

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Tese de doutorado

**Silício, resistência parcial e fungicida no manejo da
giberela do trigo**

Paulo Cesar Pazdiora

Pelotas, 2019.

PAULO CESAR PAZDIORA

Silício, resistência parcial e fungicida no manejo da giberela do trigo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Fitossanidade (área do conhecimento: Fitopatologia).

Orientador: Leandro José Dallagnol, Dr.

Pelotas, 2019.

Banca examinadora

Cesar Valmor Rombaldi, Dr.

Daniel Debona, Dr.

Edemar Antonio Rossetto, Dr.

Gustavo Maia Souza, Dr.

Leandro José Dallagnol, Dr.
(Orientador)

*Aos meus pais Elena e Clóvis;
À minha irmã Vânia Carla;
À meu irmão Gerson Antônio.*

DEDICO

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus por confiar mais esta oportunidade.

Aos meus pais Clóvis e Elena Pazdiora, pelo constante apoio, inclusive nas horas difíceis.

A meus irmãos Vânia e Gerson pelo companheirismo e pelos momentos de descontração.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, por proporcionarem condições de realizar este trabalho.

Ao Laboratório de Interação Planta-Patógeno por ceder o espaço para realização dos experimentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro do projeto e da bolsa (processos 403292-2016-6 e 140699-2015/5).

Ao Professor Leandro José Dallagnol pela confiança em mim depositada, orientação e por seu exemplo de profissionalismo e competência.

Aos professores Jerônimo Vieira de Araujo Filho e Edegar Antônio Rossetto, pela orientação e pelo auxílio prestado.

Ao professores Fabio Clasen Chaves e ao Laboratório de Cromatografia e Espectrometria de Massas (LaCEM) pela disponibilidade de espaço para realização de parte do trabalho.

À professora Cândida Renata Jacobsen de Farias e ao Laboratório de Fungos Fitopatogênicos pela disponibilidade de espaço para realização de parte do trabalho.

Ao Centro Agropecuário da Palma por ceder espaço para realização dos experimentos de campo.

Às empresas Biotrigo Genética e CCGL Tec por fornecer as sementes utilizadas nos experimentos.

Aos Laboratoristas Rosária e Sérgio Freitas, pelo auxílio nas atividades laboratoriais e pela troca de idéias.

Aos colegas Keilor Dornelles, Jessica Hoffmann e Rosane Lopes Crizel pela troca de ideias e pelo auxílio prestado durante todo período do doutorado.

Aos colegas Juan Felipe Rivere Hernandez,

Aos colegas Thomas Natali Morello, Sabrina Silva, Fernando Rossato Milanesi e Ricardo Peglow Crespo pelo auxílio prestado, risadas e pelos momentos de descontração.

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigado!

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado.”

(Roberto Shinyashiki)

Resumo

PAZDIORA, Paulo Cesar. **Silício, resistência parcial e fungicida no manejo da giberela do trigo** 2019. 76F. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A giberela, causada por espécies do complexo *Fusarium graminearum* (*F. graminearum* sensu lato), é uma das principais doenças do trigo (*Triticum aestivum*). O controle da giberela é difícil devido a indisponibilidade de cultivares resistentes e a eficiência variável de fungicidas. Neste estudo foi avaliado o efeito da associação da resistência parcial em cultivares, [Tbio Toruk (moderadamente suscetível) e Tbio Sossego (moderadamente resistente)] ao fornecimento de silício (Si) (silicato de cálcio) às plantas e à aplicação de fungicida (protioconazol + trifloxistrobina) nas espigas para o controle da giberela, produtividade e acúmulo de micotoxina em grãos. No experimento de campo foi avaliado a incidência e a severidade da giberela, a produtividade de grãos, o peso de hectolitro, o peso de mil sementes, a percentagem de grão cheios, chochos e giberelados, a incidência de *Fusarium* em grãos e o acúmulo da micotoxina deoxinivalenol (DON). Em casa de vegetação foram realizados dois experimentos: um para avaliar o efeito do Si e da resistência parcial na intensidade da doença [período de incubação (PI), severidade e acúmulo de DON] em função do método de inoculação (em flor única ou em toda espiga); e um segundo para avaliar o efeito do Si, da resistência parcial e do momento da aplicação do fungicida na severidade da giberela e no acúmulo de DON. No estudo de campo o fornecimento de Si no solo aumentou a sua concentração em até 72 e 29% respectivamente na folha e na espiga. Os fatores cultivar, Si e fungicida foram significativos, e reduziram a severidade da doença. A maior produtividade foi encontrada na interação da aplicação de fungicida e da cultivar Tbio toruk, seguida da interação Si e fungicida. O menor acúmulo de DON foi observado na interação entre Tbio Sossego, suprido com Si e tratado com fungicida. As variáveis incidência, área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), peso de hectolitro, peso de mil sementes, percentagem de grão cheios, chochos e giberelados e incidência de *Fusarium* também foram alterados pelos fatores estudados. No estudo de casa de vegetação a concentração de Si foi 57% maior nas plantas supridas com o elemento. O fornecimento de Si aumentou o PI em 15% e reduziu em até 32, 21 e 53% a severidade, AACPD e acúmulo de DON respectivamente. A cultivar Tbio Sossego reduziu em até 29 e 25% a severidade final e AACPD. A aplicação preventiva de fungicida destacou-se na redução da severidade e AACPD e foi potencializada quando as plantas foram supridas com Si na cultivar Tbio Toruk. Os resultados deste estudo mostram o potencial do Si para incrementar a resistência de plantas de trigo à giberela indicando que a fertilização silicata pode ser inserida no manejo integrado da doença.

Palavras chave: *Triticum aestivum*; *Fusarium graminearum*; deoxinivalenol; controle de doenças; segurança alimentar

Abstract

PAZDIORA, Paulo Cesar. **Silicon, partial resistance and fungicide on fusarium head blight wheat management**. 2019. 76F. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The Fusarium head blight (FHB), caused *Fusarium graminearum* species complex (*F. graminearum sensu lato*), is among the main wheat (*Triticum aestivum*) diseases. The control of FHB is hard due to the unavailability of resistant cultivars and the variable efficiency of fungicides. In this study was evaluated the effect of the association of partial resistance on the cultivars [Tbio Toruk (moderately susceptible) and Tbio Sossego (moderately resistant)] to the supply of silicon (Si) (calcium silicate) to plants and the spraying of fungicide (prothioconazole + trifloxystrobin) on the spikes on the control of FHB, yield and accumulation of mycotoxin in grains. In the field experiment it was evaluated the incidence and severity of FHB, grain yield, hectoliter weight, weight of one thousand seeds, percentage of full grain, shriveled kernels and fusarium damaged kernels, *Fusarium* spp. incidence on grains and the accumulation of mycotoxin deoxynivalenol (DON). In the greenhouse, two experiments were carried out: first to evaluate the effect of Si and partial resistance on the intensity of the disease [incubation period IP, severity and DON accumulation] as a function of the inoculation method (single flower or all spike); and second to evaluate the effect of Si, partial resistance and the moment of application of fungicide on the severity of FHB and DON accumulation. In the field study the Si supply increased its concentration by up to 72 and 29%, respectively, in the leaf and spike. The factors cultivar, Si and fungicide were significant, and reduced the disease severity. The highest yield was obtained in the interaction between fungicide application and Tbio toruk cultivar, followed by Si and fungicide interaction. The lowest accumulation of DON was observed in the interaction between Tbio Sossego, supplied with Si and treated with fungicide. The disease incidence, area under disease progress curve (AUDPC), hectoliter weight, weight of one thousand seeds, percentage of full grain, shriveled kernels and fusarium damaged kernels were also altered by the factors studied. In the greenhouse study the concentration of Si was 57% higher in the plants supplied with the element. The Si supply increased the IP by 15% and reduced the severity, AUDPC and DON accumulation by up to 32, 21 and 53%, respectively. The cultivar Tbio Sossego reduced the final severity and AUDPC by up to 29, 25%. The preventive application of fungicide was highlighted in the reduction of severity and AUDPC and was potentiated when the plants were supplied with Si in the cultivar Tbio Toruk. The results of this study show the potential of Si to increase the resistance of wheat plants to giberela indicating that silicon fertilization can be an option to be included in the integrated management of the disease.

Keywords: *Triticum aestivum*; *Fusarium graminearum*; deoxynivalenol; disease control; food security

Lista de tabelas

- Tabela 1. Incidência final da giberela, severidade final da giberela e área abaixo da curva de progresso da giberela (AACPD) nas cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.30
- Tabela 2. Produtividade de grãos, em quilogramas por hectare, e peso de mil sementes (PMS), em gramas, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.31
- Tabela 3. Peso do hectolitro (PH) das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.32
- Tabela 4. Percentagens de grão cheio (PGC), grão chocho (PGCH) e grãos giberelados, oriundos da trilha mecânica, nas cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.32
- Tabela 5. Percentagem de grãos cheios, (PGC), grãos chocho (PGCH) e grão giberelado (PGG), obtidos por debulha manual, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.33
- Tabela 6. Incidência de *Fusarium* sp. (IF) em grãos de trigo, obtidos por debulha mecânica, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.35
- Tabela 7. Concentração de deoxinivalenol (DON) em grãos de trigo, obtidos por debulha mecânica, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2016 e 2017 Pelotas, RS/ UFPel, 2019.36

Tabela 8. Concentração de deoxinivalenol (DON) em grãos de trigo, obtidos por debulha manual das espigas, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.	37
Tabela 9. Concentração de silício (g.kg ⁻¹) na folha (Sif) e na espiga (Sie) de plantas de trigo cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si), nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.	38
Tabela 10. Período de incubação (PI), severidade final (SF) e e área abaixo da curva de progresso da giberela (AACPD) nas cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si), inoculadas com <i>Fusarium graminearum</i> pelo método de flor única (Flor) ou aspersão de esporos (ASP). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.	54
Tabela 11. Concentração de deoxinivalenol (DON) em grãos de trigo, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) inoculados pelo método de flor única (flor) ou aspersão (ASP) com água (água) ou <i>Fusarium graminearum</i> (Fus.). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.	55
Tabela 12. Concentração de silício (Si), em mg.Kg ⁻¹ de tecido seco, na folha (folha) e na espiga (espiga) de plantas de trigo, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.	56
Tabela 13. Severidade final de giberela em espigas de trigo das cultivares TBIO Toruk (Tbio Toruk) e TBIO Sossego (Tbio Sossego) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) sem aplicação de fungicida (Test) e com aplicação de fungicida 1 dia antes da inoculação (-1 dia) e 1 (+1 dia), 3 (+3 dia) e 5 (+5 dias) dias após a inoculação de <i>Fusarium graminearum</i> . Pelotas, RS/ UFPel, 2019.	57
Tabela 14. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de giberela em espigas de trigo das cultivares TBIO Toruk (Tbio Toruk) e TBIO Sossego (Tbio Sossego) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) sem aplicação de fungicida (Test) e com aplicação de fungicida 1 dia antes da inoculação (-1dia) e 1 (+1dia), 3 (+3dia) e 5 (+5 dias) dias após a inoculação de <i>Fusarium graminearum</i> . Pelotas, RS/ UFPel, 2019.....	58
Tabela 15. Concentração de silício (Si), em mg.Kg ⁻¹ de tecido seco, na folha (folha) e na espiga (espiga) de plantas de trigo, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.	58

Sumário

1.	Introdução.....	14
2.	CAPITULO I - Silício associado a fungicida e resistência genética no manejo da giberela e na redução de micotoxinas em grãos de trigo.....	20
2.1.	Introdução.....	20
2.2.	Material e métodos	23
2.2.1.	Delineamento experimental	24
2.2.2.	Características do solo, aplicação dos fertilizantes e manejo cultural	24
2.2.3.	Avaliação da incidência e severidade da giberela	25
2.2.4.	Determinação do rendimento.....	26
2.2.5.	Teste de sanidade dos grãos.....	27
2.2.6.	Concentrações de Si nas folhas e nas espigas	27
2.2.7.	Quantificação de deoxinivalenol em grãos	27
2.2.7.1.	Método de extração da micotoxina e purificação das amostras.....	28
2.2.7.2.	Instrumentação e condições da análise	28
2.3.	Resultados.....	29
2.1.	Discussão	38
3.	CAPITULO II - Componentes de resistência do trigo à giberela e a concentração de deoxinivalenol em grãos são alterados por silício e fungicida	44
3.1.	Introdução.....	44
3.2.	Material e métodos	47
3.2.1.	Material vegetal e características do solo	47
3.2.2.	Delineamento experimental	48
3.2.3.	Pulverização do fungicida	49
3.2.4.	Inóculo e inoculação das plantas.....	49
3.2.5.	Avaliações da doença e de rendimento	50

3.2.6. Análise de micotoxinas	50
3.2.6.1. Método de extração e purificação das amostras.....	51
3.2.6.2. Instrumentação e condições da análise	51
3.2.7. Análise da concentração de Si	52
3.2.8. Análise estatística	52
3.3. Resultados.....	52
3.4. Discussão	59
4. Conclusões Gerais	63
5. Referencias.....	64

1. Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo, e no Brasil ocupa a quarta posição em volumes de grãos ficando atrás apenas da soja, milho e arroz (CONAB, 2019). Historicamente, altas intensidades de doenças são apontadas como um dos principais fatores responsáveis pela redução na produtividade de grãos (FORCELINI; REIS, 2005; REIS; CASA, 2007). As doenças da espiga e as foliares possuem maior potencial de dano na cultura do trigo (REES; PLATZ, 1983; REIS; CASA, 2007), e dentre as doenças da espiga, destaca-se a giberela como principal, com potencial de perdas para a cultura que podem chegar até 100 % (McMullen et al. 1997). A giberela é causada por espécies membros do complexo *Fusarium*, onde destaca-se o *Fusarium graminearum* Schwabe (*Gibberella zeae* (Schwein.) Petch.) (GOSWAMI; KISTLER, 2004) pela severidade e produção de micotoxinas. Este patógeno ataca as espigas do trigo desde o período da floração até o início do enchimento de grãos (MCMULLEN; JONES; GALLEMBERG, 1997).

Os danos ocasionados pelo ataque do patógeno vão além daqueles causados diretos na produtividade e qualidade dos grãos, pois este patógeno produz micotoxinas que são acumuladas nos grãos, o que torna estes impróprios para o consumo humano e animal (CREPPY, 2002; SNIJDERS, 1990). As micotoxinas são metabolitos secundários que podem ocasionar intoxicação tanto em humanos e animais (DE BOEVRE; GRANICZKOWSKA; DE SAEGER, 2015; ZAIN, 2011). As micotoxinas encontradas em trigo afetado por *Fusarium* spp. variam de acordo com a espécie do patógeno, porém os mais encontrados são o deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV), zearalenona (ZEN), monoacetyl-deoxynivalenols (AcDON), fusarenona X (FUS), T-2 toxin (T2), diacetoxyscirpenol (DAS), beauvericina (BEA) (BOTTALICO; PERRONE, 2002). Os sintomas em humanos que ingerem as

micotoxinas incluem náusea, vômito e diarreia, dor abdominal, dor de cabeça, tontura e febre (ANTONISSEN et al., 2014; PERAICA et al., 1999; SOBROVA, et al., 2010; ZAIN, 2011). Animais monogástricos apresentam maior suscetibilidade à ingestão de micotoxinas. Em suínos, por exemplo, alimentados com ração contaminados apresentam redução na ingestão de alimento bem como náuseas (ESCRIVA; FONT; MANYES, 2015; RICHARD, 1998).

A sobrevivência do patógeno e que se constitui no inóculo inicial ocorre por meio de sementes contaminadas e, principalmente, nos restos culturais (DILL-MACKY; JONES, 2000; KELLER et al., 2010), nos quais o patógeno tem capacidade de viver saprofiticamente e quando as condições estão favoráveis os esporos são disseminados através do vento e da chuva (PAUL et al., 2004). Nos restos culturais, em períodos de ambiente desfavorável, o patógeno desenvolve sua fase teleomórfica com a formação de peritécios com ascas clavadas contendo 8 ascósporos hialinos de 3-5 X 17 – 25 µm, apresentando de 0 a 4 septos (DILL-MACKY; JONES, 2000; REIS; CASA, 2005; SCHAAFSMA et al., 2001). A dispersão dos ascósporos ocorre pelo vento a longas distâncias até o sítio de infecção (MALDONADO - RAMIREZ et al., 2005; SCHMALE et al., 2006). Na fase anamórfica, o fungo produz fiálides laterais curtas e conídios falciformes medindo 2,5 – 5 x 35 – 62 µm apresentando de 3 a 7 septos (REIS; CASA, 2005), os quais são disseminados por respingos de chuva e vento a curtas distâncias para plantas e/ou lavouras vizinhas (PRUSSIN, 2014). Assim, em lavouras nas quais é praticado o sistema de plantio direto com monocultivo do trigo na estação fria, a tendência é uma maior incidência e severidade da giberela (REIS e CARMONA, 2013; DILL-MACKY; JONES, 2000).

A giberela é considerada uma doença monocíclica, sendo considerado os ascósporos como o principal inóculo inicial (KHONGA; SUTTON, 1988; PARRY; JENKINSON; MCLEOD, 1995; SUTTON, 1982). A penetração do patógeno nos tecidos do hospedeiro ocorre de 36 até 48 horas após a inoculação (Kang e Buchenauer, 2000), requerendo temperatura média de 20°C, e aumentando a incidência da doença com o prolongamento do molhamento da espiga (REIS; CASA, 2005). O estágio fenológico no qual ocorrem as infecções é, principalmente, o florescimento, sendo o período mais propício para a infecção o momento da extrusão das anteras (ATANASOFF, 1920; PUGH et al., 1933). Os órgãos afetados pelo

patógeno são as anteras, ovário, lema, pálea, glumas e ráquis (PUGH et al. 1933; KANG; BUCHENAUER 2000; WANJIRU et al. 2002; SCHROEDER; CHRISTENSEN 1963), inviabilizando assim a produção do grãos na espigeta afetada, ou em casos da colonização parcial, os grãos produzidos ficam deformados com menor peso sendo considerados “grãos giberelados” (REIS; CASA, 2005).

