

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós Graduação em Fitossanidade**



**Dissertação**

**Silício, cultivares e programas de controle químico no manejo de doenças  
foliares da cultura da cevada**

**Anderson Eduardo Brunetto**

**Pelotas, 2019.**

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

B895s Brunetto, Anderson Eduardo

Silício, cultivares e programas de controle químico no manejo de doenças foliares da cultura da cevada / Anderson Eduardo Brunetto ; Leandro José Dallagnol, orientador. — Pelotas, 2019.

70 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. *Blumeria graminis* fs. *hordei*. 2. *Cochliobolus sativus*. 3. *Pyrenophora teres*. 4. Silicato de cálcio. 5. Fungicida. I. Dallagnol, Leandro José, orient. II. Título.

CDD : 633.1693

**ANDERSON EDUARDO BRUNETTO**

**Silício, cultivares e programas de controle químico no manejo de doenças  
foliares da cultura da cevada**

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

Orientador: Prof. Dr. Leandro José Dallagnol

Pelotas, 2019.

Anderson Eduardo Brunetto

**Silício, cultivares e programas de controle químico no manejo de doenças foliares da cultura da cevada**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Fitossanidade Programa de Pós-graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

28 de Fevereiro de 2019

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. Leandro José Dallagnol (Orientador)  
Doutor em Ciências (Fitopatologia) pela Esalq/USP

Prof. Dr. Jerônimo Vieira de Araújo Filho  
Doutor em Ciências (Fitopatologia) pela Esalq/USP

Prof. Dr. Daniel Debona  
Doutor em Fitopatologia pela Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. José Antonio Martinelli  
Doutor em Fitopatologia pela Universidade de Cambridge

Dedico este trabalho aos meus pais, Elaine e Anilton, meu irmão Leonardo Brunetto e à minha namorada Carolina Garcia Neves, pelo amor, carinho e apoio.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus acima de tudo.

A minha família, meu pai Elaine e Anilton e meu irmão Leonardo Brunetto, a base de tudo, obrigado pelo apoio, conforto e amor.

A minha namorada Carolina Garcia Neves, pelo convívio, amor e respeito. Te amo.

Ao meu orientador Professor Dr. Leandro José Dallagnol pelos ensinamentos, dedicação, profissionalismo e paciência.

Ao Laboratório de Interação Planta Patógeno (LIPP) pelo espaço e condições para desenvolvimento desse trabalho.

Ao doutorando do LIPP Keilor Dorneles pela amizade e contribuição no desenvolvimento do trabalho.

Ao estagiários do LIPP, Felipe Louzada e Lucas Cabaldi pelo apoio e contribuição no trabalho.

A Universidade Federal de Pelotas (UFPel) pelo apoio na formação de recursos humanos e de conhecimento.

A todos os professores do curso de mestrado que contribuíram para a ampliação do meu conhecimento técnico e científico.

Ao Programa de Pós- Graduação em Fitossanidade da UFPel pela oportunidade de realização do curso.

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

A AmBev pela disponibilização das sementes para implantação dos experimentos.

A todos os colegas e amigos que de alguma forma ou outra contribuíram para a realização desse trabalho.

*“O conhecimento pronto estanca o saber e a dúvida provoca a inteligência.”*  
(Vigotsky, 1987)

## Resumo

BRUNETTO, Anderson Eduardo. **Silício, cultivares e programas de controle químico no manejo de doenças foliares da cultura da cevada**. 2019. 70f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, Brasil.

Neste estudo foi avaliado a eficiência de fungicidas registrados para controle de doenças foliares na cultura da cevada com diferentes modos de ação e seu efeito no rendimento de grãos (Capítulo I). Adicionalmente, o fornecimento de silício (Si) para plantas de cevada, associado ou não ao controle químico foi avaliado, observando-se a supressão das doenças, manutenção da produtividade e peso de grãos (Capítulo II). Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Capão do Leão e Ronda Alta, no Rio Grande do Sul, onde foram semeadas sementes de cevada cervejeira com padrão de qualidade industrial para as respectivas avaliações de severidade e produtividade. Os tratamentos químicos aplicados foram produtos registrados para a cultura, com maior gama de grupos químicos e ingredientes ativos possíveis. Os experimentos com Si tiveram o fornecimento do elemento via solo, similarmente a calagem e com preparo convencional da área. Os resultados do estudo demonstram que as doenças são fatores limitantes da cultura e o controle químico reduz significativamente os danos no rendimento de grãos, observado nas cultivares BRS Korbel, BRS Brau e BRS Cauê. O estudo mostrou que produto com maior número de ingredientes ativos em mistura apresenta maior eficiência contra o complexo de doenças da cevada e manutenção da produtividade. Também foi possível verificar que as cultivares apresentam características distintas quanto ao comportamento contra doenças e variações entre locais. O uso do Si demonstrou incremento satisfatório para redução das perdas ocasionadas por doenças, garantindo rendimento de grãos em todas as cultivares testadas. A associação do Si com o controle químico proporcionou ganhos de eficiência igual ao somatório de sua porcentagem de eficiência isolada somada com a eficiência do controle químico. Com esse trabalho demonstra-se a relevância de utilizar programas de controle químico eficientes sendo que essa a principal prática disponível para manejo de doenças da cevada, hoje no Brasil. Sendo assim, a associação do controle químico, fornecimento de Si às plantas via solo como forma de calagem e o emprego de cultivares com maior nível de resistência, demonstra-se como uma estratégia promissora e mais sustentável para integrar o manejo de doenças da cevada.

