

A área total da parcela experimental foi de 15 m² (2,5 m x 6 m), com espaçamento entre linhas de 0,17 m e densidade de semeadura de 300 a 350 plantas/m². Para evitar interferência entre os tratamentos, foram descartados três linhas de plantio de cada lateral e 0,5 m entre o início e fim de cada parcela amostral.

Para realização do plantio foi utilizado trator 160 cv e semeadora de trigo de 24 linhas para plantio direto. A adubação de base foi realizada empregando-se 300 kg/ha do fertilizante 08-28-16 (N-P-K), e para adubação de cobertura 200 kg/ha de ureia 45% (N), realizada 38 dias após a semeadura, em todos os tratamentos.

Na área irrigada foram realizadas cinco irrigações via pivô central a partir da semeadura até a colheita, empregando-se lâminas de 12 milímetros e duração de 30 minutos cada. No período compreendido entre extrusão das anteras e o término das mesmas foram realizadas três irrigações. Todas as irrigações foram realizadas no mesmo horário (09:30h da manhã).

Foi utilizado o fungicida trifloxistrobina (100 g/l) + tebuconazol (200 g/l) na dose de 0,75 l/ha, adicionado de óleo adjuvante metilado de soja na dose de 0,25% do volume de calda. O Silicato de Potássio (SK) empregado foi composto por Silício (Si) 12%, Potássio (K₂O) 12%, com densidade de 1,38 g/cm³ e pH = 10,96, sendo utilizada dose de 1,5 L/ha⁻¹.

Para aplicação dos tratamentos foi empregado um pulverizador costal manual - JACTO®, com capacidade de 20 litros, com pressão máxima de trabalho de 75 psi, com ponta de pulverização de jato simples, utilizando bico tipo cone, calibrado para a aplicação de um volume de calda de 150 L/ha⁻¹.

2.1.1 Realização dos tratamentos

Os tratamentos foram aplicados em três momentos distintos, considerados de maior susceptibilidade do trigo à infecção pelo fungo *G. zea*, que vai desde o início da antese quando o trigo começa a soltar as primeiras flores, até o amadurecimento de espigas ainda verdes, ou seja, final da antese (REIS *et al.*, 2016). Desse modo, para se obter uma padronização dos momentos de aplicação entre as diferentes cultivares, tomou-se como parâmetro a escala fenológica de Zadoks. A primeira aplicação ocorreu no estágio 60 da escala de Zadoks (pré-

antese), a segunda no estágio 65 de Zadoks (antese) e a última no estágio 69 da escala de Zadoks (pós-antese) (ZADOKS *et al.*, 1974).

2.1.2 Variáveis Analisadas

Foram realizadas análises laboratoriais no âmbito toxicológico para detecção e quantificação de tricotecenos do tipo B, especificamente as micotoxinas desoxivalenol (DON) e seus derivados acetilados 3-acetil-DON (3ADON); 15-acetil-DON (15ADON) e DON-3-glicosídeo (DON-3-gl).

Para determinação das micotoxinas DON e seus derivados foram coletadas aleatoriamente espigas em cada parcela, a colheita foi realizada no estágio 91 da escala fenológica de Zadoks (ZADOKS *et al.*, 1974). Posteriormente essas espigas foram debulhadas e trituradas em moinho de facas, com peneira de 2 milímetros. Cada subamostra teve peso de grãos aproximado de 0,100 kg. Depois desse processo as amostras foram refrigeradas e armazenadas em sacos de papel kraft, até serem enviadas para análise no Laboratório de Micotoxinas e Ciência de Alimentos - LAMCA, Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Para extração das micotoxinas em laboratório utilizou-se o Método QuEChERS (CERQUEIRA *et al.*, 2022). Para determinação e quantificação utilizou-se um sistema HPLC (Shimadzu, Tóquio, Japão) com um detector de arranjo de diodos (PDA). A separação cromatográfica foi realizada com acetonitrila: água ultrapura (50:50, v/v), com vazão de 0,5mL/min, temperatura do forno de 40 °C, eluição em modo isocrático por 10 min, injeção de volume de 20 µL e comprimento de onda máximo de absorção de 220 nm. A identificação das micotoxinas baseou-se nos tempos de retenção e na comparação dos analitos e espectros UV dos padrões analíticos (BORBA *et al.*, 2023).

2.1.3 Análise de dados

Para as variáveis laboratoriais (DON, 3ADON, 15ADON e D3G) foram realizadas análise de variância (ANOVA) utilizando o programa computacional Statistica 7 (STATSOFT, 2004) a distribuição normal dos resíduos foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Os testes de comparação múltipla foram realizados nas médias dos tratamentos de acordo com o teste F de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch – REGWF ($p < 0,10$). Quando necessário, a transformação para normalizar os resíduos foi: $y' = \ln(x+1)$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 FONTE DE VARIAÇÃO (ANO, SISTEMA DE CULTIVO E CULTIVAR)

Após proceder análise laboratorial foi possível determinar e quantificar a presença das micotoxinas DON, 15ADON e D3G, sendo que o derivado 3ADON não foi detectado na grande maioria das amostras e quando foi esteve abaixo do limite de quantificação do método (LOQ_m 71,4 ug/kg).

A fim de compreender se além dos tratamentos aplicados em cada experimento, outros fatores exerceram algum efeito sobre os resultados para contaminação por micotoxinas, procedeu-se análise de variância e posterior teste de REGWF ($p < 0,10$) também sobre os fatores Ano, Sistema de Cultivo e Cultivar (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise de variância e teste de Fischer para os efeitos de fontes de variação para as micotoxinas desoxinivalenol (DON), 15-acetil-DON (15ADON) e DON-3-glicosídeo (D3G).