As cultivares de trigo disponíveis no mercado possuem níveis de resistência parcial contra a giberela, porém nenhuma apresenta resistência completa (GAGKAEVA et al 2018; MENDES et al 2018; PAUL et al 2019; WEGULO et. al., 2015). A resistência parcial desenvolvida pelo trigo contra giberela atualmente é classificada em cinco tipos diferentes: a resistência tipo I, que é a resistência contra o processo inicial de infecção; a resistência do tipo II, refere-se a resistência desenvolvida pela planta contra o progresso da doença na espiga; a resistência do tipo III é a resistência desenvolvida contra o acúmulo de deoxinivalenol (DON), esta não está correlacionada com as resistências do tipo I e II; a resistência do tipo IV é a desenvolvida contra a infecção dos grãos, quando esta for desenvolvida o número de grãos giberelados é diminuído mesmo que a espiga esteja infectada; a resistência do tipo V refere-se a tolerância das plantas de trigo, levando em consideração a produtividade, mesmo quando as espigas apresentarem maior severidade da doença (MESTERHAZY, 1995).

A dificuldade de manejo da giberela do trigo está ligada estritamente a particularidades do patossistema, como órgão afetado e elevada dependência das condições ambientais favoráveis no período de suscetibilidade da cultura (REIS; CASA, 2005). Assim, a grande disponibilidade de esporos em áreas de cultivo (DEL PONTE; SHAH; BERGSTROM, 2003; DILL-MACKY; JONES, 2000), associados a períodos chuvosos no período reprodutivo da cultura (COWGER et al., 2009; HERNANDEZ NOPSA et al., 2012), praticamente tornam inevitável a incidência da giberela, sendo aconselhado desta forma o controle preventivo. O uso de fungicidas é a medida mais eficiente e a mais utilizada atualmente, porém esta prática é cara e não evita o surgimento da doença (BLANDINO et al., 2012). O manejo integrado como rotação de culturas, uso de cultivares com maior nível de resistência parcial e aplicação de fungicidas têm se mostrado apropriadas para redução da intensidade da doença (SHAH et al., 2018).

Dadas as particularidades mencionadas acima do patossistema, outras práticas de manejo podem ser promissoras, como a indução de resistência e aplicação de produtos de controle alternativo. Neste contexto, uma alternativa que tem se mostrado eficiente no controle de doenças de plantas é o fornecimento de Si (DEBONA et al., 2017). Existem várias fontes de Si que pode ser usadas para aplicação a campo, porém no Brasil a fonte de Si com tal potencial é o silicato de cálcio, proveniente da escória de siderúrgica. Este produto em geral disponibiliza Si, cálcio e magnésio, além de possuir poder tamponante que corrige o pH do solo, podendo, assim, substituir o calcário (NING et al., 2014).

A aplicação de silicato de cálcio no solo disponibiliza o elemento Si que é absorvido pelas plantas. Plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas têm condições de absorver e acumular Si (DALLAGNOL et al., 2009; DEBONA et al., 2017; MA et al., 2002; MA; YAMAJI; MITANI-UENO, 2011). A absorção do Si pela raiz é na forma de ácido monossilícico, (HAYASAKA; FUJII; ISHIGURO 2008; KANTO et al., 2004; KIM et al., 2002; MA; YAMAJI, 2006; YOSHIDA; OHNISHI; KITAGISHI, 1962) e ocorre através do fluxo de água, de forma passiva, e na forma ativa, como reportado em algumas gramíneas nas quais foram identificados alguns genes que codificam transportadores de influxo e efluxo de Si (LIANG et al., 2005; MA; YAMAJI, 2008; MA; YAMAJI; MITANI-UENO, 2011; YAMAJI; MA, 2009). Até o presente momento são conhecidos 4 genes que contribuem na absorção ativa das plantas, sendo eles Lsi1, Lsi2, Lsi3 e Lsi6 e desta forma promovendo o acúmulo de maiores quantidades de Si nos seus tecidos (SAKURAI et al., 2017).

Plantas que tem capacidade de acumular mais de 10 g kg⁻¹ da matéria seca em Si são consideradas plantas acumuladoras do elemento (TAKAHASHI; MA; MIYAKE, 1990). Estudos mostram que o trigo é considerado uma planta acumuladora de Si (MAYLAND et al., 1991; MONTPETIT et al., 2012) podendo acumular até 16 g kg⁻¹ de Si em seus tecidos foliares (PAZDIORA, et al., 2018). Uma vez absorvido pelas raízes, o Si é transportado até a parte aérea ocasionando alterações bioquímicas e estruturais aos tecidos devido a sua polimerização junto à epiderme (KIM et al., 2002; MA et al., 2001).

Os primeiros estudos associando o fornecimento de Si para plantas, na redução da severidade de doenças levantou a hipótese da formação de uma barreira

física, através da deposição de sílica amorfa na epiderme foliar, o que poderia atuar como uma espécie de barreira contra a penetração de patógenos (JONES; HANDRECK, 1967; TAKAHASHI, 1995; YOSHIDA, 1975). Bélanger, Benhamou e Menzies, (2003) em estudos realizados com trigo suprido com Si e inoculados com *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* observaram um reforçamento da epiderme bem como maior deposição de calose e formação de papilas, quando comparado com plantas que não receberam Si. Embora existam vários relatos do efeito na estrutura física das plantas conferidas pelo fornecimento de Si, estudos recentes apontam que o Si atua como potencializador dos mecanismos de defesa das plantas através de alterações em mecanismos ativos de defesa (VAN BOCKHAVEN; DE VLEESSCHAUWER; HOFTE, 2013).

Alterações de várias defesas bioquímicas da planta são responsáveis por impedir a penetração e colonização dos tecidos das plantas por patógenos. (CHERIF et al., 1992; DALLAGNOL et al., 2009, 2012, 2014; RODRIGUES et al., 2003, 2004). Dentre as defesas bioquímicas potencializados pelo fornecimento de Si nas plantas contra patógenos podem ser citadas a antecipação e maior produção de fitoalexinas e compostos fenólicos, além da antecipação e alteração na atividade de enzimas envolvidas no sistema antioxidante como as peroxidases, catalases e superóxido dismutases, bem como as de ação direta sobre o patógeno como quitinases e glucanases (CHERIF et al., 1992; DALLAGNOL et al., 2011; 2015 DOMICIANO, et al., 2010; DORNELES et al., 2017; 2018; RODRIGUES et al., 2004; XAVIER FILHA et al., 2011).

Estudos realizados por Domiciano et al., (2010) mostram que plantas de trigo supridas com Si e inoculadas com *Cochliobolus sativus* apresentaram uma maior atividade nas enzimas quitinase e peroxidase, bem como um maior acúmulo de compostos fenólicos solúveis totais, além de severidade reduzida da doença. Resultados similares foram observados por Xavier Filha et al., (2011) quando testaram a aplicação de Si em plantas de trigo desafiadas por *Magnaporthe oryzae* porém não foram observadas diferenças na severidade final da doença. Para mancha amarela, estudos mostram que o Si aplicado via solo afeta componentes monocíclicos da doença e reduz a sua severidade (PAZDIORA et al., 2018). Estudos bioquímicos envolvendo o fornecimento de Si para plantas de trigo inoculadas com *Pyrenophora*

tritici-repentis, resultaram em alterações na atividade de enzimas envolvidas nos mecanismos ativos de defesa, o que potencializou as respostas de defesa, resultando em menor dano oxidativo e maior acúmulo de compostos fenólicos, contra a mancha amarela, ocasionando menor severidade da doença (DORNELLES et al., 2017; 2018).

Considerando os resultados positivos obtidos pela aplicação de Si no controle de doenças do trigo destacadas acima, e diante da limitada disponibilidade de medidas eficazes para a redução da severidade da giberela do trigo, acredita-se que o fornecimento de Si é uma estratégia a ser incorporada no manejo integrado dessa doença.

Para verificar a hipótese, estudos em caso de vegetação e em campo foram realizados para avaliar a associação de resistência parcial em cultivares de trigo, fornecimento de Si via solo e aplicação de fungicida durante o florescimento do trigo na intensidade da giberela, parâmetros de rendimento e qualidade do grão e no acúmulo de micotoxina nos mesmos.

2. CAPITULO I - Silício associado a fungicida e resistência genética no manejo da giberela e na redução de micotoxinas em grãos de trigo

2.1. Introdução

O trigo é o segundo cereal mais produzido e o cereal mais consumido mundialmente (FAO, 2015). Doenças são apontadas, globalmente, como um dos principais fatores responsáveis por danos no rendimento do trigo sendo, as mesmas, consideradas ameaças à segurança alimentar (FORCELINI; REIS, 2005; REIS; CASA, 2007; SAVARY et al., 2012). Dentre as doenças do trigo, a giberela, causada por um complexo de fungos do gênero *Fusarium*, predominantemente *Fusarium graminearum* (Schwabe) (telomorfo *Gibberella zeae* (Schwein.) Petch), causa reduções no rendimento de grãos superior a 50% e compromete sua qualidade devido à produção de micotoxinas pelas espécies de *Fusarium*, especialmente tricothecenos como o deoxinivalenol (DON), que são tóxicos a humanos e animais (BAI & SHANER, 1994; McMULLEN et al 2012; DEL PONTE et al., 2004; DEL PONTE et al., 2009; DEL PONTE et al., 2015). Os níveis máximos de DON aceitos em alimentos variam entre diferentes países, por exemplo, no Brasil é de 1250 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, para trigo integral, (ANVISA - RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 138, DE 8 DE FEVEREIRO DE 2017). Na União Europeia o nível máximo também é de 1250 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ [COMMISSION REGULATION (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006]. Assim quando há ocorrência de micotoxinas nos grãos acima dos limites tolerados pode ser considerada perda de 100%, uma vez que o lote de grãos deve ser descartado. No Brasil, uma pesquisa baseada em oito anos de análise mostrou a

presença de DON em 73% das amostras de grãos de trigo, sendo 30% acima do limite máximo tolerado ($1250 \mu\text{g.kg}^{-1}$) (MALLMANN et al., 2017).

Do ponto de vista epidemiológico, a giberela do trigo é uma doença monocíclica, e alguns estudos consideram ascósporos como a principal inóculo (KHONGA e SUTTON, 1988; PARRY; JENKINSON; MCLEOD, 1995; SUTTON, 1982), porém não se pode afirmar que macroconídios de *Fusarium* não tenham importância para o patossistema (OSBORNE; STEIN 2007). A incidência e a severidade da doença são dependentes das condições climáticas para o seu estabelecimento, por isso, as epidemias variam de ano a ano (XU et al, 2003; SHANG et al 2018). A giberela é favorecida por clima quente e úmido ou chuvas frequentes no período de antese. Este período é considerado o mais crítico, pois corresponde ao momento em que os graus de resistência tanto para infecção primária quanto a propagação da hifa fúngica na planta são baixos (KIKOT et al., 2009; DEL PONTE et al., 2004; GILBERT; HABER, 2013). Não obstante, pelo fato da giberela ser bastante dependente de condições climáticas, os problemas com a doença, como frequência de epidemias e danos qualitativos e quantitativos no rendimento, podem aumentar num futuro próximo em função do aumento das temperaturas causado pelo aquecimento global (SHAH et al., 2014).

A giberela, dentre as doenças da cultura do trigo, é uma das que possui o controle mais difícil (REIS e CARMONA, 2013). A grande disponibilidade de esporos em áreas de cultivo, tanto devido ao sistema de manejo baseado em monocultura e plantio direto quanto pela facilidade de movimentação dos ascósporos, (DEL PONTE; SHAH; BERGSTROM, 2003; DILL-MACKY; JONES, 2000), associados a períodos chuvosos na fase de florescimento da planta (COWGER et al., 2009; HERNANDEZ NOPSA et al., 2012) tornam inevitável a incidência desta doença. Assim, o manejo da giberela do trigo deve envolver a integração de várias estratégias como redução do inóculo inicial (pouco efetivo), época de semeadura, resistência genética, indução de resistência e aplicação de fungicidas (RANSOM; McMULLEN et al., 2008; REIS e CARMONA, 2013).

A diversificação da época de semeadura oferece uma opção prática para fugir das condições climáticas favoráveis a infecção (REIS; CARMONA, 2013). O controle químico com fungicidas, apesar de amplamente utilizado para conter a doença,

apresenta eficiência variável, e esta é altamente dependente do momento da aplicação, sendo que quando realizada no início da antese tendem a reduzir a incidência da doença, enquanto, que aplicações mais tardias tendem a reduzir a concentração de micotoxinas no grão, mas não reduzem a incidência da giberela (D'ANGELO et al., 2014; YOSHIDA et al., 2012). Não obstante, há estudos que indicam a possibilidade de ocorrência de resistência do *F. graminearum* a fungicidas (YIN et al., 2009). Cultivares com resistência genética completa contra giberela ainda não foram obtidas, assim a utilização de cultivares com resistência parcial tem sido a opção disponível aos produtores (WEGULO et al., 2015). Normalmente, a elevada resistência parcial dos genótipos é associada com maior capacidade de defesa da planta por meio de oposições de parede celular, como formação da papila e aumento do conteúdo de lignina (WALTER et al., 2010; DING et al., 2011), e aumento nos mecanismos bioquímicos de defesa como inibidores de xilanase, quitinase, poligalacturonase, glucanase, peroxidases, proteínas relacionadas a patogênese (PR-1, PR-2, PR-3, PR-4 e PR-5) e compostos fenólicos (WALTER et al., 2010; DING et al., 2011; PAGNUSSATT et al., 2014; PRITSCH et al., 2000). Considerando esses aspectos de resistência parcial, uma importante estratégia para manejo da giberela é potencializar os mecanismos de defesa da planta de trigo de modo a restringir a colonização do patógeno nas espigas.

O silício (Si) surge como alternativa atraente para potencializar os mecanismos de defesa da planta de trigo e compor o manejo integrado da giberela. A redução na intensidade de várias doenças foliares pelo Si já foi relatada em vários cereais de inverno (RODRIGUES et al., 2015; DEBONA, et al., 2018). Em trigo, alterações em componentes monocíclicos (período de incubação, eficiência de infecção, taxa de expansão da lesão, tamanho da lesão ou número de lesões por unidade de área foliar) das doenças foram associadas à redução na severidade da brusone, estria bacteriana, mancha marrom, oídio, septoriose e mancha amarela pela aplicação de Si (BÉLANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; RODGERS-GRAY; SHAW, 2004; WIESE et al., 2005; SILVA et al., 2010; DOMICIANO et al., 2011; XAVIER FILHA et al., 2011; DORNELES et al., 2017; PAZDIORA et al., 2018).

O efeito do Si na redução da intensidade das doenças é atribuído basicamente a dois mecanismos que atuam de forma aditiva e ou sinérgica: barreira física e

barreira bioquímica (DEBONA et al., 2017). A barreira física resulta tanto do aumento da rigidez da cutícula, devido à polimerização do Si abaixo da mesma, como pelo reforço da parede celular (DEBONA et al., 2017). A barreira bioquímica induzida pelo Si, por sua vez, complementaria a barreira física em decorrência da deposição de papila e da síntese de compostos fenólicos e fitoalexinas nos sítios de infecção, como descrito para trigo, onde estes fenômenos comprometeram a funcionalidade do haustório de *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (BÉLANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; RÉMUS-BOREL et al., 2005). Em trigo também foi demonstrado que o Si promoveu a rota dos fenilpropanoides incrementando a concentração de compostos fenólicos com efeito deletério para *P. tritici-repentis*, especialmente no início da patogênese, e contra *Magnaporthe oryzae* patótipo *Triticum* (DORNELES et al., 2018, CRUZ et al., 2015). Outros estudos envolvendo a cultura do trigo, bem como as espécies *Arabidopsis*, morangueiro, pepino, e melão, demonstraram também que a aplicação de Si via raiz promoveu um efeito de potencialização (*priming*) na expressão e atividade de enzimas ligadas ao sistema de defesa da planta e no aumento das concentrações de compostos fenólicos e fitoalexinas nos sítios de infecção (FAWE et al., 1998; GHANMI et al., 2004; LIANG et al., 2005; KANTO et al., 2006; DALLAGNOL et al., 2015; DORNELES et al., 2017).

Até o presente momento não estão disponíveis estudos testando o fornecimento de silício para plantas de trigo desafiadas por *Fusarium graminearum*. Portanto objetivou-se com este trabalho avaliar o potencial do silício na redução da giberela do trigo e no acúmulo de micotoxina em grãos em plantas cultivadas em condições de campo. Fundamentando-se nos dados que demonstram que o fornecimento de Si para plantas de trigo contribuiu para a redução da intensidade de várias doenças foliares, a hipótese deste estudo é que plantas de trigo supridas com Si sejam menos afetadas pela giberela bem como seus grãos apresentem menor concentração de micotoxinas, especialmente deoxinivalenol.

2.2. Material e métodos

Os experimentos foram realizados nos anos 2016 e 2017 na área experimental do Centro Agropecuário da Palma pertencente à Universidade Federal de Pelotas, localizados na no Km 537 da BR 116 no município de Capão do Leão.

2.2.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi blocos casualizados e analisados em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$ com quatro repetições. Os fatores foram o fornecimento de silício (com e sem fornecimento), material vegetal (cultivares TBIO Toruk e TBIO Sossego) e fungicida (com e sem aplicação de fungicida). As unidades experimentais possuíam $7,65 \text{ m}^2$ ($1,53 \times 5$ metros), sendo considerada para fins de avaliação a área útil de $3,4 \text{ m}^2$ ($0,85 \times 4$ metros).

2.2.2. Características do solo, aplicação dos fertilizantes e manejo cultural

As características físico-químicas do solo eram: 19% de argila, 1,79% de matéria orgânica, Ca, Mg, Al, H+Al e CTC = 4,2, 0,9, 0,2, 2,8 e 5,5 ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), Saturação (%) Al = 3,6, Bases 65, Índice SMP 6,4, pH 4,3, P – (Mehlich) e K = 9,4 e 47 (mg/dm^3). Com base na análise química do solo foram realizadas as correções de fertilidade e pH visando produção de grãos de 4 ton ha^{-1} , de acordo com as indicações técnicas para cultura (CUNHA et al., 2016).