Palavras-chave: *Blumeria graminis* fs. *hordei*; *Cochliobolous sativus*; *Pyrenophora teres*; Silicato de cálcio; Fungicida;

## Abstract

BRUNETTO, Anderson Eduardo. **Silicon, cultivars and chemical control programs in the management of foliar diseases of barley.** 2019. 70f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, Brasil

In this study was evaluated the efficacy of fungicides with different action mode on the control of foliar disease and on grain yield of barley (Chapter I). Furthermore, the supply of silicon (Si) in the soil to barley plants plus fungicide spray on leaves was evaluated on the disease suppression, yield and weight of grains (Chapter II). The experiments were conducted in the municipalities of Capão do Leão and Ronda Alta, in Rio Grande do Sul State. Seeds of barley cultivars, with industrial quality for beer, were used. The fungicides applied were products registered for the crop, and comprised the largest range of chemical groups and active ingredients possible. Si was incorporated into the soil, similar to liming procedure, by tillage. The results showed that the diseases are limiting factors of the crop and the chemical control significantly reduces the damage in the grain yield on the cultivars BRS Korbel, BRS Brau and BRS Cauê. Fungicides with the largest number of active ingredients showed greater control of the barley disease complex and gain on grain yield. The cultivars showed distinct reactions regarding to diseases resistance and variations between sites. The use of Si reduced losses caused by diseases, ensuring grain yield in all cultivars tested. The association of Si with chemical control provided gains equal to the sum of its percentage of isolated efficiency plus the chemical control efficiency. This work demonstrates the relevance of using programs of chemical control that is an approach recommended for disease management. Thus, the association of chemical control, supply of Si to plants via soil and the use of cultivars with higher resistance level is an efficient and more sustainable strategy to integrate the management of barley diseases.

Key words: *Blumeria graminis* fs. *hordei*; *Cochliobolous sativus*; *Pyrenophora teres*; Calcium silicate; Fungicide;

## Lista de figuras

### CAPÍTULO I: Eficiência de diferentes fungicidas na redução de doenças foliares da cevada.

- Figura 1** Variáveis analisadas nas cultivares Cauê (a, c, e, g, i, l) e Brau (b, d, f, h, j, m) no experimento realizado em Ronda Alta. Severidade do oídio nas cultivares Brau e Cauê no estágio de crescimento EC 55..... 32
- Figura 2** Variáveis analisadas na cv. Brau (a, c, e, g) e cv. Cauê (b, d, f, h, i, j) no experimento realizado no Capão do Leão: severidade das manchas foliares nos estádios EC 55, 65 e 71..... 36

### CAPÍTULO II: Silício e programas de controle químico de doenças foliares na cultura da cevada

- Figura 1** Severidade do oídio versus silício..... 53
- Figura 2** Dados de área abaixo da curva de progresso das manchas foliares (AACPMF) para os fatores aplicação de Si ao solo, cultivares e programas de aplicação de fungicidas nos anos 2017 e 2018..... 54
- Figura 3** Dados de área foliar verde nos estádios EC 35, 45, 55, 61 e 71 (a, d, g, j, n, q), produtividade (b, e, h, l, o, r) e PMG (c, f, i, m, p, s), dos fatores aplicação de Si ao solo, cultivares e programas de aplicação de fungicidas..... 55
- Figura 4** Curvas de progresso de manchas foliares causadas por *Cochliobolus sativus* e *Pyrenophora teres* nas cultivares de cevada Brau (a, c, e, e g) e Korbel (b, d, f e h) no ano de 2017, sob diferentes programas de aplicação de fungicidas. As avaliações foram realizadas nos estádios EC 13, 19, 23, 29, 31, 35, 45, 55, 61 e 71 do ciclo da cultura..... 58

- Figura 5** Curvas de progresso de manchas foliares causadas por *Cochliobolus sativus* e *Pyrenophora teres* nas cultivares de cevada Brau (a, c, e, e g) e Cauê (b, d, f e h) no ano de 2018, sob diferentes programas de aplicação de fungicidas. As avaliações foram realizadas nos estádios EC 31, 35, 45, 55, 61 e 71 do ciclo da cultura..... 59
- Figura 6** Comportamento da área abaixo da curva de progresso das manchas foliares (AACPMF), produtividade (Produt.) e peso de mil grãos (PMG) para os Programas de manejo Testemunha (Test), Programa 1 (Prog 1), Programa 2 (Prog 2) e Programa 3 (Prog 3) versus Si (+Si e -Si) na cv. Brau (a,b, c) e cv. Korbel (d, e, f) na safra 2017 e, cv. Brau ( g, h, i) e cv. Cauê (j, l, m) na safra 2018..... 61