Fator	Fonte de variação	DON		15ADON		D3G	
		T	N (ug/kg)	T	N (ug/kg)	T	N (ug/kg)
Ano	2021	5,4 a	230	7,0 a	1235	5,8 a	460
	2022	5,5 a	358	5,6 b	395	5,5 a	262
	p-valor (F)	0,59		<0,001		0,29	
	erro padrão	0,1		0,2		0,1	
	CV	12,4		15,1		10,1	
Sistema de Cultivo	Irigado	5,7 a	381	6,4 a	963	5,6 a	338
	Sequeiro	5,2 b	214	6,3 a	706	5,6 a	310
	p-valor (F)	0,07		0,92		0,91	
	erro padrão	0,1		0,2		0,1	
	CV	12,4		15,1		10,1	
Cultivar	Moderadamente Resistente	5,4 a	267	6,3 a	808	5,6 a	365
	Suscetível	5,5 a	335	6,5 a	884	5,6 a	300
	p-valor (F)	0,65		0,63		0,95	
	erro padrão	0,1		0,2		0,1	
	CV	12,4		15,1		10,1	
ano x cultivo	p-valor (F)	0,986		0,934		0,869	
ano x variedade	p-valor (F)	0,987		0,924		0,877	

ano x tratamento	p-valor (F)	0,974	0,926	0,873
cultivo x variedade	p-valor (F)	0,974	0,989	0,996
cultivo x tratamento	p-valor (F)	0,959	0,997	0,986
variedade x tratamento	p-valor (F)	0,989	0,984	0,990
ano x cultivo x variedade	p-valor (F)	0,999	0,994	0,981
ano x cultivo x tratamento	p-valor (F)	0,998	0,995	0,983
ano x variedade x tratamento	p-valor (F)	0,999	0,994	0,984
cultivo x variedade x tratamento	p-valor (F)	0,999	0,999	0,999
ano x cultivo x variedade x tratamento	p-valor (F)	1	0,999	0,998

* Letras diferentes em cada coluna, para cada fator, indicam médias estatisticamente distintas pelo teste de Fischer ($\alpha < 0,10$). (T) = resultado transformado por $y' = \ln(x + 1)$; (N) = significa valor com resultado real sem transformação.

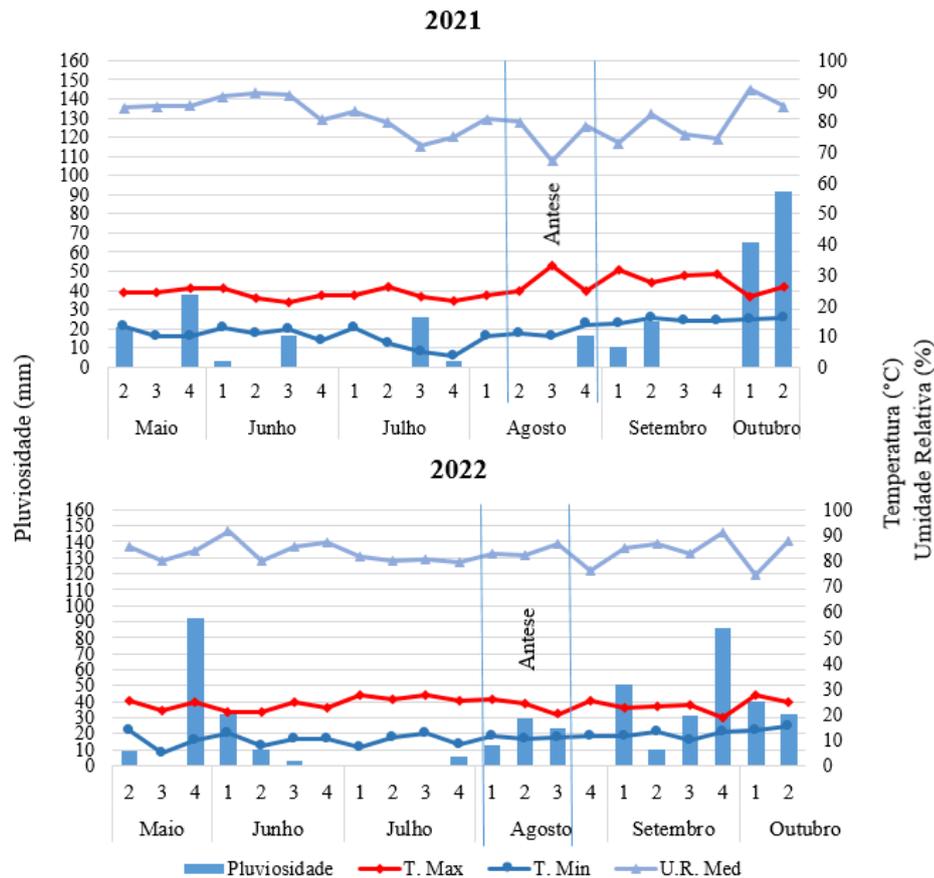
Embora neste estudo a fonte de variação “Ano” tenha sido significativa para o quimiotipo 15ADON, esta não foi significativa ($p > 0,10$) para o tricoteceno mais comum encontrado no grão do trigo, o DON. Esse resultado está em consonância com os resultados obtidos por Bissonnette *et al.* (2018), que ao analisarem os resultados de três safras de trigo não encontraram nenhuma contribuição significativa do ano para a concentração de DON no grão, a não ser no caule. Além disso, houve diferença significativa ($p < 0,10$) para a fonte de variação “Sistema de Cultivo” para a micotoxina DON. As diferenças encontradas para a fonte de variação “Cultivar” não foram significativas ao nível de confiança de 90% pelo teste de Fischer.

A respeito do fator Ano, verificou-se que essa fonte de variação teve efeito sobre os experimentos, visto que no ano de 2021 foram detectados os maiores valores médios de 15ADON e D3G em comparação ao ano de 2022. Contudo, somente foi significativo ($p < 0,10$) a variável 15ADON (Tabela 4).

A ocorrência dessa diferença possivelmente se deu em função das diferenças meteorológicas observadas entre os anos de 2021 e 2022, visto que fatores climáticos são extremamente importantes em doenças fúngicas. A intensidade da giberela é determinada principalmente pelas condições climáticas na fase de floração, período de maior suscetibilidade do hospedeiro pelo patógeno. A precipitação, a umidade e a temperatura influenciam significativamente a intensidade dos sintomas da doença (OKORSKI *et al.*, 2022).

No ano de 2021 o período da pré-antese teve início na segunda semana de agosto, estendendo-se até o final do mês quando todas espigas tinham florescido. Esse período foi mais quente no ano de 2021 em relação ao ano de 2022 (Figura 20), sendo que a temperatura máxima

média foi de 27,6 °C em 2021 e 23,4 °C em 2022, ou seja, 4,2 °C de diferença entre os anos. Em 2021 a umidade relativa no período foi de 75,2% e no terço final da antese choveu 16,5mm. Em 2022 a antese iniciou-se na primeira semana de agosto, a umidade relativa foi de 83,8% e a pluviosidade de 65,5 mm, apesar do período da antese em 2022 ser um pouco mais úmido em relação a 2021, as temperaturas foram mais amenas.