O silício foi fornecido na forma de silicato de cálcio (Agrosilício®; Agronelli Insumos Agrícolas, Uberaba/MG) composto por 25% de cálcio, 6% de magnésio e 10,5% de silício. A dose de silicato de cálcio aplicada foi equivalente a 4 ton ha^{-1} , considerada suficiente para elevar o pH do solo para 6,5. Calcário extrafino (Dagoberto Barcelos, Caçapava do Sul/RS), composto por 26,5% de cálcio e 15% de magnésio, foi aplicado, na dose de $3,33 \text{ ton ha}^{-1}$, nas parcelas que não receberam silicato de cálcio, para equilibrar o pH e o cálcio disponível no solo entre os tratamentos.

Os corretivos (silicato de cálcio ou calcário extrafino) foram aplicados e incorporados com uma enxada rotativa com no mínimo 30 dias antecedentes a semeadura. Cada unidade experimental foi disposta distante no mínimo 1 metro uma da outra e isolada com um sulco de 30 cm de profundidade a fim de evitar escorrimento da água da chuva de uma parcela para com a outra. Amostras de solo coletadas no dia da semeadura (ano 2016) indicaram concentração de 6,6 e 5,6 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para cálcio e 14 e 08 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$ para silício, respectivamente, nas parcelas que receberam aplicação de silicato de cálcio e calcário extrafino. No segundo ano de

cultivo (ano 2017) foram reaplicados os corretivos e a análise de solo indicou concentração de 4,6 e 3,4 cmolc.dm^{-3} para cálcio e 18 e 08 mg.dm^{-3} para silício, respectivamente, nas parcelas que receberam silicato de cálcio e calcário extrafino.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada com uma semeadora da marca Semeato, modelo SHP, com nove linhas espaçadas em 17 cm, visando a população final de plantas foi de 300 plantas por m^2 . Na semeadura foi utilizado o equivalente a 300 kg. ha^{-1} de fertilizante formulado (5-20-20; nitrogênio-fosfóro-potássio). Durante o ciclo da cultura foi aplicado, quando necessário, o herbicida Hussar (Iodosulfurom- metílico) na dose de 100 g p.c. ha^{-1} , e do inseticida Connect (Imidacloprido + Beta-ciflutrina) na dose de 500 mL p.c. ha^{-1} .

O controle de doenças foliares durante a fase vegetativa do trigo foi realizado por meio da pulverização de fungicida [Protioconazol 150,0 g.L^{-1} (Triazolinthione) + Trifloxistrobina 175,0 g.L^{-1} (Estrobilurina)], na dose de 0,5 L. ha^{-1} , durante o estágio de emborrachamento (Large 1954) em todas as parcelas do experimento. Durante o estágio de florescimento (Large 1954), quando as espigas apresentavam 80% de extrusão das anteras, foi realizada uma aplicação de fungicida [Protioconazol 150,0 g.L^{-1} (Triazolinthione) + Trifloxistrobina 175,0 g.L^{-1} (Estrobilurina)], na dose de 0,5 L. ha^{-1} nas parcelas que estava previsto o tratamento com fungicida para manejo da giberela. As aplicações dos fungicidas foram realizadas com um kit pulverizador de pesquisa pressurizado com CO_2 , ao qual foi acoplado uma barra com 4 pontas espaçadas em 50 cm, totalizando 2 metros de cobertura. Os bicos de pulverização usados foram do tipo jato leque plano duplo (TeeJet®) com 60° de ângulo entre cada jato de pulverização. O volume de calda aplicado foi o equivalente a 200 L. ha^{-1} . As aplicações foram realizadas no turno da manhã com umidade relativa superior a 60% e a velocidade do vento era inferior a oito (8) km.h^{-1} .

2.2.3. Avaliação da incidência e severidade da giberela

As avaliações de incidência e severidade da giberela iniciaram no momento da extrusão das primeiras anteras. A partir da detecção dos primeiros sintomas da doença (branqueamento de espiguetas) nas espigas do trigo, as avaliações foram repetidas em intervalos de 4 dias por um período de 20 dias. Em cada avaliação, cem espigas aleatórias por parcela foram examinadas. A incidência foi determinada como

a porcentagem de espigas apresentando pelo menos uma espiguetas sintomática em relação ao total de espigas avaliadas por tratamento. A severidade da giberela foi determinada por meio da porcentagem de espiguetas sintomáticas, em relação ao número total de espiguetas, para cada espiga examinada. Os resultados das avaliações de severidade foram usados para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) utilizando-se para tal, a fórmula proposta por Shaner e Finney (1977).

2.2.4. Determinação do rendimento

As plantas da área útil (3,4 m²) da parcela foram coletadas manualmente na maturação fisiológica da planta, porém com reduzida umidade do grão. Na safra 2017, de cada parcela foram separadas aleatoriamente 10 espigas as quais foram submetidas à trilha manual. As demais plantas da parcela foram trilhadas em trilhadora mecânica (EDA, modelo TR. PARCELA). Nos grãos obtidos da trilha mecânica foi determinada a umidade, a qual em seguida foi corrigida para todas as parcelas para 13 %. Destes grãos foi determinada a produtividade por hectare, peso de mil grãos e o peso de hectolitro (PH). As porcentagens de grãos chochos, grãos giberelados e grãos cheios foram determinadas para os grãos provenientes da debulha mecânica e da debulha manual. Os dois métodos de debulha foram adotados para aferir se o efeito dos tratamentos estudados na qualidade dos grãos foi afetado pela eliminação de grãos giberelados durante a debulha mecânica.

A produtividade, em kg.ha⁻¹, foi calculada com base no peso de grãos de cada parcela, sendo que os dados foram extrapolados para um hectare. O peso de mil grãos foi determinado por meio da contagem de grãos com ajuda de um contador eletrônico de sementes e grãos (Sanick ESC 2011), os quais tiveram seu peso determinada em balança analítica (SHIMADZU modelo, BL 3200H).

As porcentagens de grãos cheios, grãos chochos e grãos giberelados foram determinados em quatrocentos grãos por parcela. Os grãos foram considerados chochos quando apresentavam algum tipo de enrugamento em sua superfície e a mesma não é característica genética da cultivar. Grão giberelado foi considerado aquele que apresentava sintoma da doença como aspecto rosado e/ou apresentava aspecto esbranquiçado devido à presença de estruturas do patógeno. Dos grãos

obtidos por debulha manual também foi determinada a porcentagem dos grãos chochos, giberelados e cheios.

O peso de hectolitro (Ph) foi determinado através de uma balança para peso de hectolitro de cereais da marca Dallemolle, (balança tipo 40) de acordo com as normas internacionais.

2.2.5. Teste de sanidade dos grãos

Amostras de 400 grãos por tratamento foi utilizada para o Blotter teste, conforme as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), visando à detecção de *Fusarium* sp. O fungo foi identificado por meio da visualização de estruturas reprodutivas com auxílio de um microscópio estereoscópico e óptico. Os resultados de incidência do fungo nos grãos foram expressos em porcentagem.

2.2.6. Concentrações de Si nas folhas e nas espigas

A concentração de Si na folha bandeira e na espiga foi determinada em amostras coletadas no estágio de florescimento (Large 1954). As amostras foram lavadas com água destilada e em seguida secas em estufa a 70°C até atingirem peso constante. Em seguida, as amostras de folhas e espigas foram moídas separadamente em moinho tipo Willey equipado com peneira de 20 mesh. A determinação da concentração de Si foi realizada de forma colorimétrica a partir de 0.1 g de tecido seco submetido à digestão básica (KORNDÖRFER, PEREIRA E NOLLA, 2004).

2.2.7. Quantificação de deoxinivalenol em grãos

Após a colheita, duzentos e cinquenta gramas de grãos de cada unidade experimental foram armazenados em refrigerador (4°C) até o processamento das amostras. Para preparo das amostras, vinte gramas de grãos foram moídas em moinho de bola com câmara fechada (MARCONI MA 350), durante 90 segundos. Os grãos obtidos da debulha manual, das quatro repetições de cada tratamento, foram juntados em amostra única e utilizados para a quantificação de deoxynivalenol.

2.2.7.1. Método de extração da micotoxina e purificação das amostras

A extração foi baseada no método proposto por Romero-González, Frenich, Vidal, Prestes e Grio (2011). Para tal, cinco gramas de cada amostra foram hidratadas com 5 mL de água ultrapura em tubos de centrifugação, e reservados durante uma hora. Após este período, 10 mL de acetonitrila contendo ácido acético (1% v/v) foram adicionados e agitados em vortex por um minuto. Em seguida, 4 g de sulfato de magnésio anidro ($MgSO_4$) e 1,5 g de acetato de sódio foram adicionados nos tubos e novamente agitados em vortex por um minuto. Após, os extratos foram centrifugados a 5000 rpm (4136g) durante cinco minutos. Cinco mL do sobrenadante foram transferidos para novos tubos de centrifugação contendo 300 mg $MgSO_4$ e 100 mg de PSA e agitado em vortex por 20 s. Então os tubos passaram novamente por centrifugação a 5000 rpm (4136g) durante 5 minutos. Após o sobrenadante foi coletado e filtrado em filtros de nylon de 22 μm , transferidos para vials e injetados no LC-ESI-QTOF-MS.

2.2.7.2. Instrumentação e condições da análise

A análise de LC-MS foi realizada em cromatógrafo líquido (UFLC, Shimadzu, Japão) acoplado a espectrômetro de massas de alta resolução do tipo quadrupolo-tempo de voo (Maxis Impact, Bruker Daltonics, Bremen, Alemanha). Para a separação cromatográfica foi utilizada a coluna Shim-pack XR – ODS (75mm x 2,0mm; 2,2 μm). As fases móveis foram: água acidificada com 0,1% de ácido fórmico (eluente A) e acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico (eluente B). O gradiente de eluição iniciou-se a 10% de B e aumentou para 100% de B aos 22 minutos. Foi mantido a 100% B por 3 min, depois retornou-se às condições iniciais em 2 min e manteve-se a 10% B por 3 min. O fluxo foi de 0,2 mL min^{-1} e a temperatura da coluna foi mantida a 40°C.

O espectrômetro de massas foi operado no modo ESI positivo, com espectros adquiridos ao longo de uma faixa de massa de m/z 50 a 1200. Os parâmetros de aquisição foram: voltagem do capilar em 4 kV, pressão do gás de nebulização (N_2) de 2 bar, gás de secagem em 8 L min^{-1} , temperatura da fonte de 180°C, colisão de RF de 150 Vpp; transfer 70 mS e armazenamento pré-pulso de 5 mS. O equipamento foi calibrado com formiato de sódio 10mM, cobrindo toda a faixa de aquisição (de m/z 50

até 1200). Além disso, experimentos automáticos de MS/MS foram realizados ajustando os valores de energia de colisão como se segue: m/z 100, 15 eV; m/z 500, 35 eV; m/z 1000, 50 eV, e usando nitrogênio como gás de colisão.

2.3. Resultados

Para incidência final não ocorreu interação significativa entre os fatores, sendo observada diferença significativa para os fatores cultivar e fungicida. Na comparação das cultivares, a incidência foi 16 e 17 % menor para Tbio Sossego, nos anos de 2016 e 2017 respectivamente (tab. 1). A aplicação de fungicida reduziu a incidência em 14 e 33%, respectivamente para os anos 2016 e 2017.

Para severidade final, em 2016, somente o fator fungicida foi significativo, reduzindo a severidade em 26% (tab. 1). Em 2017, todos os fatores foram significativos, mas não suas interações. Neste ano a severidade foi 28% menor na cultivar Tbio Sossego, 25% menor nas plantas supridas com Si e 58% menor nas plantas tratadas com fungicida.

Para AACPD, em 2016, somente os fatores cultivar e fungicida foram significativos, com valores da AACPD 20 e 22% menores, respectivamente na cultivar Tbio sossego e nas plantas tratadas com fungicida (tab. 1). Em 2017, todos os fatores foram significativos, mas não suas interações. A AACPD foi 32% menor na cultivar Tbio sossego, 23% menor nas plantas supridas com Si e 57% menor nas plantas tratadas com fungicida.

Para produtividade e PMS, em 2016, apenas o fator cultivar foi significativo, sendo maiores em 9 e 8%, respectivamente, na cultivar Tbio Toruk (tab. 2). Em 2017, todos os fatores foram significativos, bom como algumas interações, para a produtividade e o PMS (tab. 2). O tratamento com fungicida incrementou a produtividade em 31 e 13%, respectivamente na cultivar Tbio Toruk e Tbio Sossego, e em 33 e 13%, respectivamente, nas plantas não supridas e supridas com Si. A produtividade foi 20% maior na cultivar Tbio Toruk, comparada a Tbio Sossego, quando tratadas com fungicida. A fertilização com Si aumentou a produtividade em 20%, comparado às plantas fertilizadas com calcário, quando não tratadas com fungicida. O PMS foi maior em 15 % nas plantas tratadas com fungicida da cultivar Tbio Toruk, e maior em 14 e 6% nas plantas não supridas e supridas com Si,

respectivamente. Na comparação das cultivares, o PMS foi 10% maior na cultivar Tbio Toruk, quando tratadas com fungicida. A fertilização com Si aumentou o PMS em 8%, comparado às plantas fertilizadas com calcário, quando não tratadas com fungicida.

Tabela 1. Incidência final da giberela, severidade final da giberela e área abaixo da curva de progresso da giberela (AACPD) nas cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

Incidência final							
2016				2017			
T	57,58 a	- F	56,83 a	T	67,00 a	- F	73,62 a
S	48,17 b	+ F	48,92 b	S	55,88 b	+ F	49,25 b
Dif ¹ . (%)	- 16		- 14		- 17		- 33
CV (%)	15,35			18,32			

Severidade final (%)							
2016				2017			
- F	10,17 a	T	13,42 a	-Si	13,18 a	- F	16,30 a
+ F	7,53 b	S	9,70 b	+Si	9,94 b	+ F	6,81 b
Dif ¹ . (%)	- 26		- 28		- 25		- 58
CV (%)	35,42			37,98			

AACPD									
2016				2017					
T	117,42 a	-F	118,86 a	T	102,17 a	-Si	96,91 a	-F	120,32 a
S	93,69 b	+F	92,25 b	S	69,53 b	+Si	74,80 b	+F	51,38 b
Dif ¹ . (%)	- 20		- 22		- 32		- 23		- 57
CV (%)	21,16			33,49					

Médias de cada variável seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $n=4$.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Para peso de hectolitro (PH), em 2016, apenas o fator fungicida foi significativo com incremento de 1% na variável. Na safra 2017, todos os fatores foram significativos, bem como a interação cultivar com fungicidas. O PH foi 8 e 3% maior nas plantas tratadas com fungicida na cultivar Tbio Toruk e Tbio Sossego,

respectivamente, e 4% maior na cultivar Tbio Sossego não tratada com fungicida. Nas plantas supridas com Si, o PH foi 2% maior, comparado às plantas não supridas.

Tabela 2. Produtividade de grãos, em quilogramas por hectare, e peso de mil sementes (PMS), em gramas, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

	Produtividade (Kg.ha ⁻¹) (2016)		PMS (g) (2016)	
T	4606,15 a		39,98 a	
S	4233,08 b		36,88 b	
Dif ¹ . (%)	+ 9		+ 8	
CV (%)	6,58		2,72	

	Produtividade (Kg.ha ⁻¹) (2017)					
	T	S	Dif. ¹ (%)	- Si	+ Si	Dif. (%)
- F	4065,62 bA	3957,48 bA	+ 3	3648,33 bB	4374,77 bA	+ 20
+ F	5339,65 aA	4468,10 aB	+ 20	4854,46 aA	4954,19 aA	+ 2
Dif. (%)	+ 31	+ 13		+ 33	+ 13	
CV (%)	9,42					

	PMS (g) (2017)					
	T	S	Dif. ¹ (%)	- Si	+ Si	Dif. (%)
- F	28,94 bA	28,92 aA	0	27,77 bB	30,09 bA	+ 8
+ F	33,32 aA	30,27 aB	+ 10	31,69 aA	31,91 aA	+ 1
Dif. (%)	+ 15	+ 5		+ 14	+ 6	
CV (%)	4,46					

Médias de cada variável seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $n=4$.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na trilha mecânica, para a porcentagem de grãos cheios (PGC) ocorreu interação significativa entre os fatores cultivar e fungicida (Tab. 4). A cultivar Tbio Sossego apresentou 12% maior PGC do que a cultivar Tbio toruk, ambas sem aplicação de fungicida. A aplicação de fungicida resultou em incremento de 18 e 7% na PGC nas cultivares Tbio Toruk e Tbio Sossego, respectivamente. A porcentagem de grãos chochos somente foi influenciada pela aplicação de fungicida, sendo 47%

menor nas plantas tratadas com fungicida. A porcentagem de grãos giberelados foi influenciada pela cultivar (34% menor na cultivar Tbio Sossego) e pela aplicação de fungicida (49% menor nas plantas tratadas com fungicida).

Tabela 3. Peso do hectolitro (PH) das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/UFPEL, 2019.

	PH (2016)		PH (2017)		
		T	S	Dif. ¹ (%)	
- F	80,56 b	70,44 bB	73,44 bA	+ 4	- Si 73,26 b
+ F	81,03 a	76,19 aA	75,49 aA	+ 1	+ Si 74,52 a
Dif. (%) ¹	+ 1	+ 8	+ 3		+ 2
CV (%)	0,24			2,30	

Médias seguidas pela mesma letra em cada folha, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). n=4.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na debulha manual das espigas, para porcentagem de grãos cheios (PGC) houve interação significativa entre os fatores. Nas plantas sem Si, a PGC foi maior na cultivar Tbio Sossego em 33% nas plantas não tratadas com fungicida (tab. 5). Nas plantas da cultivar Tbio Toruk sem aplicação de fungicidas, a PGC foi 26% maior nas plantas que receberam aplicação de Si, comparado as plantas sem Si.

Tabela 4. Percentagens de grão cheio (PGC), grão chocho (PGCH) e grãos giberelados, oriundos da trilha mecânica, nas cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2017. Pelotas, RS/UFPEL, 2019.