## Lista de tabelas

### **CAPÍTULO I: Eficiência de diferentes fungicidas na redução de doença foliares da cevada.**

- Tabela 1** Ingrediente ativo (i.a.) dos tratamentos, concentração de i.a. ( $\text{g.L}^{-1}$ ) e dose do produto (p.c.) aplicado nos experimentos do local 1 e do local 2..... 28
- Tabela 2** Quantidade de doença inicial ( $\beta$ ), progresso da doença ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) estimados pelo modelo logístico para manchas foliares da cevada na cultivar Cauê submetida a diferentes tratamentos com fungicidas..... 35

### **CAPÍTULO II: Silício e programas de manejo de doenças na cultura da cevada**

- Tabela 1** Programas de aplicações, produto comercial, ingrediente ativo, concentração do i.a. em  $\text{g. L}^{-1}$  e dose do produto comercial (p.c) em  $\text{g}$  ou  $\text{mL ha}^{-1}$  dos tratamentos fungicidas aplicados na safra 2018 e estágio fenológico das aplicações (época)..... 51
- Tabela 2** Taxa de progresso da doença ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) estimados pelo modelo logístico para manchas foliares em cultivares de cevada sob diferentes programas de aplicação de fungicida cultivadas em solo com (+Si) e sem (-Si) aplicação de Si nos anos de 2017 e 2018..... 56

## Sumário

1. Introdução geral.....	14
<b>CAPÍTULO I: Eficiência de diferentes fungicidas no manejo de doenças foliares da cevada.....</b>	<b>22</b>
1. Introdução.....	22
2. Material e métodos.....	24
2.1 Experimentos de campo.....	24
2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	25
2.3. Variáveis epidemiológicas.....	26
2.4. Análise do progresso temporal das doenças.....	27
2.5. Componentes de rendimento.....	27
2.6. Análise dos dados.....	27
3. Resultados.....	29
3.1.Experimento de Ronda Alta .....	29
3.2.Experimento de Capão do Leão .....	33
3.2.2. Progresso das manchas foliares para cultivar Cauê.....	34
3.2.3. Produtividade e PMG.....	34
4. Discussão.....	38
5. Conclusões.....	42
<b>CAPÍTULO II: Silício e programas de controle químico de doenças foliares na cultura da cevada.....</b>	<b>44</b>
1. Introdução.....	44
2. Material e métodos.....	47
2.1. Características químicas do solo e aplicação do Si.....	47
2.2. Material vegetal e cultivo.....	48
2.3. Delineamento experimental.....	49
2.4. Variáveis epidemiológicas.....	50
2.5 Parâmetros de produtividade.....	50
2.6. Análise temporal das doenças.....	52
2.7. Análise dos dados.....	52
3. Resultados.....	52
3.1. Severidade e taxa de progresso das Manchas Foliares.....	56

<b>4. Discussão.....</b>	<b>62</b>
<b>5. Conclusão.....</b>	<b>65</b>
<b>Considerações Finais.....</b>	<b>66</b>
<b>Referências.....</b>	<b>67</b>

## 1. Introdução geral

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) foi a primeira cultura domesticada (BOTHMER et al., 2003). Atualmente, é o quarto cereal mais cultivados no mundo, após o trigo, o arroz e o milho, correspondendo por 12% do total dos cereais produzidos (AHMED et al., 2013; SCHULTE et al., 2009; SHEWRY, 2014).

No Brasil, o cultivo da cevada se concentra na Região Sul (Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina). Na safra de 2018, a produção brasileira foi de 353,5 mil toneladas em uma área de aproximadamente 108,4 mil ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019). A malteação é o principal uso econômico da cevada brasileira, por ser o principal ingrediente para a fabricação de cerveja (DE MORI, 2012). Entretanto, a produção nacional supre apenas 35% da demanda da indústria cervejeira, necessitando, portanto, importar o déficit do cereal. Como agravante, a qualidade do malte brasileiro é inferior à importada (DE MORI, 2012; CONAB, 2019).

Os genótipos de cevada são classificados usualmente quanto ao número de linhas de grãos na espiga os quais são tidos como de duas ou seis linhas. A cevada duas linhas (cevada cervejeira) tem maior potencial de produção e possui um teor de proteína mais baixo, sendo mais adequada para produção de malte e, a cevada seis linhas, de alta proteína, é mais adequada para alimentação animal (SHEWRY, 2014). Em torno de 65% da cevada cultivada no mundo é utilizada para alimentação animal, 33% para maltagem, enquanto 2% são empregados para consumo humano (SHEWRY, 2014).

O grão da cevada é rico em amido, o qual representa aproximadamente dois terços do seu peso seco (HARRIS, 1962). O amido é fonte de carbono para a maltagem, um dos principais fornecedores de açúcares no processo fermentativo na fabricação de cerveja, e, na ração animal considerado uma fonte de calorias para ruminantes e não ruminantes. Ademais, os grãos do cereal são altamente desejáveis na dieta de humanos, tendo em vista que proporcionam benefícios para a saúde, na redução de riscos em desenvolver doenças graves como as cardiovasculares, diabetes do tipo II e câncer colorretal (COLLINS et al., 2010; SHEWRY, 2014).