Fonte: Adaptado de iCrop (2024).

Figura 20 – Dados meteorológicos de pluviosidade (mm), temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa (%), no período de realização dos experimentos nos anos de 2021 e 2022.

Desse modo, é provável que a temperatura maior registrada no ano de 2021 tenha sido responsável pelos maiores valores observados dos quimiotipos de 15ADON e D3G neste ano. Duffeck *et al.* (2022) estudaram a diversidade de espécies de *F. graminearum* em diferentes locais e regiões climáticas, em 461 isolados coletados de espigas sintomáticas de culturas de trigo, espelta, cevada e centeio. Nas amostras oriundas das regiões de clima mais quentes foram encontradas grande prevalência de 15ADON em detrimento a 3ADON e um genótipo

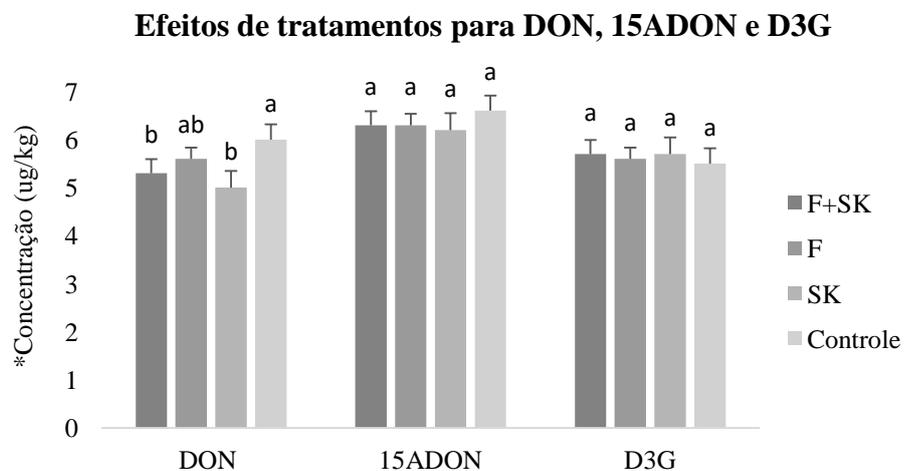
tricoteceno tipo A, conhecido como NX-2. Apesar do papel dos fatores ecológicos e de paisagem ainda não estarem bem claros na dinâmica de *Fusarium* spp., a temperatura do ambiente exerce influência direta na composição dos genótipos tricotecenos.

Neste sentido, Vaughan; Backhouse; Del Ponte (2016) alertam para os impactos que as mudanças climáticas extremas podem exercer sobre a epidemiologia da giberela. Os autores afirmam que o aumento do CO₂ e de outros gases atmosféricos com efeito estufa (metano, óxido nitroso e ozônio), as condições climáticas sazonais e regionais serão muito mais variáveis e extremas, impactando seriamente as interações patógeno-hospedeiro.

3.1.1 Micotoxinas (DON, 15 ADON e D3G)

Após realização da análise de variância, comparações post hoc entre os tratamentos foram realizadas a partir do teste de Fischer ($p < 0,10$) (Tabela 5). Houve diferença significativa entre os tratamentos somente para a concentração de DON, não sendo encontradas diferenças significativas ($p > 0,10$) para as demais respostas 15ADON e D3G (Figura 21).

Contudo, os valores máximos de concentração encontrados nas amostras para o tricoteceno DON 381 ug/kg foram bem inferiores aos valores estabelecidos pela ANVISA, 2000 ug/kg, como limite máximo tolerável para contaminantes em grãos de trigo *in natura*. A presença de contaminantes fúngicos nos alimentos preocupa tanto pelo risco de causar micotoxicoses naqueles que por ventura irão se alimentar desses grãos, assim como, a presença de micotoxinas pode diminuir o preço dos grãos ou até mesmo ocasionar a recusa da indústria e outros compradores onde limites máximos foram estabelecidos (BARRO *et al.*, 2021).



*Valor do eixo Y, transformados por $y' = \ln(x + 1)$, conforme tabela 5.

Figura 21 – Concentração das micotoxinas desoxinivalenol (DON), 15-acetil-DON (15ADON) e (D3G) para os 4 tratamentos (T1: aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2: aplicação de Fungicida (F); T3: aplicação de Silicato de Potássio (SK); T4: Controle negativo (sem aplicação de fungicida e silicato de potássio)).

Dentre os três tricotecenos detectados nas amostras quando o fator analisado foi tratamento, o quimiotipo 15ADON foi o que apresentou maior valor de concentração, variando de 755 a 990 ug/kg (Tabela 5). Esta constatação é muito importante e chama a atenção para o fato de que ainda a legislação brasileira não estabelece limites para contaminação dos quimiotipos 3ADON, 15 ADON e D3G seja em grãos *in natura*, seja em produtos e subprodutos que passaram por algum processamento industrial. Sabendo que esses quimiotipos apresentam toxicidade e são interconversíveis a forma DON, seria fundamental também estes serem normatizados a exemplo do DON.

Tabela 5 – Análise de variância e teste de Fischer para os efeitos de tratamentos para os parâmetros desoxinivalenol (DON), 15-acetil-DON (15ADON) e (D3G).

Variáveis	DON		15ADON		D3G	
	T	N (ug/kg)	T	N (ug/kg)	T	N (ug/kg)
T1	5,3 b	222	6,3 a	795	5,7 a	339
T2	5,6 ab	321	6,3 a	824	5,6 a	269
T3	5,0 b	171	6,2 a	755	5,7 a	505
T4	6,0 a	499	6,6 a	990	5,5 a	254
p-valor (F)	0,052		0,814		0,959	
erro padrão	0,1		0,2		0,1	
CV	12,4		15,1		10,1	

* Letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste de Fischer ($\alpha < 0,10$). Os tratamentos foram: T1: aplicação de Fungicida + Silicato de Potássio (F + SK); T2: aplicação de Fungicida (F); T3: aplicação de Silicato de Potássio (SK); T4: Controle negativo (sem aplicação de fungicida e silicato de potássio). (T) = resultado transformado por $y' = \ln(x + 1)$; (N) = significa valor com resultado real sem transformação.