	PGC			PGCH		PGG		
	- F	+ F	Dif. (%) ¹	- F	+ F	- F	+ F	Dif.
T	75,46 bB	88,77 aA	+ 18	8,46 a		T 10,57 a	- F 11,62 a	
S	84,37 aB	90,42 aA	+ 7	4,48 b		S 6,98 b	+ F 5,98 b	
Dif ¹ . (%)	+ 12	+ 2		- 47		- 34		- 49
Cv (%)	3,44			47		25,69		

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). n=4.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Tabela 5. Percentagem de grãos cheios, (PGC), grãos chocho (PGCH) e grão giberelado (PGG), obtidos por debulha manual, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

PGC						
	-Si			+Si		
	-F	+F	Dif. ¹ (%)	-F	+F	Dif. (%)
T	59,16 bB	78,19 aA	+32	74,25 aB	83,87 aA	+13
S	78,88 aA	83,88 aA	+6	71,38 aB	86,78 aA	+22
Dif. (%)	+ 33	+ 7		+ 4	+ 3	

T			S			
	-Si	+Si	Dif. ¹ (%)	-Si	+Si	Dif. (%)
-F	59,16 B	74,25 A	+26	78,88 A	71,38 A	+11
+F	78,19 A	83,87 A	+7	83,88 A	86,78 A	+3
CV (%)			7,25			

PGCH						
	-Si			+Si		
	-F	+F	Dif. ¹ (%)	-F	+F	Dif. (%)
T	17,30 aA	7,96 aB	-54	8,17 bA	8,23 aA	-1
S	10,96 bA	8,60 aA	-22	13,06 aA	6,62 aB	-49
Dif. (%)	+ 58	+ 8		+ 60	+ 24	

T			S			
	-Si	+Si	Dif. ¹ (%)	-Si	+Si	Dif. (%)
-F	17,30 A	8,17 B	-53	10,96 A	13,06 A	-16
+F	7,96 A	8,23 A	-3	8,60 A	6,62 A	-23
CV (%)			38,15			

PGG						
	- Si			+ Si		
			Dif. (%)			
T	18,69 aA	12,74 aB	- 32	- F	16,71 a	
S	8,84 bA	11,07 aA	- 20	+ F	8,96 b	

Dif ¹ . (%)	-53	-13	- 46
CV (%)	24,69		

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). n=4.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

A porcentagem de grãos chochos (PGCH), nas plantas sem tratamento com fungicida, foi 58% maior na cultivar Tbio Toruk, quando cultivadas sem Si, e 60% maior na cultivar Tbio Sossego, quando cultivadas com Si no solo (tab. 2). Nas plantas da Tbio Toruk sem aplicação de fungicida, o tratamento com Si reduziu em 53% a PGCH. O tratamento com fungicida reduziu a PGCH em 54% nas plantas da cultivar Tbio Toruk sem aplicação de Si, e 49% nas plantas da cultivar Tbio Sossego com aplicação de Si. A porcentagem de grãos giberelados (PGG) foi 53% menor nas plantas da cultivar Tbio Sossego, comparada a cultivar Tbio Toruk, ambas cultivadas sem aplicação de Si (tab. 5). A PGG foi 32% menor nas plantas da cultivar Tbio Toruk supridas com Si, comparado as plantas sem aplicação de Si. A aplicação de fungicida reduziu em 46% a PGG.

Para incidência de *Fusarium* sp. em grãos de trigo (IF) houve interação significativa entre os fatores. Em 2016, a incidência foi 56% maior nas plantas da cultivar Tbio Toruk, comparado a cultivar Tbio Sossego, ambas cultivadas em solo com aplicação de Si e sem tratamento de fungicida (tab. 6). A aplicação de Si no solo reduziu a incidência de *Fusarium* sp. em 40%, comparado as plantas sem aplicação de Si, na cultivar Tbio Sossego sem tratamento com fungicida. O tratamento com fungicida, na cultivar Tbio Toruk, reduziu a incidência de *Fusarium* sp. em 32 e 52%, respectivamente, nas plantas sem e com aplicação de Si no solo, e na cultivar Tbio Sossego, reduziu em 45% a incidência de *Fusarium* sp. nas plantas sem aplicação de Si no solo (tab. 6).

Em 2017, apenas os fatores cultivar e aplicação de fungicida foram significativos. A incidência de *Fusarium* sp. foi 25% menor na cultivar Tbio Sossego comparado a cultivar Tbio Toruk, e 23% menor nas plantas tratadas com fungicida, comparado as não tratadas (tab. 6).

Tabela 6. Incidência de *Fusarium* sp. (IF) em grãos de trigo, obtidos por debulha mecânica, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

IF (2016)						
	-Si			+ Si		
	-F	+F	Dif. ¹ (%)	-F	+F	Dif. (%)
T	26,33 aA	18,00 aB	-32	27,25 aA	13,00 aB	-52
S	29,00 aA	16,00 aB	-45	17,50 bA	17,75 aA	-1
Dif. (%)	+ 10	+ 13		+ 56	+ 37	

	T			S		
	-Si	+Si	Dif. ¹ (%)	-Si	+Si	Dif. (%)
-F	26,33 aA	27,25 aA	- 3	29,00 aA	17,50 bB	- 40
+F	18,00 bA	13,00 bA	- 28	16,00 bA	17,75 bA	- 10
CV (%)						

IF (2017)			
T	63,31 a	- F	62,56 a
S	47,25 b	+ F	48,00 b
Dif ¹ . (%)	- 25		- 23
Cv (%)	18,81		

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). n=4.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Para concentração de DON houve interação significativa entre os fatores. Em 2016, na cultivar Tbio Sossego comparada a cultivar Tbio Toruk, a concentração de DON foi 13% menor nas plantas sem Si e sem aplicação de fungicida, e 33% menor nas plantas supridas com Si e com aplicação de fungicida (tab. 7). Nas plantas cultivadas com Si no solo, comparada as plantas sem Si, a concentração de DON na cultivar Tbio Toruk foi 9 e 35% maior, respectivamente, nas plantas sem e com tratamento com fungicida (tab. 7).

Tabela 7. Concentração de deoxinivalenol (DON) em grãos de trigo, obtidos por debulha mecânica, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2016 e 2017 Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

DON 2016 (ug/mg)						
	-Si			+ Si		
	-F	+F	Dif. ¹ (%)	-F	+F	Dif. (%)
T	360,54 aA	313,67 a B	-13	393,09 aB	422,71 aA	-7
S	314,98 bA	315,61 aA	0	401,48 aA	282,05 bB	-30
Dif. (%)	- 13	- 1		- 2	- 33	

T		S				
-Si	+Si	-Si	+Si			
-F	360,54 B	393,09 A	+9	314,98 B	401,48 A	+27
+F	313,67 B	422,71 A	+35	315,61A	282,05 B	+12
CV (%)	1,93					

DON 2017 (ug/mg)						
	-Si			+Si		
	-F	+F	Dif. ¹ (%)	-F	+F	Dif. (%)
T	815,32 aA	630,78 aB	-23	917,88 aA	607,33 aB	-34
S	703,73 bA	405,18 bB	-42	699,56 bA	561,10 bB	-20
Dif. (%)	+ 16	+ 56		+ 31	+ 8	

T		S				
-Si	+Si	-Si	+Si			
-F	815,32 B	917,88 A	+13	703,73 A	699,56 A	+1
+F	630,78 A	607,33 B	-4	405,18 B	561,10 A	+38
CV (%)	0,64					

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). $n=4$.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na cultivar Tbio Sossego, o suprimento de Si para plantas sem aplicação de fungicida resultou em incremento de 27% concentração de DON, por outro lado, nas plantas tratadas com fungicida resultou em redução de 12% na concentração da micotoxina. A aplicação de fungicida reduziu a concentração de DON em 13 e 7%, respectivamente, para plantas da cultivar Tbio Toruk sem e com aplicação de Si no solo, e em 30% para plantas da cultivar Tbio Sossego com aplicação de Si no solo.

Em 2017, a concentração de DON foi maior em 8 até 56%, dependendo dos tratamentos (Si e fungicida) na cultivar Tbio Toruk, comparada a cultivar Tbio Sossego (tab. 7). A aplicação de Si resultou em aumento na concentração de DON em 13% na cultivar Tbio Toruk sem fungicida, e 38% na cultivar Tbio Sossego com aplicação de fungicida. Entretanto, a aplicação de Si reduziu a concentração de DON nas plantas da cultivar Tbio Toruk tratadas com fungicida. A aplicação de fungicida reduziu a concentração de DON em 20 até 42%, dependendo dos tratamentos (Si e cultivar) (tab. 7).

Tabela 8. Concentração de deoxinivalenol (DON) em grãos de trigo, obtidos por debulha manual das espigas, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) e não tratadas (-F) ou tratadas com fungicida (+F) cultivadas no ano de 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

DON 2017 (ug/mg)						
	-Si			+Si		
	-F	+F	Dif. ¹ (%)	-F	+F	Dif. (%)
T	750,59 aA	388,72 aB	-48	421,47 aA	366,27 aB	-13
S	409,96 bA	362,07 aA	-12	437,11 aA	336,62 aB	-23
Dif. (%)	- 45	- 7		- 4	- 8	

	T			S		
	-Si	+Si	Dif. ¹ (%)	-Si	+Si	Dif. (%)
-F	750,59 A	421,47 B	-44	409,96 A	437,11 A	-6
+F	388,72 A	366,27 A	-6	362,07 A	336,62 A	-7
CV (%)	12,21					

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). n=4.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Tabela 9. Concentração de silício (g.kg^{-1}) na folha (Sif) e na espiga (Sie) de plantas de trigo cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si), nos anos de 2016 e 2017. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

	Si (g.kg^{-1}) (2016)		Si (g.kg^{-1}) (2017)	
	Sif	Sie	Sif	Sie
- Si	11,88 b	5,83 b	14,42 b	6,70 b
+ Si	14,20 a	6,70 a	24,74 a	8,65 a
Dif ¹ . (%)	+ 20	+ 15	+ 72	+ 29
Cv (%)	13,43	11,88	18,53	33,49

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). $n=4$.

1 – Diferença em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Nos grãos obtidos por debulha manual ocorreu interação significativa entre os fatores. A concentração de DON foi 45% menor nas plantas da cultivar Tbio Sossego cultivada sem Si e sem aplicação de fungicida (tab. 8). A aplicação de Si no solo resultou em redução de 44% na concentração de DON nas plantas da cultivar Tbio Toruk sem aplicação de fungicida. Este tratamento, por sua vez, reduziu a concentração da micotoxina em 48% na cultivar Tbio Toruk sem Si, e em 23% na cultivar Tbio Sossego com Si no solo (tab. 8).

Para concentração de Si na folha (Sif) e na espiga (Sie) apenas o fator silício foi significativo. Nas plantas supridas com Si no solo a concentração de Si foi maior em 20 e 72% para folha em 2016 e 2017, respectivamente, e em 15 e 29% nas espigas em 2016 e 2017, respectivamente (tab. 9).

2.1. Discussão

O silício (Si) quando fornecido para plantas de trigo via solo reduziu a severidade final da giberela e o acúmulo de DON, além de favorecer a manutenção do potencial produtivo da cultura. Outrossim, os benefícios do Si na cultura do trigo também foram influenciados pelo nível de resistência genética da cultivar e pela aplicação de fungicida na parte aérea da planta.

A ocorrência da giberela foi variável entre os anos de cultivo, ocorrendo com maior intensidade (incidência e severidade) no ano de 2017. Na safra 2016, a fase de emborrachamento e início do florescimento das plantas de trigo ocorreu durante período de estiagem, porém, em 2017 as precipitações foram melhor distribuídas

durante o ciclo da cultura favorecendo a infecção do patógeno na fase de florescimento das plantas (dados não mostrados). Diversos estudos reportam que as epidemias da giberela variam de ano a ano, e que a incidência e a severidade da doença são dependentes das condições climáticas, especialmente clima quente e úmido ou chuvas frequentes no período de antese, para o seu estabelecimento (XU et al, 2003; SHANG et al 2018; KIKOT et al., 2009; DEL PONTE et al., 2004; GILBERT; HABER, 2013). Na safra 2017, por ser um ano favorável a doença, o efeito dos fatores estudados ficou mais evidentes tanto na intensidade da doença, quanto no rendimento e na qualidade dos grãos.

O nível de resistência parcial nas cultivares afetou significativamente as variáveis no estudo. A maior resistência parcial na cultivar Tbio Sossego culminou em menor incidência e severidade final da giberela, bem como menor AACPD, a qual resume a evolução da doença em função do tempo. Embora estudos sugerem que a classificação atual dos mecanismos de defesa da planta de trigo contra giberela são muito simplistas (BOWNE, 2008), os dados desta pesquisa indicam que a resistência parcial na cultivar Tbio Sossego estão associados aos mecanismos do tipo I (resistência contra o processo inicial de infecção) e do tipo II (resistência desenvolvida pela planta contra o progresso da doença na espiga), segundo classificação proposta por Mesterhazy (1995) dos tipos de resistência parcial em trigo contra giberela.

A maior intensidade da giberela nas plantas de trigo da cultivar Tbio toruk, também resultou na redução do rendimento, do peso de mil sementes bem como na porcentagem de grãos cheios. Outrossim, a porcentagem de grãos chochos e grãos giberelados foram maiores na cultivar Tbio toruk bem como a incidência de *Fusarium* sp (especialmente em 2017), fato que está relacionado com a maior concentração de DON nos grãos desta cultivar.

O tratamento das espigas do trigo com fungicida reduziu a intensidade da giberela e a AACPD, e manteve o rendimento, o peso de mil sementes e o peso do hectolitro. A redução na intensidade da doença pelo fungicida, incrementando o rendimento, está associado à maior porcentagem de grãos cheios e a menor porcentagem de grãos chochos e giberelados. A aplicação de fungicida apresentou maior diferença quando associada a cultivar Tbio Toruk, indicando que os seus efeitos benéficos foi, de modo geral, maior no genótipo com menor resistência parcial. O

controle da doença proporcionado pelo fungicida também reduziu a incidência de sementes contaminadas com *Fusarium* sp. bem como a concentração de DON. Outrossim, os efeitos benéficos do controle proporcionado pelo fungicida foram, de modo geral, maiores quando as plantas não foram supridas com Si.

O Si por sua vez, apenas não afetou a incidência da giberela. Este resultou ocorreu pela forma como atua o patógeno durante o processo de infecção, e também como as plantas de trigo respondem ao ataque (KHEIRI et al., 2018). Como o Si atua, principalmente, potencializando os mecanismos de defesa da planta (DEBONA et al., 2017), e a infecção de *Fusarium* nas espigas do trigo ocorre principalmente pelos órgãos reprodutivos (PUGH et al. 1933; KANG; BUCHENAUER 2000; WANJIRU et al. 2002; SCHROEDER; CHRISTENSEN 1963) por meio da penetração das hifas nas anteras, nas quais os mecanismos de defesa da planta são pouco eficientes contra o patógeno (KHEIRI et al., 2018). Entretanto, o fornecimento de Si reduziu a severidade da giberela e a AACPD, especialmente na safra de 2017. A maior evidência do efeito do Si nesta safra foi favorecida pela condição mais favorável pela doença, e também, pelo maior acúmulo de Si nos tecidos da planta. Vários estudos envolvendo diversas espécies vegetais demonstram que os efeitos benéficos do Si frente aos estresses bióticos são influenciados pela concentração do elemento nos tecidos da planta (DALLAGNOL et al., 2009; NAKATA et al., 2008; RODRIGUES et al., 2015).

Considerando o rendimento de grãos, o efeito positivo do Si ocorreu, especialmente, quando as plantas não foram tratadas com fungicida, incrementando a produtividade e o peso de mil sementes, bem como o peso de hectolitro o qual ficou acima do limite mínimo para comercialização como panificação ($PH \geq 70$). Entretanto, um fato interessante foi observado para variáveis relacionadas à qualidade do grão. Na trilha mecânica, não foi observado efeito significativo do Si nas porcentagens de grãos cheios, chochos e giberelados, no entanto na debulha mecânica, na qual todos os grãos da espiga são analisados, o fornecimento de Si incrementou a porcentagem de grãos cheios e reduziu a porcentagem de grãos chochos e giberelados. Este resultado ocorreu devido ao método trilha mecânica utilizar para separação dos grãos da palha o efeito combinado de gravidade com vento, o qual além de carregar a palha carrega os grãos de menor tamanho e os mais leves (McMULLEN et al., 2012). No método de trilha manual, os grãos foram separados manualmente, e isso proporciona

recuperação de todos os grãos presentes nas espigas, assim foi possível observar as variações reais na qualidade dos grãos de cada espiga, quando comparados com o método de trilha mecânica. A percentagem de grãos danificados por giberela está intimamente ligada com a época que a espigeta é afetada, sendo maior a percentagem quando as infecções ocorrem durante antese, e reduzindo o número de grãos danificados com o passar dos dias após a antese (COWGER; ARRELLANO, 2010). Neste caso, como o Si retardou o progresso da doença, conforme indicado pela AACPD, ocorreu menor dano aos grãos mesmo que afetados pelo patógeno. A ausência da detecção do efeito do Si nos grãos provenientes da trilha mecânica deve estar associada ao fato que neste modo de trilha, porção dos grãos chochos e giberelado são eliminados pela ação do vento durante a trilha reduzindo sua frequência na amostra de grãos, especialmente nos tratamentos que apresentaram menor efeito de controle da doença, enquanto que nos tratamentos com Si, mesmo grãos parcialmente afetados, devido seu maior peso e tamanho, não foram eliminados pela ação do vento aumentando sua frequência na amostra.

O efeito da trilha na eliminação de grãos afetados pela doença também influenciou na concentração de DON. Na trilha mecânica, o efeito do Si na concentração de DON foi influenciado pela cultivar e pela aplicação de fungicida, ocorrendo, em algumas combinações de tratamentos, maiores concentrações da micotoxina nas plantas supridas com Si. Este resultado está associado ao menor dano causado pelo fungo nas plantas supridas com Si, nas quais devido a evolução mais lenta do patógeno na espiga permitiu que os grãos, mesmo que afetados, fossem enchidos parcialmente, incrementando seu peso e conseqüentemente não sendo eliminados pela ação do vento durante a trilha. Entretanto, na trilha manual, de modo geral, nas plantas supridas com Si ocorreu na redução da concentração de DON nos grãos, especialmente nas plantas da cultivar Tbio Toruk sem fungicida. Esse dado reforça que o Si atua aumentando a resistência da planta contra o patógeno, entretanto torna-se em um efeito indesejado do ponto de vista de qualidade dos grãos por reduzir a eficiência de eliminação dos grãos afetados pelo patógeno durante a colheita mecanizada. No entanto, é necessário enfatizar que no presente estudo todas as combinações de fatores apresentaram acúmulo de DON nos grãos, porém abaixo do nível máximo estabelecido pela ANVISA que é de 1250 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. (ANVISA -

RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 138, DE 8 DE FEVEREIRO DE 2017).