A cevada cervejeira tem sua comercialização nacional regida por legislação específica denominada Norma de Identidade e Qualidade de Cevada

que define procedimentos, instrumentos de coleta de amostras, responsabilidades, padrões de qualidade, limites de tolerância e métodos de análise das amostras (BRASIL, 1996). A qualidade comercial é preconizada e deve cumprir uma série de critérios principais para que possa ser utilizada pela indústria que inclui no mínimo 90% dos grãos de classe 1 (maior que 2,5 mm), alta capacidade de germinação (mínimo de 95%), baixo teor de proteínas (de 9,5 a 11,5%), bem como limites de microrganismos, pesticidas e toxinas, de acordo com as diretrizes nacionais (BRASIL, 1996).

Sabe-se, no entanto, que a produção da cevada é afetada principalmente pelas condições ambientais adversas, desequilíbrio nutricional, pragas e doenças, bem como perturbações fisiológicas que também podem limitar o rendimento e acarretar prejuízos pela redução da área e capacidade fotossintética e sua duração (ARAUS, 2002; MINELLA, 2017; AGOSTINETTO et al., 2015). As doenças estão entre os principais fatores limitantes para a cultura e podem afetar toda a planta; desde o sistema radicular, colmos, folhas e até espiga (MATHRE, 1997; REIS; CASA, 2007).

Das doenças foliares, destacam-se o oídio causado pelo fungo *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* Marchal, ferrugem da folha causada por *Puccinia hordei* Otth, mancha em rede causada por *Pyrenophora teres* Drechsler, mancha marrom por *Cochliobolus sativus* Ito & Kurib e escaldadura por *Rhynchosporium secalis* Oudem (WALTERS, 2012), esta considerada de menor impacto no Brasil (MINELLA, 2017).

No caso da giberela, o fungo pode infectar as espigas durante a floração e causar a esterilização d flor e/ou colonizar as espiguetas e os grãos em desenvolvimento (DELPONTE, 2017). Neste caso, a massa e a qualidade dos grãos podem ser afetadas pela infecção devido à má formação dos grãos, tornando-os chochos e despigmentados (DELPONTE, 2017). A suscetibilidade das cultivares aliada às condições climáticas como alta umidade relativa (acima de 90%), ocorrência de chuvas durante o espigamento e temperatura em torno de 24 °C, são considerados fatores chave para a ocorrência de epidemias severas (WEGULO, et al., 2015). As espécies do complexo *Fusarium* contamina os grãos com micotoxinas, principalmente zearalenona (ZEA), deoxinivalenol (DON), e nivalenol (NIV) (DINOLFO, 2017), que são comprovadamente prejudiciais à saúde, fato que torna o grão impróprio para

alimentação humana e animal ou fabricação de cerveja (MCMULLEN et al., 1997; PEREIRA et al., 2014; BOLECHOVA, et al., 2015; ESCRIVA et al., 2015). Conseqüentemente, isso também causa preocupação aos produtores do cereal, pois sendo seus lotes reprovados ficam impedidos de entregar aqueles grãos para indústria cervejeira (FAO, 2009). No caso das micotoxinas, no Brasil os limites são: Aflotoxinas – 5 ug.kg; Deoxinivalenol (DON) - 750 ug.kg; Ocratoxina A - 20 ug.kg; Zearalenona (ZEA) - 100 ug.kg (BRASIL, 2011). Curiosamente, a fermentação proporciona condições favoráveis para crescimento do fungo presente nos grãos de cevada durante a maltagem (SCOTT, 1996). Além disso, algumas espécies de *Fusarium*, bem como micotoxinas produzidas por elas, principalmente DON são capazes de superar a alta temperatura no processo de secagem e chegar até o produto final (BULLERMAN; BIANCHINI, 2007; MILANI; MALEKI, 2014; KOSTELANSKA et al., 2009; LANCOVA et al., 2008; VARGA, 2013).

O fungo *Cochliobolus sativus*, agente causal da mancha marrom, pode atacar a planta de cevada em qualquer estágio de desenvolvimento e colonizar folhas, colmos, raízes e grãos (AL-SADI 2010). Nas folhas os sintomas encontrados são manchas de coloração marrom a marrom escura, apresentando 2 a 20 mm de diâmetro, acompanhadas de clorose na sua borda. Pode atingir a bainha e também infectar a espiga, colonizando a espiguetas e posteriormente os grãos que apresentam a ponta preta (MATHRE, 1997; REIS; CASA, 2007; AL-SADI 2010). A ocorrência de temperaturas entre 20°C e 25°C e molhamento acima de 20 horas favorecem a infecção do patógeno (MATHRE, 1997). A sobrevivência do fungo ocorre principalmente nas sementes infectadas, restos culturais, plantas voluntárias e hospedeiros secundários, os quais são importantes fontes de inóculo do patógeno (SHANER, 1981; MAUDE, 1996; REIS; CASA, 2007). Os danos causados pela doença podem variar de 10 a 33%, dependendo das condições. A mancha marrom pode reduzir de 10-20% o rendimento de grãos quando as temperaturas se situarem entre 15°C e 22°C nas primeiras duas semanas após o aparecimento das espigas (STEFFENSON, 1997). No Canadá e na Macedônia, há relatos de redução na produtividade em 16 a 33% e 30%, respectivamente, devido ao ataque do patógeno (CLARK, 1979; KAROV et al.,

2009). No Brasil, os danos no rendimento podem atingir 25,5% (REIS et al., 1999).