É possível observar que o tratamento T3, composto somente por silicato de potássio, apresentou o menor valor de concentração para DON entre os demais tratamentos, 171 ug/kg (Tabela 5). Entretanto, este não difere dos tratamentos T2 e T1. É possível ainda perceber que o tratamento T4 (controle) foi o que apresentou maior valor na concentração de DON (499ug/kg), entre todos os tratamentos. Contudo, T4 não difere significativamente de T2.

Era esperado que o tratamento com fungicida apresentasse efeito mitigador sobre o DON. No entanto, o tratamento T2, composto somente por fungicida, apesar de ter reduzido a concentração de DON em relação ao tratamento T4 (controle), não foi capaz de causar redução significativa da micotoxina. De acordo com Scaglioni *et al.* (2019), o uso de alguns fungicidas químicos apresenta eficácia variável em doenças de culturas cerealíferas, com alguns inibindo a contaminação por fungos, mas estimulando a biossíntese para produção de micotoxinas.

Como dito anteriormente o fungicida utilizado nesta pesquisa tinha em sua composição (i.e.) trifloxistrobina + tebuconazol, sendo este da Classe: “Fungicida mesostêmico e sistêmico dos grupos químicos Estrobilurina e Triazol”, de acordo com a bula do fabricante. Nesse sentido, Mesterházy *et al.* (2011) testaram dezesseis fungicidas e combinações diferentes para controle da giberela e redução de DON. No comparativo verificaram grande variação da eficiência entre os produtos e que a pré-mistura contendo tebuconazol + prothioconazol apresentou o melhor resultado, já o produto contendo somente carbendazim foi o menos eficiente, chegando a ser insatisfatório em casos mais severos para redução do DON.

A fim de compreender melhor essa diferença quanto a eficácia entre fungicidas, Feksa *et al.* (2019) estudaram, durante o período de quatro safras no sul do Brasil, os efeitos de pré-misturas de estrobilurina + triazol e fungicidas únicos para controle da giberela e da micotoxina desoxinivalenol em trigo. As pré-misturas de benzimidazol, triazol e estrobilurina + triazol para o controle da giberela, quando aplicados no início da infecção, forneceram pelo menos 70% de controle ao longo das estações de cultivo. Por outro lado, quando o objetivo era reduzir a concentração de DON, os tratamentos contendo azoxistrobina que pertencem ao grupo químico da Estrobilurina apresentaram no primeiro ano aumento significativo de 42% para DON em comparação com o controle sem aplicação (FEKSA *et al.*, 2019).

Kléber *et al.* (2023) avaliaram a eficácia de fungicidas para controle de DON, 15ADON e D3G, entre outras micotoxinas, durante quatro safras de trigo em campos cerealíferos na França. Utilizaram fungicidas comerciais a base de prothioconazol + tebuconazol, prothioconazol + fluoxastrobina e prothioconazol + trifloxistrobina. Como resultado, os autores não observaram diferenças significativas entre os fungicidas, mas observaram redução significativa dos níveis de concentração de DON bem como outras micotoxinas em relação ao tratamento controle negativo.

Getahun *et al.* (2024) verificaram os efeitos de dois fungicidas, tebuconazol e propiconazol, na cultura do trigo com uma única aplicação objetivando, entre outros, reduzir contaminação por DON em grãos de trigo produzidos em uma região da Etiópia, além disso, o estudo contou com materiais genéticos com diferentes níveis de resistência a giberela. Assim

sendo, constaram que ambos fungicidas diminuíram DON se comparados com o tratamento controle. Contudo, a combinação do fungicida tebuconazol com a variedade considerada moderadamente resistente, apresentou 67,3% de eficácia para o DON, mostrando ser o melhor dos tratamentos.

Conforme Pirgozliev *et al.* (2002), fungicidas a base de triazol apresentam alta eficácia no controle da giberela e DON. Entretanto, estrobilurina é, em geral, ineficiente no controle da giberela e a utilização em anos com temperaturas mais elevadas, aumenta a concentração de DON em comparação com controles não tratados.

Na presente pesquisa foi observado que o tratamento T2 (somente com fungicida a base de trifloxistrobina + tebuconazol) reduziu a concentração de DON (com valor de 321 ug/kg), mas não ao ponto de se diferenciar significativamente ($\alpha < 0,10$) de T4 (controle, 499 ug/kg) pelo teste de Fischer. Tal resultado está em conformidade com os resultados obtidos por Feksa *et al.* (2019), que verificaram resultados insatisfatórios quando avaliaram a redução de DON com produtos a base química da estrobilurina e triazol.

Quando o tratamento composto por fungicida recebeu a adição de silicato de potássio, tratamento T1, este proporcionou maior redução da concentração de DON em relação a T2. Todavia, T1 e T2, com 222 ug/kg e 321 ug/kg de concentração de DON respectivamente, não diferiram entre si, ao nível de significância de 10%.

O tratamento T3 somente silicato de potássio, foi o que apresentou o melhor resultado para redução de DON. T3 mesmo não diferindo estatisticamente de T1 e T2, apresentou maior redução percentual da contaminação por DON em comparação ao tratamento que não recebeu nenhuma intervenção T4 (controle). O tratamento T3 expressou o melhor resultado para controle de DON, sendo este significativo pelo teste de Fischer ($p < 0,10$).

Estes resultados sugerem que a aplicação de silicato de potássio na cultura do trigo tem potencial para induzir a resistência do trigo em relação ao patógeno, causando redução na concentração de DON e, possivelmente, de alguns derivados acetilados de DON, como o 15ADON. Quando se analisou a variável 15ADON, não foram encontrados efeitos significativos entre os tratamentos, porém mais uma vez o T3, com concentração de 15ADON igual a 755 ug/kg, apresentou melhor resultado para diminuição da referida micotoxina (Tabela 5).

Até o momento parece não haver informações disponíveis na literatura sobre controle e redução de Tricotecenos do tipo B e derivados acetilados por meio da aplicação de silicato de potássio em campos de cultivo de trigo. Tal condição dificulta comparações mais aprofundadas

com outros estudos de mesma natureza, a fim de atestar com mais segurança os resultados aqui encontrados.