O acúmulo de DON em grãos de trigo possui íntima ligação com a severidade da doença (WEGULO et al 2011; PAUL et al., 2005; HERNANDEZ et al 2012), portanto todos os fatores que interferem na severidade, indiretamente afetaram o acúmulo de DON. O efeito do maior acúmulo de DON em grãos de trigo na combinação dos fatores estudados, tanto no método de debulha manual quanto no método de trilha mecânica, pode estar ligado a forma como a planta responde ao ataque do patógeno (DESMOND et al., 2008), sendo que o trigo apresenta resistência parcial contra a giberela, e para a doença ocorrer o patógeno precisa utilizar mecanismos de ataque para vencer a resistência da planta (SCOZ et al., 2009). Dentre os mecanismos usados pelo patógeno pode ser destacada o uso de toxinas, que auxiliam na infecção e colonização da planta (DWEBA et al., 2017), sendo neste caso consideradas fator de agressividade (KAZAN et al., 2012). Estudos indicam que fatores estressantes para o patógeno, como nível de resistência parcial do genótipo e/ou aplicação de fungicidas, podem levar a um acúmulo maior na concentração de micotoxina DON para valores semelhantes de severidade da doença (PONTS, 2015). Assim, em situações onde o patógeno encontra maior resistência para colonização, como ocorre nas plantas supridas com Si, há tendência de ocorrer maior acúmulo de DON, como observado neste estudo no qual plantas de trigo com severidade menor da giberela apresentaram concentração de DON semelhantes aos tratamentos com menor eficiência no controle da doença. Ademais, o momento da infecção é um fator limitante no acúmulo de DON, pois em plantas onde a infecção ocorre mais tardiamente, a espiga produz grãos aparentemente cheios, porém há acúmulo de DON devido ao desenvolvimento do patógeno (COWGER; ARRELLANO, 2010; DEL PONTE et al., 2004).

Os resultados deste estudo mostram que a suplementação do Si às plantas de trigo resultou em incremento no efeito da resistência parcial intrínseca de cada genótipo bem como do controle obtido pela aplicação do fungicida. Em plantas de sorgo e de arroz supridas com Si também foi observado efeito aditivo do elemento com a aplicação de fungicida no controle da antracnose e da brusone, respectivamente (DATNOFF et al., 1991; RESENDE et al., 2013).

Em conclusão, os resultados deste estudo mostraram que o Si foi eficiente na redução da doença, e dessa forma torna-se mais uma alternativa que pode ser inserida nos programas de manejo integrado de doenças do trigo em conjunto com o uso de resistência genética e aplicação de fungicidas.

3. CAPITULO II - Componentes de resistência do trigo à giberela e a concentração de deoxinivalenol em grãos são alterados por silício e fungicida

3.1. Introdução

O trigo é um cereal de grande importância alimentar, sendo usado como matéria prima para produção de pães, massas e biscoitos (OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017). Entretanto, durante o ciclo de cultivo muitas doenças acometem as plantas, reduzindo a produtividade para muito aquém do seu potencial genético que é de até oito toneladas por hectare (FORCELINI; REIS, 2005; REIS; CASA, 2007; SAVARY et al., 2012; PIRES et al., 2005; WART et al., 2013). Dentre as doenças com maior potencial de dano destaca-se a giberela causada por membros de espécies do complexo *Fusarium graminearum* (teleomorph: *Gibberella zeae* [Schwein.] Petch), que além de causar danos na produtividade, que pode chegar em 50%, o fungo promove o acúmulo de micotoxinas, que tornam os grãos impróprios para qualquer tipo de uso (McMULLEN et al., 2012; DEL PONTE et al., 2004; DEL PONTE et al., 2009; DEL PONTE et al., 2015).

O principal inóculo inicial é os ascósporos de *Gibberella zeae*, esporos teleomórficos, provenientes principalmente de restos culturais, contaminados pelo fungo, de trigo, milho, arroz e cevada ou de lavouras próximas, uma vez que este esporo é transportado pelo vento (PAUL et al., 2004). Esporos assexuais, se presentes no ambiente, no momento em que as plantas estão mais suscetíveis à infecção também podem contribuir como inóculo inicial (OSBORNE, STEIN 2007). A infecção ocorre durante o período de florescimento do trigo, quando são exteriorizadas as estruturas reprodutivas da planta (DEL-PONTE et al., 2007). Outro fator importante para que ocorra a infecção é a ocorrência de períodos de chuvas no momento do

florescimento. O patógeno inicia o processo de infecção através da penetração nas anteras, as quais são a principal porta de entrada do patógeno e onde ocorre a infecção inicial, que posteriormente dissemina-se por outras partes da espiga (STRANGE; SMITH, 1971).

Estratégias de manejo são escassas, uma vez que não está disponível cultivares com resistência genética completa para a giberela (MENDES et al., 2018). As medidas visando redução de inóculo inicial, como rotação de cultura e sucessão de culturas, apresentam eficiência limitada devido à forma de dispersão do patógeno (DEL PONTE et al., 2005). Assim, o controle por meio da pulverização de fungicidas no período da floração, no momento de extrusão das anteras, tem sido amplamente utilizado pelos tricultores (DEL PONTE et al., 2004). Não obstante, a integração de medidas de controle envolvendo a redução do inóculo inicial, utilização de cultivares com maior nível de resistência parcial e a pulverização com fungicidas, quando realizados de forma correta, promovem maior nível de controle da doença (BERES 2018).

A resistência parcial, definida como resistência que retarda o desenvolvimento da epidemia no campo (PARLEVIET 1978) pode ser quantificada base nos processos monocíclicos, como eficiência de infecção, período de incubação, período latente, taxa de expansão da lesão, taxa de esporulação por lesão (DALLAGNOL; ARAUJO FILHO, 2018). A quantificação dos componentes de resistência permite identificar os possíveis mecanismos envolvidos na resistência do genótipo podendo explicar, quando analisados em conjunto, as variações na resistência entre diferentes genótipos (RIOS; DEBONA, 2018). No caso da giberela do trigo, em genótipos que apresentam resistência do tipo II a infecção fica restrita a espiguetas afetadas, enquanto que genótipos que não apresentam resistência do tipo II, quando a infecção ocorre em uma espiguetas, o patógeno pode afetar, via colonização, toda a espiga (MESTERHAZY, 1995), sendo neste caso limitado a colonização do patógeno em função da nível de resistência parcial. No Brasil, temos genótipos que apresentam variação no nível da resistência do tipo II (DEUNER et al., 2015; ALVES et al., 2013). As cultivares de trigo em geral apresentam em nível variado cinco tipos de resistência: a do tipo I, resistência contra infecção inicial; do tipo tipo II, resistência contra propagação da doença no interior da espiga; resistência do tipo III, redução do

acúmulo de desoxinivalenol (DON) não correlacionado com as resistências do tipo I e II; resistência do tipo IV que é a resistência dos grãos contra infecção (mesmo que a espiga esteja infectada); e a resistência do tipo V, que é a tolerância, menor perda de produtividade, mesmo com elevada infecção (MESTERHAZY, 1995).

Atualmente, o controle químico é a medida disponível mais eficiente (BLANDINO et al., 2006), porém mesmo assim tricultores possuem dificuldades no controle da giberela, principalmente por limitações de cobertura das anteras com o fungicida. Estudos indicam que para que ocorra uma boa cobertura das anteras com o fungicida é necessário a aplicação de grandes volumes de calda por hectare (acima de 200 L ha⁻¹) e equipamentos que possuam bicos de pulverização específicos para cereais (PANISSON et al., 2004), condições que nem sempre são a realidade presente nos campos de produção.

O controle de doenças de plantas baseado em aplicação de fungicidas é mais eficiente quando adotado de forma preventiva (VAN DEN BERG et al., 2013; AUGUSTI et al., 2014). No caso da giberela do trigo, a infecção é concluída em poucas horas, normalmente em até 24 horas após o contato do esporo com a anteras (BOSHOF, et al 1998), fato que dificulta o manejo, uma vez que a extrusão das anteras ocorre de forma gradativa na espiga levando vários dias para completar o florescimento (DEL PONTE et al., 2004). Esta característica do florescimento do trigo pode comprometer a eficiência do controle químico, especialmente quando ocorrem chuvas por vários dias consecutivos, pois a cada dia novas espiguetas florescem exteriorizando as anteras, as quais não estarão protegidas pelo fungicida (PIRGOZLIEV et al., 2003). Não obstante, a infecção do patógeno na espiga pode se estender além do período de florescimento, ocorrendo até o estágio de massa mole (DEL PONTE et al., 2004). Assim, o manejo do fungicida precisa ser inteligente e estar associado intimamente com estratégias de manejo que reduzam e ou retardem o progresso da infecção e colonização do patógeno para que os danos da giberela sejam reduzidos.

Efeito positivo na expressão da resistência parcial de plantas a patógenos têm sido obtidos por meio do fornecimento de silício (Si) às plantas. Na literatura está disponível uma vasta lista de patossistemas que foram afetados pela aplicação de fontes de Si (RODRIGUES; DATNOFF, 2015; DEBONA et al., 2018). Os estudos mostram que nos patossistemas nos quais o Si teve efeito na redução da severidade

da doença, vários componentes monocíclicos foram afetados reduzindo a intensidade da doença (RODRIGUES; DATNOFF, 2015; DEBONA et al., 2018). O trigo, planta acumuladora de Si, (MAYLAND et al., 1991), tem sido beneficiado pela aplicação de Si, reduzindo a intensidade de várias doenças importantes como mancha marrom (*Cochliobolus sativus*), brusone (*Magnaporthe oryzae* patotipo Triticum), oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) e mancha amarela (*Pyrenophora tritici-repentis*), por meio da interferência em vários componentes monocíclicos (BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; DOMICIANO, et al., 2010; DORNELES et al., 2018, 2017; PAZDIORA et al., 2018; XAVIER FILHA, et al., 2011).

Considerando que a resistência à giberela está centrada na resistência parcial, e que o efeito benéfico do Si foi demonstrado no trigo contra várias doenças importantes, a hipótese deste estudo é que o fornecimento de Si as plantas de trigo afetará os componentes monociclos da giberela reduzindo a sua intensidade e, por conseguinte aumentando o período em que poderia ser realizado o controle químico, por meio de fungicidas, com controle satisfatório da doença.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do Si, associando diferentes momentos de aplicação de fungicida em relação à inoculação do patógeno, no manejo da giberela do trigo e na redução do acúmulo de deoxinivalenol em grãos de trigo.

3.2. Material e métodos

3.2.1. Material vegetal e características do solo

Duas cultivares de trigo, TBio Toruk (Biotrigo Genética®) e Tbio Sossego (Biotrigo Genética®), classificadas como suscetíveis e moderadamente resistente à giberela, respectivamente, de acordo com as Indicações Técnicas da Cultura do Trigo e Triticale (CUNHA et al., 2016), foram utilizadas nos experimentos. Outrossim, estas cultivares apresentam duração de ciclo semelhante de 77 dias até o espigamento e 145 dias até colheita.

As características físico-química do solo foram: 14% de argila, 1,52% de matéria orgânica, Ca, Mg, Al, H+Al e CTC = 9, 0,3, 0,7, 2,8, 10,1 (cmol_c/dm³), Saturação (%) Al = 6,9, Bases 77, Índice SMP 6,1, pH 4,9, P – (Mehlich), K = 3,5 e 36 (mg/dm³) e Si 7 mg.kg⁻¹. A aplicação dos corretivos do solo foi realizada com base

nos dados de análise química do solo. As doses de fertilizantes e corretivos foram determinadas visando produção de grãos de 4 ton.ha⁻¹ conforme as Indicações Técnicas da Cultura do Trigo e Triticale (CUNHA et al., 2016).

A fonte de Si utilizada foi o silicato de cálcio (Agrosilício®, Agronelli Insumos Agrícolas, Uberaba/MG) composto por 25% de cálcio, 6% de magnésio e 10,5% de silício. A dose de silicato de cálcio foi de 21,1g kg⁻¹ de solo, considerada suficiente para aumentar o pH do solo até 6,5. Com a finalidade de isolar o efeito do Si, nos tratamentos que não receberem silicato de cálcio foi aplicado calcário extrafino (Dagoberto Barcelos, Caçapava do Sul/RS) composto por 26,5% de cálcio e 15% de magnésio, na dose de 17,5 g kg⁻¹ de solo. Carbonato de cálcio e carbonato de magnésio foram utilizados para equilibrar as diferenças na concentração de cálcio e magnésio entre os tratamentos. Os corretivos foram incorporados ao solo 30 dias antes da semeadura para que ocorresse a solubilização dos elementos químicos.

As sementes de trigo das cultivares selecionadas foram semeadas em vasos com capacidade de um litro contendo 1 Kg de solo. Após a emergência das plântulas foi realizado desbaste e mantido uma planta por vaso até a fase de maturação fisiológica. As temperaturas médias no interior da casa de vegetação durante o desenvolvimento das plantas variaram entre 10 e 25°C.

3.2.2. Delineamento experimental

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, e analisados em esquema fatorial. O experimento 1 visando analisar componentes de resistência na espiga e acúmulo de deoxinivalenol em grãos foi organizado em esquema 2 x 2 x 2 x 2 com cinco repetições. Os fatores estudados foram: fornecimento de Si (com ou sem Si), material vegetal (cultivares TBio Toruk e TBio Sossego) forma de inoculação (inoculação por flor única ou inoculação por aspersão) e inoculação (plantas inoculadas com *Fusarium graminearum* ou com água). O experimento 2 visando analisar o controle pelo fungicida de acordo com a momento de aplicação foi organizado em esquema 2 x 2 x 5 com sete repetições. Os fatores estudados foram: fornecimento de Si (com ou sem Si), material vegetal (cultivares TBio Toruk e TBio Sossego) e aplicação de fungicida (sem aplicação de

fungicida ou aplicação do fungicida 1 dia antes da inoculação e 1, 3 e 5 dias após a inoculação). Cada experimento foi realizado duas vezes.

3.2.3. Pulverização do fungicida

No experimento 2 foi utilizado o fungicida prothioconazol 150,0 g.L⁻¹ (Triazolinthione) + trifloxistrobina 175,0 g.L⁻¹ (Estrobilurina), sendo que foi usado o produto comercial FOX[®] - Bayer, na dose equivalente a 0,5 L do produto comercial por hectare⁻¹. As aplicações do fungicida foram realizadas com pulverizador de pesquisa costal com pressurização a base de CO₂ com pontas de pulverização de jato plano duplo (TeeJet[®]) com 60° de ângulo entre cada jato de pulverização. O volume de calda aplicado foi o equivalente a 200 L hectare⁻¹. No momento das aplicações a variação da temperatura foi entre 20 e 25°C, da UR entre 61 e 72% e da velocidade do vento entre 2,3 e 5,2 Km h⁻¹.

3.2.4. Inóculo e inoculação das plantas

O isolado fúngico utilizado para inocular as plantas foi *Fusarium graminearum* gentilmente cedido pelo Prof. Emerson Medeiros Del-Ponte da Universidade Federal de Viçosa. O isolado foi preservado pelo método Castelani, e cultivado em meio de cultura do tipo BDA (Batata-Dextrose-Agar). Para o preparo da suspensão de inoculação, placas de petry contendo colônias do fungo com nove dias foram lavadas com água destilada, e em seguida a suspensão (micélio e conídios) foi filtrada com gaze para eliminação do micélio. A concentração de conídios foi determinada em câmara de Neubauer, e ajustada para 1 x 10⁵ conídios mL⁻¹.

No experimento 1, dois métodos de inoculação foram usados: o de flor única e o de aspersão em toda espiga. O método de flor única consiste de depositar 20 µl da suspensão de conídios com uma micropipeta estéril entre a lema e a palea, de uma das espiguetas centrais da espiga, de modo que a suspensão de conídios entre em contato com os órgãos reprodutivos da planta. O método de aspersão consiste em pulverizar a suspensão de conídios sobre todas as espiguetas da espiga do trigo até o ponto de pré-escorrimento. A pulverização da suspensão de conídios foi realizada com o auxílio de um atomizador do tipo spray manual (Tecblas, REF: 359 – 60 mL). No experimento 2 foi utilizado apenas método de aspersão para inoculação das

plantas. Imediatamente após a inoculação (experimentos 1 e 2), as plantas foram transferidas para câmara úmida com umidade relativa do ar próximo de 100%, temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12 horas. Às 36 horas após a inoculação (hai) as plantas foram retiradas da câmara úmida e mantidas em ambiente com temperatura e fotoperíodo iguais aos mencionados acima até o final das avaliações.

3.2.5. Avaliações da doença e de rendimento

As variáveis avaliadas foram o período de incubação, a incidência e a severidade da giberela. O período de incubação (PI) foi avaliado por meio da análise das espigas a cada 3 hai para visualizar os primeiros sintomas, caracterizados como regiões com clorose. A incidência de doença foi avaliada aos 7 dias após a inoculação por meio da contagem de espigas sintomáticas. Os dados foram apresentados em percentagem de espigas doentes. A severidade da giberela foi avaliada por meio da percentagem de espiguetas sintomáticas em relação as espiguetas totais. As avaliações iniciaram aos sete dias após a inoculação, repetidas a cada 72 horas até a maturação fisiológica das sementes. Com os dados de severidade foi calculado a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) utilizando-se a fórmula proposta por Shaner; Finney (1977). A severidade final foi a última avaliação realizada no estágio fenológico 11.1 (LARGE, 1954).

Dos grãos obtidos foram determinadas as porcentagem de grãos chochos, grãos giberelados e grãos cheios. Para tal, na maturação fisiológica das plantas, as espigas foram colhidas e debulhadas manual e de individualmente. Grãos enrugados foram considerados grãos chochos, e grãos que apresentavam cor avermelhada, alaranjado ou possuíam estruturas de *Fusarium* foram considerados grãos giberelados. Grãos cheios foram considerados aqueles com coloração típica do genótipo e não apresentavam nenhuma anormalidade.