O fungo biotrófico *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* é o agente causal do oídio. O fungo infecta principalmente a face adaxial das folhas, onde são observadas estruturas vegetativas e reprodutivas do patógeno. Sob a colônia formada o tecido adquire aspecto clorótico e senescente, tornando-se necrótico. Na face abaxial da folha infectada também se observa uma coloração verde palha a amarelo. Se as condições ambientais forem favoráveis para o desenvolvimento da doença, espigas e aristas também podem ser infectadas (MATHRE, 1997; REIS; CASA, 2007). O dano na produtividade de grãos foi de até 40% nos Estados Unidos (MAHTRE, 1997), 20% na Europa, 30% no Norte da África e de 28% no Brasil (CZEMBOR, 2000; REIS et al., 2002).

A mancha em rede é causada pelo fungo *Pyrenophora teres* (Died.), e está presente em todas as regiões produtoras de cevada do mundo (ISMAIL et al., 2017). Os danos causados pelo patógeno vão desde redução no rendimento, de 10% a 40% (MA et al., 2004), até a redução na qualidade do grão (MATHRE, 1997). O patógeno passa a maior parte do seu ciclo atuando como necrotrófico e mostra-se capaz de produzir diversas toxinas e enzimas degradantes da parede celular, causando sérios danos para a planta (TAN, 2010).

O manejo das doenças foliares é realizado principalmente com rotação de culturas e através da aplicação de fungicidas, levando em consideração os níveis de resistência da cultivar (MINELLA, 2017). Dessa forma, o uso de fungicida é necessário, pois reduz as infecções fúngicas e conseqüentemente preserva a área fotossintética, garantindo o rendimento e qualidade dos grãos, sob condições favoráveis ao desenvolvimento da epidemia (DIAS, 2012). Embora seja uma alternativa necessária para o controle de doenças na cevada, a presença de determinadas moléculas de fungicidas nos grãos, por exemplo, do grupo químico dos triazóis e estrobilurinas, podem causar instabilidade no processo de fabricação e prejudicar a qualidade do produto final e ser fonte de contaminação (JONES et al., 1988; NAVARO, 2011). O metabólito 1H-1,2,4-triazol, é um composto com alta solubilidade (700 g L<sup>-1</sup>) e estável em água (pH

5 - 9; 25 °C) por mais de 30 dias, capaz de causar problemas no desenvolvimento e reprodução em humanos e animais (AERU, 2013).

Outra limitação é que a aplicação demasiada de fungicidas sem critérios técnicos bem definidos, contribuem para a seleção de indivíduos resistentes na população do patógeno, que na prática se traduz na redução da eficiência dos fungicidas, aumentando a exposição dos produtos, os custos de produção, além de potenciais riscos à saúde humana e ambiental (BRENT; HOLLOWON, 2007; KIMATI, 2000; REIS et al., 2019).

Neste sentido, a busca por medidas eficazes no controle das doenças, mas com menor impacto ambiental e para humanos são de suma importância. Assim, várias estratégias com capacidade de induzir/potencializar mecanismos de defesa, ou seja, aumentar a resistência do hospedeiro contra o ataque de patógenos, impedindo a instalação ou dificultando progresso das doenças, têm sido estudadas (McGRANN et al., 2017; WALTERS et al., 2011a; 2011b). O silício (Si) é uma destas estratégias que quando fornecido às plantas tem se apresentado como uma alternativa eficaz contra ação de agentes bióticos e abióticos (RODRIGUES, 2015; DEBONA, et al., 2017; DESHMUKH et al., 2017).

O Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre após o oxigênio (EPSTEIN, 2009), porém não é considerado elemento essencial para o desenvolvimento das plantas cultivadas, por não atender aos critérios diretos e indiretos de essencialidade (JONES, 1967). No caso de doenças de plantas, o Si tem se mostrado uma alternativa às opções tradicionais de manejo, induzindo e/ou potencializando as defesas contra oomicetos, fungos, bactérias, vírus e nematoides (FAUTEUX et al., 2005; MARSCHNER, 2012; RODRIGUES, 2015; DEBONA, et al., 2017). O efeito pode estar atrelado ao impedimento da penetração devido ao reforço estrutural proporcionado (barreira física), inibindo e/ou retardando a colonização do patógeno devido a indução de mecanismos de defesa bioquímica através de enzimas como polifenol-oxidase, glucanase, quitinase, peroxidases, catalases e fenilalanina amônio-liase, além da produção de compostos antimicrobianos como os fenólicos, flavonóides, fitoalexinas e proteínas relacionadas a patogênese (PR) ou pela ativação de múltiplas vias de sinalização de defesa relacionadas a expressão gênica (cascata de sinalização) (FAUTEUX et al., 2005;

RODRIGUES et al., 2015; VAN et al., 2013; CHEN et al., 2014; VIVANCOS et al., 2015; DALLAGNOL et al., 2011; DEBONA et al., 2017; DORNELES et al., 2017; 2018).