Existe grande número de pesquisas e trabalhos sobre os efeitos do uso e aplicação de silicato de potássio e seus efeitos benéficos sobre as mais diversas culturas agrícolas, como trigo (LI *et al.*, 2021; AURANGZAIB *et al.*, 2022; SAUDY *et al.*, 2023; FEGHHENABI *et al.*, 2022), milho (KARVAR *et al.*, 2023; ZAIMENKO *et al.*, 2018; SORATO *et al.*, 2021), soja (RODRIGUES *et al.*, 2009; CRUZ *et al.*, 2013; FELISBERTO *et al.*, 2021), tomate (*Solanum lycopersicum*) (YANAR *et al.* 2011; DOS SANTOS *et al.*, 2022; CHIEN e HUANG, 2022) cana-de-açúcar (NIKPAY e NEJADIANO, 2014; MORAES *et al.*, 2011), morango (*Fragaria × ananassa*) (CARRÉ-MISSIO *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2014; ISMAIL *et al.*, 2022), entre outras.

No entanto, muitas destas pesquisas tratam da ação do silicato de potássio como um agente indutor de resistência para determinada doença, muitos analisam seus efeitos como mitigador de estresse climático, outros o avaliam como um nutriente e seu incremento produtivo nas culturas por meio da aplicação foliar ou via solo, alguns ainda testam seus efeitos como mitigador de estresse salino e assim por diante.

Contudo, como mencionado anteriormente, parece não haver ainda trabalhos publicados analisando os efeitos do silicato de potássio para diminuição da concentração de micotoxinas em campos de trigo. Desse modo, os resultados obtidos provavelmente são os pioneiros quanto ao uso de silicato de potássio em aplicação foliar para cultura do trigo, não em relação ao controle específico da giberela, mas para o controle da principal micotoxina causada pela giberela (desoxinivalenol).

4 CONCLUSÃO

Percentualmente o tratamento T3 (com aplicação de silicato de potássio), apresentou ligeira vantagem para diminuição da concentração de DON entre os demais tratamentos. Entretanto, não houve diferença significativa entre T2 fungicida e T1 fungicida + silicato de potássio. T3 apresentou ainda tendência como melhor tratamento para a diminuição de 15ADON.

A diferença de temperatura entre os anos influenciou no aumento do quimiotipo 15ADON e D3G, mas não para DON.

REFERÊNCIAS

AJMAL, M.; HUSSAIN, A.; ALI, A.; CHEN, H.; LIN, H. Strategies for Controlling the Sporulation in *Fusarium* spp. **J. Fungi**, v. 9, n. 10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jof9010010>. Acesso em: 13 mai. 2023.

ARAUJO, M. U. P.; OLIVEIRA, L. M.; SILVA, L. C.; PINTO, L. F. C. C.; CACIQUE, I. S.; RODRIGUES, F. A. Silicon, magnesium, and their interaction on wheat resistance against blast. **Plant Soil**, v. 490, p. 401-421, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06085-5>. Acesso em: 26 mai. 2024.

AURANGZAIB, M.; AHMAD, Z.; JALIL, M. I.; NAWAZ, F.; SHAHEEN, M. R.; AHMAD, M.; HUSSAIN, A.; EJAZ, M. K.; TABASSUM, M. A. Foliar Spray of Silicon Confers Drought Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) by Enhancing Morpho-Physiological and Antioxidant Potential. **Silicon**, v. 14, p. 4793-4807, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01271-5>. Acesso em: 15 out. 2023.

BARRO, J. P.; SANTANA, F. M.; DUFFECK, M. R.; MACHADO, F. J.; LAU, D.; SBALCHEIRO, C. C.; SCHIPANSKI, C. A.; CHAGAS, D. F.; VENANCIO, W. S.; DALLAGNOL, L. J.; GUTERRES, C. W.; KUHNEM, P.; FEKSA, H. R.; DEL PONTE, E. M. Are Demethylation Inhibitor Plus Quinone Outside Inhibitor Fungicide Premixes During Flowering Worthwhile for *Fusarium* Head Blight Control in Wheat? A Meta-Analysis. **Plant Disease**, v. 105, p. 2680-2687, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-20-2096-RE>. Acesso em: 26 mai. 2024.

BISSONNETTE, K. M.; KOLB, F. L.; AMES, K. A.; BRADLEY, C. A. Effect of Wheat Cultivar on the Concentration of *Fusarium* Mycotoxins in Wheat Stems. **Plant Disease**, v. 102, n. 12, p. 2539-2544, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-17-2034-RE>. Acesso em: 04 nov. 2023.

BORBA, V. S. DE.; LEMOS, A. C.; RODRIGUES, M. H. P.; CERQUEIRA, M. B. R.; BADIALE-FURLONG, E. Type B trichothecenes in cakes and their interaction with matrix components. **Food Control**, v. 149, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109692>. Acesso em: 22 nov. 2023.

BUERSTMAYR, H.; BAN, T.; ANDERSON, J. A. QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: A review. **Plant Breeding**, v. 128, p. 1-26, 2009. <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1439-0523.2008.01550.x>. Acesso em: 10 jul. 2023.

CARRÉ-MISSIO, V.; RODRIGUES, F. Á.; SCHURT, D. A.; REZENDE, D. C.; RIBEIRO, N. B.; ZAMBOLIM, L. Aplicação foliar de silicato de potássio, acibenzolar-S-metil e fungicidas na redução da mancha de *Pestalotia* em morango. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 3, p. 182-185, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762010000300008>. Acesso em: 19 nov. 2023.

CERQUEIRA, M. B. R.; BORBA, V. S.; RODRIGUES, M. H. P.; SILVEIRA, C. O.; BADIALE-FURLONG, E.; KUPSKI, L. Reliable and accessible method for trichothecenes type B determination in oat products. **Food Analytical Methods**, v. 16, n. 83-95, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02397-x>. Acesso em: 22 nov. 2023.