3.2.6. Análise de micotoxinas

Após a colheita, as amostras de grãos de cada unidade experimental foram armazenados em refrigerador (4°C) até o processamento. Para preparo, as amostras

foram finamente moídas em moinho de esfera (MARCONI MA 350), durante 90 segundos.

3.2.6.1. Método de extração e purificação das amostras

A extração foi baseada no método proposto por Romero-González, Frenich, Vidal, Prestes e Grio (2011). Para tal, 5 g de cada amostra foram hidratadas com 5 mL de água ultrapura em tubos de centrifugação, e reservados durante uma hora. Após este período 10 mL de acetonitrila contendo ácido acético (1% v/v) foram adicionados e agitados em vortex por um minuto. Em seguida, 4 g de sulfato de magnésio anidro (MgSO₄) e 1,5 g de acetato de sódio foram adicionados nos tubos e novamente agitados em vortex por um minuto. Após, os extratos foram centrifugados a 5000 rpm (4136g) durante cinco minutos. Cinco mL do sobrenadante foram transferidos para novos tubos de centrifugação contendo 300 mg MgSO₄ e 100 mg de PSA e agitado em vortex por 20 s. Então os tubos passaram novamente por centrifugação a 5000 rpm (4136g) durante 5 minutos. Após o sobrenadante foi coletado e filtrado em filtros de nylon de 22 µm e transferidos para vials e injetados no LC-ESI-QTOF-MS.

3.2.6.2. Instrumentação e condições da análise

A análise de LC-MS foi realizada em um cromatógrafo líquido (UFLC, Shimadzu, Japão) acoplado a espectrômetro de massas de alta resolução do tipo quadrupolo-tempo de voo (Maxis Impact, Bruker Daltonics, Bremen, Alemanha). Para a separação cromatográfica foi utilizada a coluna Shim-pack XR – ODS (75mm x 2,0mm; 2,2µm). As fases móveis foram: água acidificada com 0,1% de ácido fórmico (eluente A) e acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico (eluente B). O gradiente de eluição iniciou-se a 10% de B e aumentou para 100% de B aos 22 minutos. Foi mantido a 100% B por 3 min, depois retornou-se às condições iniciais em 2 min e manteve a 10% B por 3 min. O fluxo foi de 0,2 mL min⁻¹ e a temperatura da coluna foi mantida a 40°C.

O espectrômetro de massas foi operado no modo ESI positivo, com espectros adquiridos ao longo de uma faixa de massa de m/z 50 a 1200. Os parâmetros de aquisição foram: voltagem do capilar em 4 kV, pressão do gás de nebulização (N₂) de

2 bar, gás de secagem em 8 L min⁻¹, temperatura da fonte de 180°C, colisão de RF de 150 Vpp; transfer 70 mS e armazenamento pré-pulso de 5 mS. O equipamento foi calibrado com formiato de sódio 10mM, cobrindo toda a faixa de aquisição (de m/z 50 até 1200). Além disso, experimentos automáticos de MS/MS foram realizadas ajustando os valores de energia de colisão como se segue: m/z 100, 15 eV; m/z 500, 35 eV; m/z 1000, 50 eV, e usando nitrogênio como gás de colisão.

3.2.7. Análise da concentração de Si

No momento da inoculação, folha bandeira e espiga de plantas de cada tratamento foram coletadas para determinação da concentração de Si. Após a coleta, os tecidos vegetais foram lavados com água destilada e em seguida secos em estufa a 70°C até atingirem peso constante. Em seguida foram moídas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 20 mesh. A determinação da concentração de Si foi realizada de forma colorimétrica a partir de 0.1 g de tecido seco submetido à digestão básica (KORNDÖRFER; PEREIRA; NOLLA, 2004).

3.2.8. Análise estatística

Os dados das duas repetição de cada experimento foram combinados após a verificação da homogeneidade de variância pelos testes de Cochran e Bartlett (GOMEZ; GOMEZ, 1984); e então submetidos à análise de variância e quando observada diferença estatística significativa, submetidos ao teste de Tukey ou *t*-teste ($P \leq 0.05$).

3.3. Resultados

Experimento 1

Para período de incubação (PI) os fatores silício e método de inoculação foram significativos. Plantas supridas com Si aumentaram o PI em 15 e 8%, respectivamente, para primeira e segunda repetição do experimento (tab. 10). O método de inoculação por aspersão de esporos aumentou o PI em 32 e 22%, respectivamente, para a primeira e segunda repetição do experimento (tab. 10).

Para severidade final, na primeira repetição do experimento, o fator silício foi significativo bem como a interação cultivar com método de inoculação. A cultivar Tbio

sossego apresentou severidade menor em 11% quando inoculada pelo método de flor única, enquanto que pelo método de inoculação por aspersão apresentou severidade 29% maior, comparada a cultivar Tbio Sossego (tab. 10). O método de inoculação por aspersão conferiu incremento na severidade final de 644 e 370%, respectivamente na cultivar Tbio toruk e Tbio sossego. O fornecimento de Si reduziu a severidade final em 20% quando comparada com plantas que não receberam Si. Na segunda repetição do experimento os fatores foram significativos, mas não suas interações. A severidade final foi 20% menor na cultivar Tbio sossego, comparado com Tbio toruk (tab. 10). O fornecimento de Si reduziu a severidade final em 32% quando comparado com plantas não supridas com Si (tab. 10). A inoculação por aspersão resultou em severidade final 193% maior que a inoculação por flor única (tab. 10).

Para AACPD, na primeira repetição do experimento, os fatores foram significativos bem como as interações de cultivar e silício com o método de inoculação. A AACPD foi menor na cultivar Tbio sossego em 25 e 12%, respectivamente, quando inoculada pelo método de flor única e aspersão, comparada a cultivar Tbio toruk (tab. 10). A inoculação por aspersão resultou em incremento na AACPD de 1001 e 628%, respectivamente na cultivar Tbio Toruk e Tbio sossego, e de 794 e 782%, respectivamente nas plantas sem e com Si, comparados ao método de inoculação por flor única (tab. 10). Nas plantas supridas com Si, a AACPD foi 12 e 13% menor, respectivamente nos métodos de inoculação de flor única e aspersão, comparado as plantas não supridas com Si (tab. 10). Na segunda repetição do experimento, método de inoculação e fornecimento de Si foram significativos, sendo o método de aspersão apresentado AACPD 225% maior que o método de flor única, o fornecimento de Si reduziu em 21% a AACPD (tab. 10).

Tabela 10. Período de incubação (PI), severidade final (SF) e área abaixo da curva de progresso da giberela (AACPD) nas cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si), inoculadas com *Fusarium graminearum* pelo método de flor única (Flor) ou aspersão de esporos (ASP). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

PI (horas)							
1 RP ¹				2 RP			
Si -	61,12 b	Flor	56,62 b	- Si	70,25 b	Flor	65,75 b
Si +	70,00 a	ASP	74,50 a	+ Si	76,00 a	ASP	80,50 a
Dif ² . (%)	+15		+ 32		+ 8		+ 22
CV (%)	5,54			5,90			

SF (%) - 1 RP					
	Flor	ASP	Dif. (%)		
T	12,25 bB	91,19 aA	+644	- Si	56,05 a
S	17,33 aB	81,44 bA	+370	+ Si	45,05 b
Dif. (%)	- 29	- 11			- 20
CV (%)	13,47				

SF (%) - 2 RP					
T	51,76 a	- Si	55,49 a	Flor	23,68 b
S	41,32 b	+ Si	37,59 b	ASP	69,40 a
Dif. (%)	- 20		- 32		- 66
CV (%)	32,52				

AACPD - 1 RP						AACPD - 2 RP	
	T	S	Dif. (%)	- Si	+ Si	Dif. (%)	
Flor	105,66 bB	140,54 bA	- 25	130,89 bA	115,31 bB	- 12	173,69 b - Si 413,42 a
ASP	1164,31 aA	1022,96 aB	- 12	1170,59 aA	1016,68 aB	- 13	565,03 a + Si 325,29 b
Dif. (%)	+ 1001	+ 628		+ 794	+ 782		+ 225 - 21
CV (%)	14,69					30,01	

Médias de cada variável seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $n=5$.

1 – Repetição do experimento

2 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Na análise de acúmulo de DON, nas plantas inoculadas com água não foi detectado a presença da micotoxina (tab.11).

Tabela 11. Concentração de deoxinivalenol (DON) em grãos de trigo, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) inoculados pelo método de flor única (flor) ou aspersão (ASP) com água (água) ou *Fusarium graminearum* (Fus.). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

	DON							
	T				S			
	Flor		ASP		Flor		ASP	
	Água	Fus	Água	Fus	Água	Fus	Água	Fus
- Si	Nd ²	Nq ³	Nd	sem prod	Nd	Nq	Nd	2670 b
+ Si	Nd	Nq	Nd	sem prod	Nd	Nq	Nd	1266 a
Dif ¹ . (%)	-	-	-	-	-	-	-	- 53
Cv (%)	4,54							

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). n=5.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável;

2 – Nd - Não detectado, não detectada a presença na amostra.

3 – Nq – Não quantificado, detectado a presença mas em quantidade abaixo do quantificável.

Nas plantas inoculadas pelo método de flor única, foi detectado a presença de DON, mas em quantidade abaixo do nível de quantificação, independente da cultivar ou do tratamento com Si. No método de inoculação por aspersão, a concentração de DON foi 53% menor nas plantas da cultivar Tbio Sossego supridas com Si, comparado as plantas não supridas (tab.11). Nas plantas da cultivar Tbio Toruk não foi obtido produção de grãos devido o dano causado pelo patógeno, independente do tratamento com Si.

Os dados para concentração de silício foram combinados para análise devido a homogeneidade de variância entre os experimentos. O suprimento de Si para as plantas incrementou a concentração do elemento em 76%, comparado as plantas não supridas (tab.12). Nas folhas a concentração de Si foi 97% maior quando comparado com as espigas (tab.12).

Tabela 12. Concentração de silício (Si), em mg.Kg⁻¹ de tecido seco, na folha (folha) e na espiga (espiga) de plantas de trigo, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

	Si (mg.Kg ⁻¹)	
	- Si	11,01 b
+ Si	19,33 a	Folha 20,11 a
Dif ¹ . (%)	+ 76	+ 97
Cv (%)	18,34	

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). n=5.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

Experimento 2

Para a severidade final da giberela todos os fatores foram significativos bem como a interação tripla. Plantas da cultivar Tbio Toruk, sem Si, apresentaram severidade 198% maior que as plantas da cultivar Tbio Sossego, sem Si, quando tratadas com fungicida antes da inoculação (tab.13). No entanto, plantas da cultivar Tbio Toruk, com Si, apresentaram severidade 14 e 39% menor, comparado as plantas da cultivar Tbio Sossego com Si, quando não tratadas com fungicida e tratadas com fungicida um dia após a inoculação (tab.13). O tratamento com Si, nas plantas sem fungicida, reduziu a severidade da doença em 17% na cultivar Tbio Toruk, comparado as plantas sem Si (tab.13). Nas plantas da cultivar Tbio Toruk tratadas com fungicida, o fornecimento de Si reduziu a severidade da giberela em 63, 46 e 14%, respectivamente, quando a aplicação do fungicida ocorreu preventivamente, 1 e 5 dias após a inoculação (tab.13). Nas plantas da cultivar Tbio Sossego tratadas com fungicida, o fornecimento de Si reduziu a severidade da giberela em 14% nas plantas tratadas 5 dias após a inoculação (tab.13).

O tratamento com fungicida, de modo geral, reduziu a severidade da giberela quando a aplicação ocorreu preventivamente ou até 1 dias após a inoculação (tab.13). Na cultivar Tbio Toruk, a eficiência do fungicida variou de 80 até 51% nas plantas sem Si, e de 91 até 69%, nas plantas supridas com Si (tab.13). Na cultivar Tbio Sossego, a eficiência do fungicida variou de 93 até 54% nas plantas sem Si, e de 93 até 56%, nas plantas supridas com Si (tab.13).

Tabela 13. Severidade final de giberela em espigas de trigo das cultivares TBIO Toruk (Tbio Toruk) e TBIO Sossego (Tbio Sossego) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) sem aplicação de fungicida (Test) e com aplicação de fungicida 1 dia antes da inoculação (-1 dia) e 1 (+1 dia), 3 (+3 dia) e 5 (+5 dias) dias após a inoculação de *Fusarium graminearum*. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

	Tbio Toruk		Tbio Sossego	
	- Si	+ Si	- Si	+ Si
Test	95,50 aA	79,53* aB	96,82 aA	92,23 aA
- 1 Dia	18,93* dA	7,09 cB	6,36 cA	6,75 cA
+ 1 Dia	46,45 cA	24,89* bB	44,63 bA	40,70 bA
+ 3 Dias	80,22 bA	81,97 aA	87,32 aA	79,59 aA
+ 5 Dias	96,27 aA	83,25 aB	93,35 aA	80,34 aB
Cv (%)	21,55			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). n=14. Médias para cada cultivar, comparando plantas -Si e +Si, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). n=14. Asteriscos (*) indicam diferença significativa entre as cultivares quando comparadas plantas -Si ou +Si teste de Tukey ($p \leq 0,05$). n=14.

Para a AACPD todos os fatores foram significativos bem como a interação tripla. Plantas da cultivar Tbio Toruk, sem Si, apresentaram AACPD 195% maior que as plantas da cultivar Tbio Sossego, sem Si, quando tratadas com fungicida antes da inoculação (tab.14). No entanto, plantas da cultivar Tbio Toruk, com Si, apresentaram AACPD 39% menor, comparado as plantas da cultivar Tbio Sossego com Si, quando tratadas com fungicida um dia após a inoculação (tab.14). O tratamento com Si, nas plantas sem fungicida, reduziu a AACPD em 18% na cultivar Tbio Toruk, comparado as plantas sem Si (tab.14). Nas plantas da cultivar Tbio Toruk tratadas com fungicida, o fornecimento de Si reduziu a AACPD em 61, 48 e 12%, respectivamente, quando a aplicação do fungicida ocorreu preventivamente, 1 e 5 dias após a inoculação (tab.14). Nas plantas da cultivar Tbio Sossego tratadas com fungicida, o fornecimento de Si reduziu a AACPD em 15% nas plantas tratadas 5 dias após a inoculação (tab.14). O tratamento com fungicida, de modo geral, reduziu a AACPD quando a aplicação ocorreu preventivamente ou até 1 dias após a inoculação (tab.14). Na cultivar Tbio Toruk, a redução na AACPD variou de 81 até 52% nas plantas sem Si, e de 91 até 70%, nas plantas supridas com Si (tab.14). Na cultivar Tbio Sossego, a redução na

AACPD variou de 94 até 56% nas plantas sem Si, e de 93 até 56%, nas plantas supridas com Si (tab.14).

Tabela 14. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de giberela em espigas de trigo das cultivares TBIO Toruk (Tbio Toruk) e TBIO Sossego (Tbio Sossego) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si) sem aplicação de fungicida (Test) e com aplicação de fungicida 1 dia antes da inoculação (-1dia) e 1 (+1dia), 3 (+3dia) e 5 (+5 dias) dias após a inoculação de *Fusarium graminearum*. Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

	Tbio Toruk		Tbio Sossego	
	- Si	+ Si	- Si	+ Si
Test	5842,24 aA	4804,83 aB	5929,69 aA	5503,49 aA
- 1 Dia	1114,97* dA	432,51 cB	377,83 cA	399,00 cA
+ 1 Dia	2796,88 cA	1464,73* bB	2628,90 bA	2407,39 bA
+ 3 Dias	4898,44 bA	5052,21 aA	5329,53 aA	4811,21 aA
+ 5 Dias	5811,56 aA	5124,21 aB	5761,43 aA	4870,72 aB
Cv (%)	20,79			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $n=14$. Médias para cada cultivar, comparando plantas -Si e +Si, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $n=14$. Asteriscos (*) indicam diferença significativa entre as cultivares quando comparadas plantas -Si ou +Si teste de Tukey ($p \leq 0,05$). $n=14$.

Os fatores cultivar e silício foram significativos para a concentração de Si nos tecidos vegetais. A concentração de Si foi 26% maior na cultivar Tbio Sossego comparada a cultivar Tbio toruk, e 57% maior nas plantas supridas com Si comparado as plantas não supridas (tab. 15). A concentração de Si foi 220% maior nas folhas do que nas espigas.

Tabela 15. Concentração de silício (Si), em mg.Kg^{-1} de tecido seco, na folha (folha) e na espiga (espiga) de plantas de trigo, das cultivares TBIO Toruk (T) e TBIO Sossego (S) cultivadas em solo fertilizado com calcário dolomítico (-Si) ou silicato de cálcio (+Si). Pelotas, RS/ UFPel, 2019.

		Si (mg.Kg^{-1})			
		- Si	+ Si	Espiga	Folha
T	8,37 b	7,37 b	11,57 a	4,51 b	14,44 a
S	10,57 a	11,57 a	14,44 a	4,51 b	14,44 a
Dif ¹ . (%)	+ 26	+ 57	+ 220		
Cv (%)	6,09				

Médias, para cada variável, seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$). $n=14$.

1 – Diferença (+ = acréscimo, - = redução) em porcentagem entre médias dos tratamentos nas linhas e ou nas colunas para cada variável.

3.4. Discussão

O fornecimento de silício (Si) e seu acúmulo nos tecidos das plantas de trigo reduziu a severidade da giberela e a concentração de deoxinivalenol (DON) nos grãos das plantas cultivadas em ambiente controlado. Outrossim, a aplicação preventiva do fungicida apresentou maior eficiência de controle independentemente do nível de resistência parcial da cultivar contra giberela.

A cultivar Tbio Sossego apresentou menor severidade da giberela quando comparado com a cultivar Tbio Toruk, indicando maior resistência parcial contra a doença. Entretanto, um fato interessante foi que a cultivar Tbio Sossego apresentou maior resistência contra giberela, quando inoculada pelo método de aspersão, indicando que esta cultivar possui maior resistência do tipo I, enquanto que a cultivar Tbio Toruk foi mais resistente quando inoculada pelo método de flor única indicando maior resistência do tipo II (MESTERHAZY 1995).