O silício é um elemento bioativo em vários sistemas biológicos, mas seu modo de ação nas plantas, apesar de melhor compreendido atualmente, continua sendo uma questão de especulação. O Si pode atuar como um potencializador de respostas de defesa da planta. No entanto, os esforços atuais para entender a quão complexo é o Si, envolvem análises rebuscadas do efeito da suplementação de Si sobre vários estresses abióticos e bióticos, parâmetros bioquímicos e fisiológicos, co-localização e distribuição do mineral e respostas transcriptômicas e metabolômicas (DESHMUKH et al., 2017). Outra linha de pesquisa está focada no entendimento da fertilização e fontes de Si para desenvolver cultivos que melhor se adaptam a adversidades climáticas e a moléstias, tornando o manejo mais sustentável (DESHMUKH et al., 2017).

Sabe-se que a cultura da cevada é acumuladora de Si, possuindo transportadores de influxo e de efluxo do elemento (CHIBA, et al., 2009). As concentrações do mineral no tecido vegetal são determinadas pelas características genéticas da planta e pelos fatores ambientais, sendo que mais de 80% do Si total encontrado no grão localiza-se na casca (MA, 2003). Parte deste Si fica disponível no produto final após a fermentação. Por exemplo, a concentração de Si solúvel em cervejas comercialmente disponíveis varia de 15 a 50 mg L<sup>-1</sup> (MA, 2003). Assim, a cerveja é considerada uma das principais fontes dietética potencialmente fornecedora de Si para os seres humanos, prontamente absorvível na corrente sanguínea (SHEWRY, 2014). Os benefícios para a saúde humana atribuídos aos Si são vários, como por exemplo, na prevenção de importantes doenças, como Alzheimer, doenças cardiovasculares, na formação de tecidos conjuntivos como ossos, pele e vasos sanguíneos (RODRIGUES, 2015).

No controle de doenças da cevada, o efeito do Si é relatado contra oídio (JIANG, 1993), no entanto, desconhecemos o efeito do Si para outras doenças da cultura importantes nas condições brasileiras. Nesse sentido, o fornecimento de Si às plantas de cevada é uma ferramenta potencial para ser avaliada como uma alternativa na redução dos danos ocasionados pelas doenças na cevada no Brasil.

Com base no exposto, os estudos abaixo descritos relatam a eficiência de fungicidas envolvendo diferentes modos de ação quanto ao controle de doenças foliares, com pulverizações isoladas e em misturas dentro de programas de controle. Não obstante, também elucidam o efeito do fornecimento de Si via a solo, às plantas de cevada, como potencial alternativa para reduzir a intensidade das doenças da cevada, sem e com associação ao controle por fungicidas.

## **CAPÍTULO I: Dano das doenças de parte aérea da cevada e seu manejo com fungicidas**

### **1. Introdução**

A cevada (*Hordeum vulgare* L.), importante cereal da família *Poaceae* com origem no Oriente Médio, foi a primeira cultura domesticada e é hoje um dos cereais mais cultivados no mundo (BOTHMER et al., 2003). Globalmente, ocupa o quarto lugar entre as culturas mais cultivadas (AHMED et al., 2013). No Brasil, na safra 2018, foram produzidas 353,5 mil toneladas, principalmente no Sul do país onde os requisitos climáticos são atendidos com maior êxito (CONAB, 2019).

A cultura da cevada é acometida por doenças causadas por diversos fitopatógenos que reduzem significativamente o rendimento e a qualidade do cereal produzido (WALTERS, 2012). As doenças, especialmente as de parte aérea, são um dos principais gargalos da cultura devido à redução da produtividade e qualidade dos grãos bem como devido ao aumento dos custos de produção associado à aplicação de fungicidas (AGOSTINETTO et al., 2015). As principais doenças foliares fúngicas são o oídio (*Blumeria graminis* DC. f. sp. *hordei* Em. Marchal.), ferrugem da folha (*Puccinia hordei* Otth), mancha em rede [*Pyrenophora teres* (Sacc.) Shoemaker], e mancha marrom [*Cocchliobolus sativus* (Sacc.) Shoemaker] (WALTERS, 2012). A intensidade de ocorrência destas doenças está diretamente relacionada à suscetibilidade da cultivar cultivada, às práticas culturais e às condições climáticas durante o desenvolvimento da cultura (MATHRE, 1997).

A melhor forma de manejar as doenças foliares na cevada é através da utilização de cultivares com resistência genética (ROY et al., 2010). No entanto, devido à falta de cultivares com níveis satisfatórios de resistência a todas as doenças, esta estratégia de controle, é complementada com rotação de culturas, utilização de sementes sadias e no controle químico por meio do tratamento das sementes e de parte aérea com fungicidas (REIS et al., 2011).

Os fungicidas são utilizados rotineiramente para controlar doenças da cevada, bem como em outras culturas de inverno, a fim de garantir o rendimento e o retorno econômico, sendo a aplicação em parte aérea das plantas uma das estratégias mais utilizadas (WALTERS, 2012). No entanto, se

a utilização de fungicidas for realizada fora do momento ideal ou sem levar em conta a eficiência dos produtos pulverizados, os custos de produção podem aumentar, possivelmente sem incremento na produtividade e retorno econômico (AGOSTINETTO et al., 2015). Para o controle de doenças da cevada, existem diversos fungicidas registrados no Brasil, protetores e sistêmicos, com diferentes modos de ação, destacando-se os pertencentes aos grupos químicos dos triazóis, estrobilurinas, carboxamidas, ditiocarbamatos e morfolinas. Contudo, deve-se levar em consideração a frequência de pulverização e a utilização de diferentes modos de ação das moléculas empregadas no manejo, para reduzir os riscos de seleção de indivíduos resistentes do patógeno (FRAC, 2019).