- CHIEN, Y. C.; HUANG, C. H. Effects of pH values and application methods of potassium silicate on nutrient uptake and bacterial spot of tomato. **Eur J Plant Pathol**, v. 162, n. 1, p. 119-130, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02390-w>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- COVARELLI, L.; BECCARI, G.; PRODI, A.; GENEROTTI, S.; ETRUSCHI, F.; JUAN, C.; FERRER, E.; MAÑES, J. Fusarium Species, chemotype characterization and trichothecene contamination of durum and soft wheat in an area of central Italy. **J. Sci. Food Agric**. v. 95, p. 540–551, 2015. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1002/jsfa.6772>. Acesso em: 13 mai. 2023.
- CRUZ, M. F.; RODRIGUES, F. Á.; DINIZ, A. P. C.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Potassium silicate and calcium silicate on the resistance of soybean to *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Plant Protection Bragantia**, v. 72, n. 4, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/brag.2013.052>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **Annual Review of Phytopathology**, v. 55, p. 85-107, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035312>. Acesso em: 26 mai. 2024.
- DOS SANTOS, M. M. M.; DA SILVA, G. P.; PRADO, R. M.; PINSETTA JUNIOR, J. S.; MATTIUZ, B. H. BRAUN, H. Biofortification of tomato with stabilized alkaline silicate and silicic acid, nanosilica, and potassium silicate via leaf increased ascorbic acid content and fruit firmness. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 6, p. 896-903, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1994599>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- DUFFECK, M. R.; BANDARA, A. Y.; WEERASOORIYA, D. K.; COLLINS, A. A.; JENSEN, P. J.; KULDAU, G. A.; DEL PONTE, E. M.; ESKER, P. D. Fusarium Head Blight of Small Grains in Pennsylvania: Unravelling Species Diversity, Toxin Types, Growth, and Triazole Sensitivity. **Phytopathology**, v. 112, n. 4, p. 794-802, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-21-0070-R>. Acesso em: 04 nov. 2023.
- FEGHHENABI, F.; HADI, H.; KHODAVERDILOO, H.; VAN GENUCHTEN, M. T. PESSARAKLI, M. Improving wheat (*Triticum aestivum* L.) antioxidative defense mechanisms against salinity stress by exogenous application of potassium silicate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 19, p. 2887-2905, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067776>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- FEKSA, H. R.; DO COUTO, H. T. Z.; GAROZI, R.; DE ALMEIDA, J. L.; GARDIANO, C. G.; TESSMANN, D. J. Pre and postinfection application of strobilurin-triazole premixes and single fungicides for control of fusarium head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat. **Crop Protection**, v. 117, p. 128-134, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.12.003>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- FELISBERTO, G.; MELLO PRADO, R.; OLIVEIRA, R. L. L. CARVALHO FELISBERTO, P. A. Are Nanosilica, Potassium Silicate and New Soluble Sources of Silicon Effective for Silicon Foliar Application to Soybean and Rice Plants? **Silicon**, v. 13, n. 9, p. 3217-3228, 2021. Disponível em: 19 nov. 2023. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00668-y>. Acesso em: 19 nov. 2023.

GAIRE, R.; SNELLER, C.; BROWN-GUEDIRA, G.; VAN SANFORD, D.; MOHAMMADI, M.; KOLB, F. L.; OLSON, E.; SORRELLS, M.; RUTKOSKI, J. Genetic Trends in Fusarium Head Blight Resistance from 20 Years of Winter Wheat Breeding and Cooperative Testing in the Northern U.S.A. **Plant Disease**, v. 106, n. 2, p. 364-372, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-21-0891-SR>. Acesso em: 22 mai. 2024.

GAVRILOVA, O. P.; GAGKAEVA, T. Y.; ORINA, A. S.; GOGINA, N. N. Diversity of Fusarium Species and Their Mycotoxins in Cereal Crops from the Asian Territory of Russia. **Doklady Biological Sciences**, v. 508, p. 9–19, 2023. Disponível em: [https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1134/S0012496622700156](https://doi.org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1134/S0012496622700156), acesso em: 04 jul. 2023.

GETAHUN, M.; FININSA, C.; MOHAMMED, A.; BEKEKO, Z. Integrated management of wheat (*Triticum aestivum* L.) Fusarium head blight and deoxynivalenol contamination through host resistance and fungicide application in Ethiopia. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 27, p. 195-209, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12892-023-00223-2>. Acesso em 13 abr. 2024.

HE, Y.; YANG, X.; XIA, X.; WANG, Y. H.; DONG, Y. F.; WU, L.; JIANG, P.; ZHANG, X.; JIANG, C.; MA, H.; MA, W.; LIU, C.; WHITFORD, R.; TUCKE, M. R.; ZHANG, Z.; LI, G. A phase-separated protein hub modulates resistance to Fusarium head blight in wheat. **Cell Host & Microbe**, v. 32, n. 5, p. 710-726, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chom.2024.04.002>. Acesso em: 23 mai. 2024.

HU, C.; CHEN, P.; ZHOU, X.; LI, Y.; MA, K.; LI, S.; LIU, H.; LI, L. Arms Race between the Host and Pathogen Associated with Fusarium Head Blight of Wheat. **Cells**, v. 11, 2275, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cells11152275>, acesso em: 21 mai. 2023.

ICROP - Icrop tecnologia e consultoria agrícola S.A. Gestão de irrigação e soluções meteorológicas. Dados estação fazenda – Buri-SP, 2024.

ISMAIL, M. S. M.; ABDALLAH, A. M.; ABOGHALIA, A. H. Silicon as a plant defense inducer against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) invasion on strawberry, **International Journal of Pest Management**, v. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2136778>. Acesso em: 19 nov. 2023.

KARLOVSKY, P.; SUMAN, M.; BERTHILLER, F.; DE MEESTER, J.; EISENBRAND, G.; PERRIN, I.; OSWALD, I. P.; SPEIJERS, G.; CHIODINI, A.; RECKER, T.; DUSSORT, P. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. **Mycotoxin Research**, v. 32, n. 4, p. 179–205, 2016. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12550-016-0257-7>, acesso em: 13 jun. 2023.

KARVAR, M.; AZARI, A.; RAHIMI, A.; MADDAH-HOSSEINI, S.; AHMADI-LAHIJANI, M. J. Potassium silicate reduces water consumption, improves drought tolerance, and enhances the productivity of sweet corn (*Zea mays*) under deficit irrigation. **Acta Physiol Plant**, v. 45, n. 38, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03510-7>. Acesso em: 19 nov. 2023.