O fornecimento de Si para plantas de trigo, em ambiente controlado, aumentou o período de incubação (PI) da giberela. O efeito do Si em estender o período de incubação também foi relatado para outras doenças do trigo, como para mancha amarela (PAZDIORA et al., 2018), brusone nas folhas (XAVIER FILHA et al., 2011) e mancha marrom (DOMICIANO et al., 2010). O aumento no PI conferido pelo Si ocorreu independente da resistência genética das cultivares usadas no experimento. O Si é polimerizado na epiderme, e isso confere uma característica de barreira mecânica que já foi associada ao comprometimento da funcionalidade do apreensório e na redução da degradação da cera por *Bipolaris sorokiniana* (DOMICIANO et al., 2010). Estas características conferidas pelo Si contribuíram para o aumento do período de incubação e na redução da severidade. Contudo além desta característica de barreira física, mecanismos bioquímicos de defesa também podem contribuir na redução e retardamento das infecções atreves da deposição de calose e formação de papilas, como foi observado em *B. graminis* f. sp. tritici (BÉLANGER et al., 2003). No entanto, como a infecção de *Fusarium* sp. em trigo ocorre via anteras o efeito mais provável do Si seja por meio de respostas bioquímicas que retardaram as fases iniciais da patogênese aumentando o PI.

No entanto, de modo geral, o Si não evita que ocorram infecções e naquelas bem sucedidas o Si atrasou a colonização da planta pelo patógeno, como indicado

pela redução da severidade final e pela área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). A AACPD, que é o resultado da integralização das avaliações de severidade em função do tempo, resume os efeitos do tempo que o patógeno leva para infectar e se desenvolver nos tecidos da planta. O fornecimento de Si reduziu AACPD, indicando que o mesmo alterou componentes de resistência envolvidos na infecção e desenvolvimento das lesões. Estudos em outros patossistemas, *Pyrenophora tritici-repentis* × trigo (PAZDIORA et al., 2018), *Bipolaris oryzae* × arroz (DALLAGNOL et al., 2009) e *Magnaporthe oryzae* × arroz (CACIQUE et al., 2012), mostraram que a alteração de componentes de resistência proporcionada pelo Si, causaram mudanças na dinâmica da epidemia da doença. Assim tratamentos que alteram componentes de resistência culminam na redução da severidade e conseqüentemente apresentam uma menor AACPD.

Não obstante, a diferença na severidade final proporcionada pelo fornecimento de Si influenciaram no acúmulo de DON. Nas plantas que foram usadas como controle e inoculadas com água, não foi possível detectar a presença da micotoxina. Já nas plantas inoculadas com o patógeno, pelo método de flor única, foi detectado a presença de DON, mas em quantidade abaixo do limite de quantificação pelo equipamento. Nestas plantas, as espiguetas inoculadas morreram rapidamente e não produziram grãos, ou quando produziram foram poucos e a produção ocorreu apenas nas espiguetas que não foram inoculadas ou colonizadas pelo patógeno, fato que explica a baixa quantidade de DON.

A cultivar Tbio Toruk, quando inoculada por aspersão, devido a elevada severidade (>90%) não produziu grãos em quantidade suficiente para serem analisados. Por outro lado, a cultivar Tbio Sossego, que apresentou uma severidade menor e progresso mais lento, conforme indicado pela AACPD, produziu grãos. Neste caso, embora o Si foi eficiente na redução da concentração de DON, embora os níveis de DON permaneceram altos, inclusive acima do limite máximo de 1250 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ estabelecido pela ANVISA. (ANVISA - RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 138, DE 8 DE FEVEREIRO DE 2017). Porém, as alterações conferidas pelo Si, como maior período de incubação, menor progresso da doença, resultando em menor AACPD e severidade final, proporcionaram às plantas reduzir em cerca de 50% a concentração de DON.

O fungicida foi eficiente para reduzir a severidade da giberela e consequentemente a AACPD quando aplicado de forma preventiva. A aplicação um (1) dia após a inoculação, embora eficiente na redução da severidade e AACPD, o controle foi inferior ao observado na aplicação preventiva. Por outro lado, aplicações aos três e cinco dias após a inoculação não reduziram a severidade. Estes dados mostram a importância do momento da aplicação do fungicida para maximizar a eficiência do controle químico. A giberela do trigo é uma doença monocíclica e reduzir a infecção inicial é muito importante para controlar a doença; e o controle preventivo é o meio mais eficiente para o manejo, devido ao hábito parasitário do patógeno e ao fato de que o fungicida apresenta baixa mobilidade nos órgãos afetados pelo fungo (DEL PONTE et al.,2004). Entretanto, um fato importante merece ser enfatizado em relação ao controle químico associado a aplicação de Si, no qual o tratamento com fungicida reduziu a severidade e AACPD da doença com maior eficiência nas aplicações preventivas e na realizada um (1) dia após a inoculação, especialmente na cultivar Tbio Toruk que apresenta menor resistência parcial, na comparação as plantas sem Si.

Os resultados deste estudo demonstram que o fornecimento de Si para plantas de trigo resultou em incremento na resistência parcial dos genótipos contra giberela e potencializou o controle obtido pelo fungicida na cultivar com menor resistência parcial, principalmente quando aplicado de forma preventiva.

Outro aspecto importante está relacionado a forma de inoculação, em que na inoculação por flor única resultou em menor PI. Na inoculação por flor única, o patógeno é depositado dentro da estrutura floral, aumentando a eficiência do procedimento por colocar o patógeno diretamente nos tecidos da planta mais suscetíveis e bem como por proporcionar ambiente mais estável, quanto à temperatura e umidade, para as fases iniciais da patogênese. Outrossim, a menor severidade neste modo de inoculação deve-se a necessidade da colonização do patógeno para demais espiguetas para aumentar a quantidade de tecido afetado. Assim, o modo de inoculação, principalmente pela diferença do local onde são depositados os esporos, também alteraram componentes que influenciaram o PI e a severidade da doença. Não obstante, o método de inoculação mostrou que as cultivares usadas no experimento possuem variação nos níveis de resistência do tipo

I e tipo II, sendo que a resistência da cultivar Tbio Sossego baseia-se principalmente na resistência contra à infecção.

Em conclusão os resultados deste estudo mostram que a aplicação de fungicida de forma preventiva é a forma mais eficiente de controle da giberela e é potencializada quando associada ao uso de cultivar com maior resistência parcial e com o fornecimento de Si para plantas. A maior eficiência de controle da giberela com a associação das medidas de manejo conferiu maior redução da concentração de DON nos grãos do trigo.

4. Conclusões Gerais

A resistência genética, aplicação de fungicida e fornecimento de Si, foram eficientes em reduzir a severidade e incrementar a produção de plantas de trigo em condições de campo;

O fator com maior eficiência para controle da giberela foi a aplicação de fungicida seguido de resistência genética e fornecimento de Si;

A combinação dos fatores estudados, foi a mais eficiente em reduzir o acúmulo de DON;

A aplicação preventiva de fungicida é a forma mais eficiente para controle da giberela.

5. Referencias

- ALVES, R. H.; NORA, T. D.; FRANCO, F. A.; COSTA, A. C. T.; STANGARLIN, J. R. Reação de Resistência Tipo I e Tipo II a Giberela em cultivares de trigo. **Summa Phytopathologica**, v.39, n.3, p.167-171, 2013.
- ANTONISSEN, G.; MARTEL, A.; PASMANS, F.; DUCATELLE, R.; VERBRUGGHE, E.; VANDENBROUCKE, V.; LI, S.; HAESEBROUCK, F.; VAN IMMERSEEL, F.; CROUBELS, S. The Impact of *Fusarium* Mycotoxins on Human and Animal Host Susceptibility to Infectious Diseases. **Toxins**, v. 6, n. 2, p. 430-452, Feb 2014.
- AUGUSTI, G. R.; SARI, B. G.; DRESSLER DA COSTA, I. F.; RODRIGUES, J. S.; GUERRA, R. C. Aplicações preventivas e erradicantes de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 3, p. 288-289, 2014
- ATANASOFF, D. Fusarium-blight (scab) of wheat and other cereals. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 1, p. 1-40, 1920.
- BLANDINO, M.; HAIDUKOWSKIB, M.; PASCALEB, M.; PLIZZARIC, L.; SCUDELLARID, D.; REYNERIA, A. Integrated strategies for the control of Fusarium head blight and deoxynivalenol contamination in winter wheat. **Field Crops Research**, v. 133, p.139-149, 2012.
- BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to *Powdery mildew* (*Blumeria graminis* f. sp tritici). **Phytopathology**, v. 93, n. 4, p. 402-412, 2003.
- 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 x Environment x Management synergies to manage fusarium head blight in wheat. **Canadian Journal of Plant Pathology**, 2018
- BOSHOFF, W.H.P.; PRETORIUS, Z. A.; SWART, W. J. Fusarium species in wheat grown from head blight infected seed, **South African Journal of Plant and Soil**, v. 15, n.1, p. 46-47, 1998.

BOTTALICO, A.; PERRONE, G. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. **European Journal of Plant Pathology**, v.108, n. 7, p. 611-624, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Análise Sanitária de Sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 200p.

BROWNE, R. A. Investigation into components of partial disease resistance, determined in vitro, and the concept of types of resistance to *Fusarium* head blight (FHB) in wheat. **European Journal of Plant Pathology**, v.123, p. 229–234, 2009.

CHERIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *pythium-ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 41, n. 6, p.411-425, 1992.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhameto da safra brasileira: Grãos quarto levantamento da safra, Janeiro de 2019**. Companhia nacional de abastecimento – Brasília, CONAB, 2019

COWGER, C.; PATTON-OZKURT, J.; BROWN-GUEDIRA, G.; PERUGINI, L. Post-Anthesis Moisture Increased *Fusarium* Head Blight and Deoxynivalenol Levels in North Carolina Winter Wheat. **Phytopathology**, v. 99, n. 4, p. 320-327, 2009.

COWGER, C.; ARRELLANO, C. Plump Kernels with High Deoxynivalenol Linked to Late *Gibberella zeae* Infection and Marginal Disease Conditions in Winter Wheat. **Phytopathology** v.100 p. 719-728, 2010.

CREPPY, E. E. Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. **Toxicology Letters**, v. 127, n. 1-3, p. 19-28, 2002.

CRUZ, M. F. A.; DEBONA, D.; RIOS, J.A.; BARROS, E. G.; RODRIGUES, F. A. Potentiation of defense-related gene expression by silicon increases wheat resistance to leaf blast. **Tropical Plant Pathology**, v. 40, n. 6, p 394–400, 2015.

CUNHA, G.R.; CAIERÃO, E.; ROSA, A.C. (Eds.). **Informações técnicas para trigo e triticales – safra 2016/ 9ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de trigo e triticales**. Passo Fundo, RS: Biotrigo Genética, 2016. 228p.

OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. (Org.). Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218p.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F.A.; DAMATTA, F.M.; MIELLI, M.V.; PEREIRA, S.C. Deficiency in Silicon Uptake Affects Cytological, Physiological, and Biochemical Events in the Rice-*Bipolaris oryzae* Interaction. **Phytopathology**, v. 101, n. 1, p. 92-104, 2011.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; MIELLI, M. V. B.; MA, J. F. Rice grain resistance to brown spot and yield are increased by silicon. **Tropical Plant Pathology**, v. 39, n. 1, p. 56-63, 2014.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; MIELLI, M. V. B.; MA, J. F.; DATNOFF, L. E. Defective Active Silicon Uptake Affects Some Components of Rice Resistance to Brown Spot. **Phytopathology**, v. 99, n. 1, p. 116-121, 2009.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; TANAKA, F. A. O.; AMORIM, L.; CAMARGO, L. E. A. Effect of potassium silicate on epidemic components of *powdery mildew* on melon. **Plant Pathology**, v. 61, n. 2, p. 323-330, 2012.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; PASCHOLATI, S. F.; FORTUNATO, A. A.; CAMARGO, L. E. A. Comparison of root and foliar applications of potassium silicate in potentiating post-infection defences of melon against powdery mildew. **Plant Pathology**, v. 64, p. 1085-1093, 2015.

DALLAGNOL, L. J.; ARAUJO FILHO, J. V. Uma visão geral da resistência genética da planta a microrganismos. In DALLAGNOL, L. J. (Org.) **Resistência genética de planta a patógenos**. Pelotas: Ed. UFPel, 2018. 437p.

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, p.1387-1397, 2014.

DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, n. 75, p. 729-732. 1991.

DE BOEVRE, M.; GRANICZKOWSKA, K.; DE SAEGER, S. Metabolism of modified mycotoxins studied through invitro and invivo models: An overview. **Toxicology letters**, v. 233, n. 1, p. 24-28, 2015.

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.

DEBONA, D.; FORTUNATO, A. A.; ARAÚJO, L.; RODRIGUES, A. L. C.; RODRIGUES, F. A. Rice defense responses to *Bipolaris oryzae* mediated by a strobilurin fungicide. **Tropical Plant Pathology**, v. 43, p. 389-401, 2018.

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

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; PAVAN, W.; PIEROBOM, C.R. Simulação da dinâmica do florescimento do trigo como base para um modelo de risco de giberela. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, n. 3, p. 323-331, 2004.

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; PAVAN, W.; BAETHGEN, W. A model-based assessment of the impacts of climate variability on Fusarium head blight seasonal risk in southern Brazil. **Journal of Phytopathology**, v. 157, p. 675-681, 2009.

DEL PONTE, E. M.; SPOLTI, P.; WARD, T.; GOMES, L. B.; NICOLLI, C. P.; KUHNEM, P. R.; DA SILVA, C. N.; TESSMANN, D. J. Regional and field-specific factors affect the composition of Fusarium head blight pathogens in subtropical no-till wheat agroecosystem of Brazil. **Phytopathology**, v. 105, p. 246-254, 2015.

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; BERGSTROM, G. C. Influence of growth stage on fusarium head blight and deoxynivalenol production in wheat. **Journal of Phytopathology**, v. 57, p. 577-581, 2007.

DEL PONTE, E. M.; SHAH, D. A.; BERGSTROM, G. Spatial patterns of Fusarium head blight in New York wheat fields suggest role of airborne inoculum. **Plant Health Progress**, doi:10.1094/PHP-2003-0418-01-RS., 2003.

DESMOND, O. J.; MANNERS, J.M.; STEPHENS, A.E; MACLEAN, D.J.; SCHENK, P.M.; GARDINER, D.M.; MUNN, A.L.; KAZAN, K. The *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol elicits hydrogen peroxide production, programmed cell death and defence responses in wheat. **Molecular Plant Pathology**, v. 9, n. 4, p. 435–445, 2008.

DEUNER, C. C.; VIANA, E.; CAMERA, J. N.; REIS, E. M. Resistência de cultivares de trigo à giberela mediante inoculação artificial em espiguetas. **Summa Phytopathologica**, v. 41, p. 202-206, 2015.

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.

DING, L.; XU, H; YI, H.; YANG, L.; KONG, Z.; ZHANG, L.; XUE, S.; JIA, H.; MA, Z. Resistance to Hemi-Biotrophic *F. graminearum* Infection Is Associated with Coordinated and Ordered Expression of Diverse Defense Signaling Pathways. **PLoS ONE** v. 6, n. 4, e19008, 2011.

DOMICIANO, G. P.; RODRIGUES, F.A.; VALE, F. X. R.; XAVIER FILHA, M. S.; MOREIRA, W. R.; ANDRADE, C. C. L.; PEREIRA, S. C. Wheat Resistance to Spot Blotch Potentiated by Silicon. **Journal of Phytopathology**, v. 158, n. 5, p. 334-343, 2010.

DORNELES, K. R.; DALLAGNOL, L. J.; PAZDIORA, P. C.; RODRIGUES, F. A.; DEUNER, S. Silicon potentiates biochemical defense responses of wheat against tan spot. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 97, p. 69-78, 2017.

DORNELES, K. R.; PAZDIORA, P. C.; HOFFMANN, J. F.; CHAVES, F. C.; MONTE, L. G.; RODRIGUES, F. A.; DALLAGNOL, L. J. Wheat leaf resistance to *Pyrenophora tritici-repentis* induced by silicon activation of phenylpropanoid metabolism. **PLANT PATHOLOGY**, v. 67, p. 1713-1724, 2018.

DWEBBA, C.C.; FIGLANAB, S.; SHIMELISB, H.A.; MOTAUNGA, T.E.; SYDENHAMA, S.; MWADZINGENIAB, L.; TSILOAC, T.J. Show more Fusarium head blight of wheat: Pathogenesis and control strategies. **Crop Protection** v. 91, p 114-122, 2017.

ESCRIVA, L.; FONT, G.; MANYES, L. In vivo toxicity studies of *fusarium* mycotoxins in the last decade: A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 78, p. 185-206, 2015.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Situación Alimentaria Mundial**. Disponível em: <<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>> acesso em 05 de mar de 2019.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, 88, 396–401, 1998.

FORCELINI, C.A.; REIS, R.M. **Doenças da Cevada**. In: Kimati, H; Amorin, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A. Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas, São Paulo. 2005. p. 231-234.

GAGKAEVA, T.YU.; ORINA, A.S.; GAVRILOVA O.P.; ABLOVA, I.B. BESPALOVA L.A. Characterization of resistance of winter wheat varieties to Fusarium head blight. **Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding**, v. 22, n. 6, p. 685-692, 2018.

GHANMI, D.; MCNALLY, D. J.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: a pathosystem for exploring the role of silicon in plant–microbe interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 64, n. 4, p.189-199, 2004.

GILBERT, J.; HABER, S. Overview of some recent research developments in fusarium head blight of wheat. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 35, n. 2, p.149-174, 2013.

GOMEZ, K. A.; GOMEZ, A. A. **Statistical Procedures for Agricultural Research**. 2nd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1984. 680 p.

GOSWAMI, R. S.; KISTLER, H. C. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. **Molecular Plant Pathology**, v. 5, n. 6, p. 515-525, 2004.

HAYASAKA, T.; FUJII, H.; ISHIGURO, K. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. **Phytopathology**, v. 98, n. 9, p. 1038-1044, Sep 2008.