Dentre os fungicidas sistêmicos, os triazóis e as estrobilurinas são os mais difundidos (MINELLA, 2017). Os triazóis apresentam amplo espectro de controle e são registrados para diversas doenças importantes em cereais de inverno, como oídio, manchas foliares e ferrugens (KOLLER, 1988; FRAC, 2019). As moléculas pertencentes aos triazóis (DMI) atuam no sítio de ligação da enzima C14-desmetilase (*erg11/cyp51*), interferindo na desmetilação da biossíntese do ergosterol, responsável pela formação da membrana plasmática dos fungos (KOLLER, 1988). As estrobilurinas (QoI) são inibidores extracelulares da Quinona ligando-se ao citocromo bc1 no Complexo III da cadeia de transporte de elétrons (CTE) do fungo, bloqueando a cadeia de transporte de elétrons, impedindo a síntese de ATP (FERNANDÉZ-ORTUÑO et al., 2008; BARTLETT, 2002). Com exceções, as estrobilurinas controlam uma ampla gama de doenças fúngicas, incluindo doenças como míldios, oídios, manchas foliares e ferrugens (VINCELLI, 2002). Outros modos de ação como o das carboxamidas (SDHI), que atuam inibindo a enzima succinato desidrogenase, ligando-se ao sítio de ligação da enzima no Complexo II da CTE, afetando o metabolismo respiratório dos fungos (SIEROTZKI, 2013), e o das morfolinas, que atuam de forma similar aos triazóis, inibindo a desmetilação das enzimas  $\Delta 14$ -redutase e  $\Delta 8 \rightarrow \Delta 7$ - isomerase na biossíntese de esterol (*erg24*, *erg2*) (FRAC, 2019), recentemente lançados no Brasil, também são ferramentas disponíveis para controle de doenças da cevada (MAPA, 2019).

Já o grupo químico dos ditiocarbamatos vem ganhando destaque nos últimos anos para diversas culturas, pelo fato de possuir atividade de contato multissítio (LAI et al., 2016), e dessa forma encaixar em estratégias de manejo anti-resistência de fungos a fungicidas (FRAC, 2019). No caso de resistência de patógenos da cevada a fungicidas no Brasil, há relatos para *B. graminis* ao grupo químico DMI (REIS, 2003). Este fato aumenta a necessidade de se adotar programas de controle de doenças conforme cada situação específica, seja pela espécie de patógeno presente naquelas determinadas condições ou local, ou pela pressão de seleção imposta sobre a população do patógeno pelos fungicidas à medida que estratégias de controle pouco eficientes são implementadas.

Nesse sentido, o objetivo neste trabalho foi avaliar a eficiência de controle por fungicidas de diferentes modos de ação, isolados e em mistura dentro de programas de controle químico de doenças foliares na cultura da cevada, incremento de produtividade e peso de grãos.

## **2. Material e métodos**

O experimento foi realizado na safra de 2018, em dois locais no Estado do Rio Grande do Sul: no município Ronda Alta (27° 71' 29" S, 52° 77' 36" W, altitude de 627m) e no município Capão do Leão (31° 80' 14" S, 52° 50' 52" W e altitude de 22m).

### **2.1 Material vegetal e tratos culturais gerais**

As cultivares BRS Brau (Embrapa Trigo) e BRS Cauê (Embrapa Trigo) foram utilizados no experimento. As cultivares foram selecionadas por apresentar perfil de qualidade adequada às especificações exigidas pela indústria cervejeira quanto a classe dos grãos e o malte (classe 1) (MINELLA, 2017). As duas cultivares são descritas como moderadamente resistente a mancha em rede, suscetível ao oídio, à mancha marrom e à giberela (MINELLA, 2017).

As sementes foram tratadas com fungicida, registrado para a cultura, Triadimenol (Baytan®, Bayer Crop Science) na dose de 2,7 mL.kg<sup>-1</sup> e com inseticida Imidacloprid + Tiodicarbe (Cropstar®, Bayer Crop Science) na dose de 3 mL.kg<sup>-1</sup>. A semeadura foi realizada visando obter uma população final de 300 plantas.m<sup>-2</sup>. No município de Ronda Alta a semeadura foi realizada no dia

19/07/2018 utilizando a semeadora modelo SHM Semeato com 17 linhas espaçadas em 0,17 m. A área total da parcela foi de 21 m<sup>2</sup> (3 × 7 m). No município de Capão do Leão a semeadura realizada no dia 03/08/2018 com semeadora de mesma configuração, porém com 9 linhas. A área total da parcela foi de 10,7 m<sup>2</sup> (1,5 × 7 m). A adubação na semeadura foi realizada com 450 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante NPK (5% de nitrogênio, 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20% de KCl). A adubação suplementar de nitrogênio foi realizada com a aplicação de 150 kg.ha<sup>-1</sup> de uréia (45% de nitrogênio) no estágio de desenvolvimento EC 31 da escala de MEIER (2001).