KEMP, N. D.; VAUGHAN, M. M.; MCCORMICK, S. P.; BROWN, J. A.; BAKKER, M. G. *Sarocladium zeae* is a systemic endophyte of wheat and an effective biocontrol agent against

- Fusarium head blight. **Biological Control**, v. 149, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104329>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- KLEBER, A.; GRUBER-DORNINGER, C.; PLATZER, A.; PAYET, C.; NOVAK, B. Effect of Fungicide Treatment on Multi-Mycotoxin Occurrence in French Wheat during a 4-Year Period. **Toxins**, v. 15, n. 7, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins15070443>. Acesso em: 12 nov. 2023.
- LI, W.; LI, M.; XU, Y.; SHI, Y. Effects of Potassium Silicate Fertilizer on Photosynthetic Characteristics and Yield in Winter Wheat (*Triticum Aestivum* L.). **Bangladesh Journal of Botany**, v. 50, n. 4, p. 1127-1132, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3329/bjb.v50i4.57080>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- LIMA, M. I. P. M. Giberela ou brusone? Orientações para a identificação correta dessas enfermidades em trigo e em cevada. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 42 p. (Embrapa Trigo. **Documentos online**; 51). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/849828>. Acesso em: 14 mai. 2023.
- LOPES, U. P.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; PEREIRA, O. L.; FINGER, F. L. Potassium silicate and chitosan application for gray mold management in strawberry during storage. **Crop Protection**, v. 63, p. 103-106, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.013>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- MCMULLEN, M.; BERGSTROM, G.; DE WOLF, E.; DILL-MACKY, R.; HERSHMAN, D.; SHANER, G.; VAN SANFORD, D. A Unified Effort to Fight an Enemy of Wheat and Barley: Fusarium Head Blight. **Plant Disease**, v. 96, n. 12, p. 1712-1728, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0291-FE>. Acesso em: 23 mai. 2024.
- MESTERHÁZY, Á.; TÓTH, B.; VARGA, M.; BARTÓK, T.; SZABÓ-HEVÉR, Á.; FARÁDY, L.; LEHOCZKI-KRSJAK, S. Role of Fungicides, Application of Nozzle Types, and the Resistance Level of Wheat Varieties in the Control of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol. **Toxins**, v. 3, n. 11, p. 1453-1483, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins3111453>. Acesso em: 21 abr. 2024.
- MIGUEL-ROJAS, C.; CAVINDER, B.; TOWNSEND, J. P.; TRAIL, F. Comparative Transcriptomics of Fusarium graminearum and Magnaporthe oryzae Spore Germination Leading up To Infection. **mBio**, v. 14, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/mbio.02442-22>. Acesso em: 22 mai. 2024.
- MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C. DE.; MORAES, W. B.; ARAUJO, G. L.; SOUZA, A. F. DE.; SILVA, M. V. DA. Aplicação de silicato de potássio e crescimento foliar da cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife*, v. 6, n. 1, p. 59-64, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a902>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- NIKPAY, A.; SOLEYMAN NEJADIAN, E. Field Applications of Silicon-Based Fertilizers Against Sugarcane Yellow Mite *Oligonychus sacchari*. **Sugar Tech**, v. 16, p. 319-324, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0276-z>. Acesso em: 19 nov. 2023.

OKORSKI, A.; MILEWSKA, A.; PSZCZÓŁKOWSKA, A.; KARPIESIUK, K.; KOZERA, W.; DĄBROWSKA, J. A.; RADWIŃSKA, J. Prevalence of Fusarium fungi and Deoxynivalenol Levels in Winter Wheat Grain in Different Climatic Regions of Poland. **Toxins**, v. 14, n. 102, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins14020102>. Acesso em: 03 nov. 2023.

OSÓRIO, E. A.; PIEROBOM, C. R.; LUZZARDI, G. C.; FRANCO, L. B. Correlação de suscetibilidade à giberela com caracteres da planta de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 2, p. 111-114, 1998.

PAZDIORA, P. C.; CRIZEL, R. L.; DA ROSA DORNELES, K.; DA SILVA, S. M.; MORELLO, T. N.; CHAVES, F. C.; DALLAGNOL, L. J. Silicon amendment improves wheat defence against Fusarium graminearum and complements the control by fungicide of Fusarium head blight. **Plant Pathology**, v. 72, p. 53-66, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppa.13648>. Acesso em: 26 mai. 2024.

PIRGOZLIEV, S. R.; EDWARDS, S. G.; HARE, M. C.; JENKINSON, P. Effect of dose rate of azoxystrobin and metconazole on the development of Fusarium head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in wheat grain. **European Journal of Plant Pathology**, v. 108, p. 469-478, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1016010812514>. Acesso em: 18 nov. 2023.

REIS, E. M.; BOARETO, C.; DANELLI, A. L. D.; ZOLDAN, S. M. Anthesis, the infectious process and disease progress curves for fusarium head blight in wheat. **Summa Phytopathologica**, v.42, n.2, p.134-139, 2016.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; FORCELINI, C. A. Doenças do trigo (*Triticum aestivum* L.) *In*: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia**. 4ª. ed. São Paulo: Ceres, v.2, p.675. 1997.

RODRIGUES, F. A.; DUARTE, H. S. S.; DOMICIANO, G. P.; SOUZA, C. A.; KORNDÖRFER, G. H.; ZAMBOLIM, L. Foliar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. **Australasian Plant Pathology**, v. 38n. 4, p. 366-372, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AP09010>. Acesso em: 19 nov. 2023.

SAKR, N.; KURDALI, F. Silicon Root Application to Manage Fusarium Head Blight in Wheat Under Field Conditions. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, p. 261-269, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00697-0>. Acesso em: 26 mai. 2024.

SAKR, NACHAAT. Silicon reduces the severity of fusarium infection on young wheat arts *in vitro*. **The Open Agriculture Journal**, v. 16, p. 1-10, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2174/18743315-v16-e2207260>. Acesso em: 01 jun. 2024.

SAUDY, H. S.; SALEM, E. M. M.; ABD EL-MOMEN, W. R. Effect of Potassium Silicate and Irrigation on Grain Nutrient Uptake and Water Use Efficiency of Wheat Under Calcareous Soils. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 3, p. 647-654, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00729-9>. Acesso em: 06 ago. 2023.