HERNANDEZ NOPSA, J. F.; BAENZIGER, P. S.; ESKRIDGE, K. M.; PEIRIS, K.H.S.; DOWELL, F. E.; HARRIS, S. D.; WEGULO, S. N. Differential accumulation of deoxynivalenol in two winter wheat cultivars varying in FHB phenotype response under field conditions. **Canadian Journal of Plant Pathology**. v. 34, p. 380–389, 2012,

JONES, L.; HANDRECK, K. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, v. 19, n. 1, p. 107-149, 1967.

KANG, Z.; BUCHENAUER, H. Ultrastructural and immunocytochemical investigation of pathogen development and host responses in resistant and susceptible wheat spikes infected by *Fusarium culmorum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 57, p. 255–268, 2000.

KANTO, T.; MIYOSHI, A.; OGAWA, T.; MAEKAWA, K.; AINO, M. Suppressive effect of potassium silicate on powdery mildew of strawberry in hydroponics. **Journal of General Plant Pathology**, v. 70, n. 4, p. 207-211, 2004.

KANTO, T.; MIYOSHI, A.; OGAWA, T.; MAEKAWA, K.; AINO, M. Suppressive effect of liquid potassium silicate on powdery mildew of strawberry in soil. **Journal of General Plant Pathology**, v. 72, n. 3, p. 137–142, 2006.

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.

KELLER, M. D., WAXMAN, K. D.; BERGSTROM, G. C.; SCHMALE, D. G. Local distance of wheat spike infection by released clones of *Gibberella zeae* disseminated from infested corn residue. **Plant Disease**, v. 94, p. 1151-1155, 2010.

KHEIRI, A.; JORF, S. A. M.; MALIHIPOUR, A. Infection process and wheat response to Fusarium head blight caused by *Fusarium graminearum*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 153, n. 2, p. 489–502, 2018.

KHONGA, E. B.; SUTTON, J. C. Inoculum production and survival of *Gibberella zeae* in maize and wheat residues. **Canadian Journal of Plant Pathology-Revue Canadienne De Phytopathologie**, v. 10, n. 3, p. 232-239, 1988.

KIKOT, G.E.; HOURS, R.A.; ALCONADA, T.M. Contribution of cell wall degrading enzymes to pathogenesis of *Fusarium graminearum*: a review. **Journal of Basic Microbiology**, v. 49, n. 3, p. 231-24, 2009.

KIM, S. G.; KIM, K.W.; PARK, E.W.; CHOI, D. et al. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: A possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, v. 92, n. 10, p.1095-1103, 2002.

KORNDÖRFER, G.; PEREIRA, H.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 34.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals - Illustration of the feekes scale. **Plant Pathology**, Oxford, v. 3, p. 128-129, 1954.

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; SI, J.; RÖMHELD, V. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, v. 54, n. 5, p. 678-685, 2005.

MA, J. F.; GOTO, S.; TAMAI, K.; ICHII, M. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. **Plant Physiology**, v. 127, n. 4, p. 1773-1780, 2001.

MA, J. F.; TAMAI, K.; ICHII, M. Wu, G. F. A rice mutant defective in Si uptake. **Plant Physiology**, v. 130, n. 4, p. 2111-2117, 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 65, n. 19, p. 3049-3057, 2008.

MA, J. F.; YAMAJI, N.; MITANI-UENO, N. Transport of silicon from roots to panicles in plants. **Proceedings of the Japan Academy Series B-Physical and Biological Sciences**, v. 87, n. 7, p. 377-385, 2011.

MALDONADO-RAMIREZ, S. L.; SCHMALE, D. G.; SHIELDS, E. J.; BERGSTROM, G. C. The relative abundance of viable spores of *Gibberella zeae* in the planetary boundary layer suggests the role of long-distance transport in regional epidemics of Fusarium head blight. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 132, n. 1-2, p. 20-27, 2005.

MALLMANN, C. A.; DILKIN, P.; MALLMANN, A. O.; OLIVEIRA, M. S.; ADANIYA, Z. N. C.; TONINI, C. Prevalence and levels of deoxynivalenol and zearalenone in commercial barley and wheat grain produced in Southern Brazil: an eight-year (2008 to 2015) summary. **Tropical Plant Pathology**, v. 42, p. 146-152, 2017.

MAYLAND, H. S.; WRIGHT, J. L.; SOJKA, R. E. Silicon accumulation and water uptake by wheat. **Plant and Soil**, v.137, p.191-199, 1991.

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, Dec 1997.

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.

MENDES, G. R. L.; DEL PONTE, E.M.; FELTRIN, A. C.; FURLONG, E. B.; OLIVEIRA, A. C. Common resistance to Fusarium head blight in Brazilian wheat cultivars. **Scientia Agricola**, v. 75, p. 426-431, 2018.

MESTERHAZY, A. Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. **Plant Breeding**, v. 114, n. 5, p. 377-386, 1995.

MONTPETIT, J.; VIVANCOS, J.; MITANI-UENO, N.; YAMAJI, N.; RÉMUS-BOREL, W.; BELZILE, F.; MA, J.F.; BÉLANGER, R.R. Cloning, functional characterization and heterologous expression of TaLsi1, a wheat silicon transporter gene. **Plant Molecular Biology**, v. 79, n. 1-2, p. 35-46, 2012.

NAKATA, Y.; UENO, M.; KIHARA, J.; ICHII, M.; TAKETA, S.; ARASEA, S. Rice blast disease and susceptibility to pests in a silicon uptake-deficient mutant *Isi1* of rice. **Crop Protection**, v 27, n. 3–5, p. 865-868, 2008

NING, D.; SONG, A.; FAN, F.; LI, Z.; LIANG, Y. Effects of Slag-Based Silicon Fertilizer on Rice Growth and Brown-Spot Resistance. **PLoS ONE** v. 9, n. 7, e102681. 2014.

OSBORNE, L. E.; STEIN, J. M. Epidemiology of Fusarium head blight on small-grain cereals. **International Journal of Food Microbiology**, v. 119, p. 103–108, 2007.

PAGNUSSATT, F. A.; DEL PONTE, E. M.; GARDA-BUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Inhibition of *Fusarium graminearum* growth and mycotoxin production by phenolic extract from *Spirulina* sp. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.108, p. 21-26, 2014.

PANISSON, E.; BOLLER, W.; REIS, E. M. Avaliação da deposição de calda em anteras de trigo, para o estudodo controle químico de giberela (*Gibberella zeae*). **Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.111-120, 2004.

PARLEVLIT, J. E. Race-specific aspects of polygenic resistance of barley to leaf rust, *Puccinia hordei*. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 84, n. 4, p 121–126, 1978.

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, 1995.

PAUL, P. A.; EL-ALLAF, S.M.; LIPPS, P.E.; MADDEN, L.V. Rain splash dispersal of *Gibberella zeae* within wheat canopies in Ohio. **Phytopathology**, v. 94, n. 12, p. 1342-1349, 2004.

PAUL, P.A.; LIPPS, P.E.; MADDEN, L.V. Relationship between visual estimates of Fusarium head blight intensity and deoxinivalenol accumulation in harvested wheat grain: a meta-analysis. **Phytopathology**, v.95, p.1225-1236, 2005.

PAUL, P. A. et al. Integrated effects of genetic resistance and prothioconazole plus tebuconazole application timing on Fusarium Head Blight in wheat. **Plant Disease**, v. 103, n. 2, p. 223-237, 2019.

PAZDIORA, P. C.; DORNELES, K. R.; FORCELINI, C. A.; DEL PONTE, E. M.; DALLAGNOL, L. J. Email author Silicon suppresses tan spot development on wheat infected by *Pyrenophora tritici-repentis*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 150, p. 49-56, 2018.

PERAICA, M.; RADIĆ, B.; LUCIĆ, A.; PAVLOVIĆ, M. Toxic effects of mycotoxins in humans. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 77, n. 9, p. 754-766, 1999

- PIRES, J.L.F et al. **Avaliação de cultivares de trigo em sistema de manejo tradicional e otimizado**. Passo Fundo, 2004. Embrapa Trigo, Documentos online n° 54, Passo Fundo, RS. 2005.
- PIRGOZLIEV, S. R.; EDWARDS, S. G.; HARE, M. C.; JENKINSON, P. Strategies for the control of *Fusarium* head blight in cereals. **European Journal of Plant Pathology**, v. 109, p. 731–742, 2003.
- PONTS, N. Mycotoxins are a component of *Fusarium graminearum* stress-response system. **Frontier in microbiology**, v. 6, p.1234, 2015.
- PRITSCH, C.; MUEHLBAUER, G.J.; BUSHNELL, W.R.; SOMERS, D.A.; VANCE, C.P. Fungal development and induction of defense response genes during early infection of wheat spikes by *Fusarium graminearum*. **Molecular plant microbe interactions**, v. 13, n. 2, p. 159–169, 2000.
- PRUSSIN, A. J.; LI, Q.; MALLA, R.; ROSS, S.D.; SCHMALE, D.G. Monitoring the Long-Distance Transport of *Fusarium graminearum* from Field-Scale Sources of Inoculum. **Plant Disease**, v. 98, n. 4, p. 504-511, Apr 2014.
- PUGH, G., JOHANN, W.H.; DICKSON, J.G. Factors affecting infection of wheat heads by *Gibberella saubinetii*. **Journal Agricultural Research** v. 46, p. 771-797, 1933.
- RANSOM, J.; MCMULLEN, M. Yield and disease control on hard winter wheat cultivars with foliar fungicides. **Agronomy Journal**, v. 100, p.1130-1137, 2008.
- REES, R. G.; PLATZ, G. J. Effects of yellow spot on wheat - comparison of epidemics at different stages of crop development. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 34, n. 1, p. 39-46,1983.
- REIS, E. M.; CARMONA, M. A. Integrated disease management of *Fusarium* Head Blight. **Fusarium Head Blight in Latin America**, p.159-173, 2013.
- REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças do Trigo**. In: KIMATI, H; AMORIN, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas, São Paulo, 2005. p. 631-638.
- REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças dos cereais de inverno – diagnose, epidemiologia e controle**. Lages: 2007. 176.
- RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon induces antifungal compounds in powdery mildew-infected wheat. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 66, p.108–115, 2005.
- RESENDE, R.S.; Rodrigues, F. A.; Costa, R. V.; Silva, D. D. Silicon and Fungicide Effects on Anthracnose in Moderately Resistant and Susceptible Sorghum Lines. **Journal of Phytopathology**, v. 161, p. 11-17, 2013.

RICHARD, J. L. Mycotoxins, toxicity and metabolism in animals - A systems approach overview. **Mycotoxins and Phycotoxins - Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety**, p. 363-397, 1998.

RIOS, J. A.; DEBONA, D. Efeito epidemiológico da resistência de hospedeiro. In DALLAGNOL, L. J. (Org.) **Resistência genética de planta a patógenos**. Pelotas: Ed. UFPel, 2018. 437p.

RODGERS-GRAY, B. S.; SHAW, M. W. Effects of straw and silicon soil amendments on some foliar and stem-base diseases in pot-grown winter wheat. **Plant Pathology**, v. 53, p.733–740, 2004.

RODRIGUES, F. A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; BELANGER, R. R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, v. 93, n. 5, p. 535-546, 2003.

RODRIGUES, F. A.; MCNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBE, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v. 94, n. 2, p. 177-183, 2004.

RODRIGUES, F. A.; POLANCO, L. R.; DUARTE, H. S. S.; RESENDE, R. S.; DO VALE, F. X. R. Photosynthetic Gas Exchange in Common Bean Submitted to Foliar Sprays of Potassium Silicate, Sodium Molybdate and Fungicide and Infected with. **Journal of Phytopathology**, v. 163, p. 554-559, 2015.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. **Silicon and Plant Diseases**. Switzerland: Springer, 2015. 159p.

ROMERO-GONZÁLEZ, R.; GARRIDO FRENICH, A.; MARTÍNEZ VIDAL, J. L.; PRESTES, O.D.; GRIJO, S.L. Simultaneous determination of pesticides, biopesticides and mycotoxins in organic products applying a quick, easy, cheap, effective, rugged and safe extraction procedure and ultra-high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1218, n. 11, p. 1477-1485, 2011.

SAKURAI, G.; YAMAJI, N.; MITANI-UENO, N.; YOKOZAWA, M.; ONO, K.; MA, J. F. A Model of Silicon Dynamics in Rice: An Analysis of the Investment Efficiency of Si Transporters. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1187, 2017.

SAVARY, S.; FICKE, A.; AUBERTOT, J.; HOLLIER, C. Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. **Food Security**, v. 4, n. 4, p. 519–537, 2012.

SCHAAF SMA, A. W.; TAMBURIC-ILINIC, L.; MILLER, J. D.; HOOKER, D. C. Agronomic considerations for reducing deoxynivalenol in wheat grain. **Canadian Journal of Plant Pathology-Revue Canadienne De Phytopathologie**, v. 23, n. 3, p. 279-285, 2001.

SCHMALE, D. G.; LESLIE, J. F.; ZELLER, K. A.; SALEH, A. A.; SHIELDS, E. J.; BERGSTROM, G. C. Genetic structure of atmospheric populations of *Gibberella zeae*. **Phytopathology**, v. 96, n. 6, p.104, 2006.

SCHROEDER, H.W. AND CHRISTENSEN, J.J. (1963) Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. **Phytopathology**, v. 53, p. 831-838, 1963.

SCOZ, L. B.; ASTOLFI, P.; REARTES, D. S.; SCHMALE, D.; MORAES, M. G.; DEL PONTE, E. M. Trichothecene mycotoxin genotypes of *Fusarium graminearum* sensu stricto and *Fusarium meridionale* in wheat from southern Brazil. **Plant Pathology**, v. 58, p. 344-351, 2009.

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 Pathology**, v. 67, p. 532–548, 2018.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. Effect of nitrogen-fertilization on expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

SHANG, S. et al. Impacts of climate change on Fusarium head blight in winter wheat. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 27, n. 6, p. 3906-3913, 2018.

SILVA, I. T.; RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, J. R.; PEREIRA, S. C.; ANDRADE, C. C. L.; SILVEIRA, P. R.; CONCEIÇÃO, M. M. Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated by silicon. **Journal of Phytopathology**, v. 158, n. 4, p. 253-262, 2010.

SNIJDERS, C. H. A. Fusarium head blight and mycotoxin contamination of wheat, a review. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 96, n. 4, p. 187-198, 1990.

SOBROVA, P.; VASÁTKOVÁ, A.; KRÍZKOVÁ, S.; ZEMAN, L.; ADAM, V.; KIZEK, R. Biochemical profile of effect of deoxynivalenol supplemented by mouldy cereals on rats. **MendelNet 2010**, p. 957-963, 2010.

STRANGE, R.N.; SMITH, H. A fungal growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. **Physiological Plant Pathology**, v. 1, n. 2, p.141-144, 1971.

SUTTON, J. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 4, n. 2, p. 195-209, 1982.

TAKAHASHI, E.; MA, J.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, v. 2, n. 2, p. 99-102, 1990.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: ATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; et al. (ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. cap.5, p.420-433.

WALTER, S.; NICHOLSON, P.; DOOHAN F. N. Action and reaction of host and pathogen during Fusarium head blight disease. **New Phytologist**, v. 185, p. 54–66, 2010.

VAN BOCKHAVEN, J.; DE VLEESSCHAUWER, D.; HOFTE, M. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 5, p. 1281-1293, Mar 2013.

VAN DEN BERG, F.; VAN DEN BOSCH, F.; AND PAVELEY, N. D. Optimal fungicide application timings for disease control are also an effective anti-resistance strategy: A case study for *Zymoseptoria tritici* (*Mycosphaerella graminicola*) on wheat. **Phytopathology**, v.103, p.1209-1219, 2013.

WANJIRU, W. M.; ZHENSHENG, K.; BUCHENAUER, H. Importance of Cell Wall Degrading Enzymes Produced by *Fusarium graminearum* during Infection of Wheat Heads. **European Journal of Plant Pathology**, v.108, n. 8, p. 803–810, 2002.

WART, J.V.; KERSEBAUM, K. C.; PENG, S.; MILNER, M.; CASSMAN, K. G. Estimating crop yield potential at regional to national scales. **Field Crops Research**, v. 143, p.34-43, 2013

WEGULO, S. N.; BOCKUS, W. W.; NOPSA, J. H.; 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, p. 554-560, 2011.

WEGULO, S. N.; BAENZIGER, P. S.; NOPSA, J. H.; BOCKUS, W. W.; HALLEN-ADAMS, H. Management of Fusarium head blight of wheat and barley. **Crop Protection**, v. 73, p. 100-107, 2015.

WIESE, J.; WIESE, H.; SCHWARTZ, J.; SCHUBERT, S. Osmotic stress and silicon act additively in enhancing pathogen resistance in barley against barley powdery mildew. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p. 269–274, 2005.

XAVIER FILHA, M. S.; RODRIGUES, F. A.; DOMICIANO, G. P.; OLIVEIRA, H. V.; SILVEIRA, P. R.; MOREIRA, W. R. Wheat resistance to leaf blast mediated by silicon. **Australasian Plant Pathology**, v. 40, n. 1, p. 28-38, 2011.

XU, X. M. Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. **European Journal of Plant Pathology**, v. 109, n. 7, p. 683-689, Sep 2003.

YAMAJI, N.; MA, J. F. A Transporter at the Node Responsible for Intervascular Transfer of Silicon in Rice. **Plant Cell**, v. 21, n. 9, p. 2878-2883, Sep 2009.

YIN, Y.; LIU, X.; LI, B.; MA, Z. Characterization of sterol demethylation inhibitor resistant isolates of *Fusarium asiaticum* and *F. graminearum* collected from wheat in China. **Phytopathology**, v.99, p.487-497, 2009

YOSHIDA, S. The physiology of silicon in rice. **Technical Bulletin-Asian and Pacific Council. Food and Fertilizer Technology Center (ASPAC/FFTC)**, 1975.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 8, n. 3, p. 15-21, 1962.

YOSHIDA, M.; NAKAJIMA, T.; TOMIMURA, K.; SUZUKI, F.; ARAI, M.; MIYASAKA, A. Effect of the timing of fungicide application on Fusarium head blight and mycotoxin contamination in wheat. **Plant Disease**, v. 96, p. 845-851, 2012.

ZAIN, M. E. Impact of mycotoxins on humans and animals. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 15, n. 2, p. 129-144, Apr 2011.