SCAGLIONI, P. T.; FURLONG, E. B. Mitigação da contaminação fúngica e produção de micotoxinas em cultivos de trigo e milho pela aplicação de extratos de microalgas. *In*:

Nogueira, W. V. (Org.). **Realidades e Perspectivas em Ciência dos Alimentos**. 1ed. Nova Xavantina: Pantanal, 2020, v. 1, p. 6-29.

SCAGLIONI, P. T.; PAGNUSSATT, F. A.; LEMOS, A. C.; NICOLLI, C. P.; DEL PONTE, E. M.; BADIALE-FURLONG, E. Nannochloropsis sp. and Spirulina sp. as a Source of Antifungal Compounds to Mitigate Contamination by Fusarium graminearum Species Complex. **Current Microbiology**, v. 76, p. 930-938, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01663-2>. Acesso em: 02 jun. 2024.

SCHULTZ, B.; BORA, K. C.; NOGUEIRA, A. C.; AUER, C. G. Uso do silicato de potássio no controle de oídio em mudas de Eucalyptus benthamii. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 32, n. 69, p. 93-99, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/923679/uso-do-silicato-de-potassio-no-controle-de-oidio-em-mudas-de-eucalyptus-benthamii>. Acesso em: 30 jul. 2023.

SHANK, R. A.; FOROUD, N. A.; HAZENDONK, P.; EUDES, F.; BLACKWELL, B. A. Current and Future Experimental Strategies for Structural Analysis of Trichothecene Mycotoxins—A Prospectus. **Toxins**, v.3, n. 12, p.1518-1553, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins3121518>, acesso em: 13 jun. 2023.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M. D.; GILABEL, A. P.; COSTA, C. H. M. D.; CASTRO, G. S. A; FERRARI NETO, J. Efficiency and residual effect of alternative potassium sources in grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02686>. Acesso em: 19 nov. 2023.

SPANIC, V.; MARICEVIC, M.; IKIC, I.; SULYOK, M.; SARCEVIC, H. Three-Year Survey of Fusarium Multi-Metabolites/Mycotoxins Contamination in Wheat Samples in Potentially Epidemic FHB Conditions. **Agronomy**, v. 13, n. 3, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13030805>, acesso em: 13 jun. 2023.

SPOLTI, P.; GUERRA, D. S.; BADIALE-FURLONG, E.; DEL PONTE, E. M. Single and sequential applications of metconazole alone or in mixture with pyraclostrobin to improve Fusarium head blight control and wheat yield in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 2, p. 85-96, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013000200001>. Acesso em 21 abr. 2024.

STATSOFT Inc. Statistica, Data Analysis Software System, versão 7, 2004.

VAN COLLER, G. J.; ROSE, L. J.; BOUTIGNY, A. L.; WARD, T. J.; LAMPRECHT, S. C.; VILJOEN, A. The distribution and type B trichothecene chemotype of Fusarium species associated with head blight of wheat in South Africa during 2008 and 2009. **PLoS ONE**, v. 17, n. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275084>. Acesso em: 04 jul. 2023.

VAUGHAN, M.; BACKHOUSE, D.; DEL PONTE, E. D. Climate change impacts on the ecology of Fusarium graminearum species complex and susceptibility of wheat to Fusarium head blight: a review. **World Mycotoxin Journal**, v. 9, n. 5, p. 685-700, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3920/WMJ2016.2053>. Acesso em: 04 nov. 2023.

- VIEIRA, D. L.; BARBOSA, V. O.; DE SOUZA, W. C. O.; SILVA, J. G.; MALAQUIAS, J. B.; BATISTA, J. L. Potassium silicate-induced resistance against blackfly in seedlings of *Citrus reticulata*. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 49-55, 2016. Disponível em: <http://www.edpsciences.org/journal/index.cfm?edpsname=fruits>. Acesso em: 16 mai. 2024.
- WACHOWSKA, U.; PLUSKOTA, W.; JASTRZĘBSKI, J. P.; GŁOWACKA, K.; STUPER, K. S.; BALCERZAK, M. A method for reducing the concentrations of *Fusarium graminearum* trichothecenes in durum wheat grain with the use of *Debaryomyces hansenii*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 397, n. 16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110211>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- XU, X.; NICHOLSON, P. Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. **Annual Review of Phytopathology**, v. 47, p. 83-103, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081737>. Acesso em: 26 mai. 2024.
- YANAR, Y.; YANAR, D.; GEBOLOGLU, N. Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on tomato by foliar sprays of liquid potassium silicate (K_2SiO_3). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 16, p. 3121-3123, 2011. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/AJB>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, n. 6, p. 415-421, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>. Acesso em: 27 ago. 2023.
- ZAIMENKO, N. V.; DIDYK, N. P.; PAVLIUCHENKO, N. A.; IVANYTSKA, B. O.; KHARYTONOVA, I. P.; ROSITSKA, N. V. Natural silicates mixed with organic fertilizers enhance corn adaptation to salt stress and improve physical characteristics of sandy soil. **Journal of Crop Improvement**, v. 32, n. 2, p. 188-207, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15427528.2017.1405856>. Acesso em: 19 nov 2023.
- ZHANG, D.; CHEN, G.; ZHANG, H.; JIN, N.; GU, C.; WENG, S.; WANG, Q.; CHEN, Y. Integration of spectroscopy and image for identifying fusarium damage in wheat kernels. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 236, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118344>. Acesso em: 10 jul. 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as variáveis agronômicas os tratamentos não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) em nenhum dos experimentos. Os tratamentos T2 fungicida e T3 silicato de potássio, apresentaram desempenhos semelhantes. O emprego de SK quando realizado dentro de estratégias de manejo integrado da giberela do trigo pode proporcionar maior retorno sobre o investimento.

A cultivar moderadamente resistente apresentou menor índice da doença em relação a suscetível. A cultivar MR apresentou maior capacidade de resposta ao estímulo de proteção nos dois ambientes de cultivo.

O silicato de potássio demonstra ter potencial de utilização como insumo indutor de resistência para giberela do trigo. O tratamento T3, SK, apresentou ligeira vantagem de resposta para diminuição da concentração de DON entre os demais tratamentos. Entretanto, não houve diferença significativa pelo teste de Fischer ($p > 0,10$) entre T2 fungicida e T1 fungicida + silicato de potássio. T3 apresentou ainda tendência como melhor tratamento para a diminuição de 15ADON.