O manejo de plantas daninhas foi realizado pela aplicação do herbicida Iodosulfuron (Hussar®, Bayer Crop Science) na dose de 80 g ha<sup>-1</sup>, aos 35 dias após semeadura em ambos os locais. O controle de pragas foi realizado no experimento afim de reduzir o nível populacional de pulgões com a aplicação de Tiametoxam + Lambda-cialotrina (Engeo Pleno®, Syngenta) na dose de 50 mL.ha<sup>-1</sup>.

## **2.2 Delineamento experimental e tratamentos**

O experimento foi em esquema fatorial 2 x 9, sendo duas cultivares (BRS Caue e BRS Brau) e nove tratamentos fungicidas, com 5 repetições. Os tratamentos fungicidas foram: (1) T1– plantas sem pulverização de fungicida; (2) T2- plantas que receberam 4 pulverizações de Propiconazol (Tilt®, Syngenta); (3) T3 – plantas que receberam 4 pulverizações de Fenpropimorfe (Versatilis®, BASF); (4) T4 – plantas que receberam 4 pulverizações de Mancozebe (Unizeb Gold®, UPL); (5) T5 – plantas que receberam 4 pulverizações de Ciproconazol + Azoxistrobina (Priori Xtra®, Syngenta); (6) T6 – plantas que receberam 4 pulverizações de Tebuconazol + Trifloxistrobina (Nativo®, Bayer); (7) T7 – plantas que receberam 4 pulverizações de Epxiconazol + Piraclostrobina + Fluxaproxade (Ativum®, BASF); (8) T8 – programa 1: 4 pulverizações de diferentes fungicidas comerciais envolvendo todas as moléculas dos tratamentos anteriores; (9) T9 – programa 2: 3 pulverizações de fungicidas, o qual difere do T8 apenas por não ter sido pulverizado com fungicida na primeira época (Tabela 1). As dosagens dos produtos comerciais foram definidas conforme registrado na bula, utilizando-se a maior dose indicada. As épocas de pulverização dos fungicidas foram as

seguintes: época 1 (EC 13 ou 3 folhas desenroladas), época 2 (EC 26 ou plantas com 9 perfilhos), época 3 (EC 35 ou folha bandeira emitida) e época 4 (EC 61 ou início do florescimento) da cultura. As pulverizações foram realizadas com auxílio de equipamento de pressão constante (propelente CO<sub>2</sub>) acoplado à barra com cinco pontas de pulverização do tipo jato leque plano (Teejet XR 110-02). O volume de calda para pulverização foi de 150 L.ha<sup>-1</sup> e a pressão foi de 30 kgf cm<sup>-2</sup>. As datas das aplicações foram 19/08, 04/09, 23/09 e 12/10/2018 em Ronda Alta e 19/09, 06/10, 21/10 e 02/11/2018 em Capão do Leão.

### **2.3. Quantificação das doenças**

As variáveis avaliadas foram a severidade de manchas foliares (mancha em rede e mancha marrom) e do oídio. A severidade das doenças foi avaliada visualmente a partir do estágio EC 35 até o final do ciclo da cultura. Para tal, sessenta plantas na região central de cada parcela foi analisada e a severidade das doenças expressas em porcentagem (%) com auxílio de escala diagramática proposta por James (1971). No experimento em Ronda Alta foram realizadas avaliações de oídio (uma) no estágio EC 55, e manchas foliares (três) nos estádios EC 51, EC 61 e EC71, em ambos os genótipos. No experimento em Capão do Leão, na cultivar Cauê, foram realizadas uma avaliação de oídio (EC 55) e seis de manchas foliares (EC 35, EC 40, EC 45, EC 55, EC 61 e EC71). Na cultivar Brau não ocorreu oídio nesta safra, sendo realizadas três avaliações (EC 55, EC 61 e EC 71) para manchas foliares. O início das avaliações na cultivar Brau para manchas foliares foi devido sua ocorrência mais tardia e em menor intensidade.

### **2.4. Análise do progresso temporal das doenças**

Curvas de progresso das manchas foliares foram obtidas no experimento com a cultivar Cauê em Capão do Leão, plotando-se a severidade em função do tempo. Na escolha do modelo, foi considerado o maior coeficiente de determinação da equação (R) e a melhor distribuição dos resíduos (R<sup>2</sup>). As curvas foram ajustadas ao modelo logístico e a partir delas foram estimadas as seguintes variáveis: quantidade de doença no tempo 0 ( $\beta$ )

e a taxa de progresso da doença ( $r$ ). A expressão geral do modelo é representada pela fórmula:  $Y = 1/\{1+\exp(-(\beta+r*t))\}$ , onde  $Y$  é a severidade expressa em proporção,  $\beta$  corresponde à quantidade de doença no tempo 0,  $r$  é a taxa logística de progresso da doença e  $t$  é o tempo em dias (CAMPBELL; MADDEN 1990). Para as demais doenças avaliadas, os dados da severidade foram usados para calcular a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) para cada tratamento através da fórmula proposta por Shaner e Finney (1977).

### 2.5. Rendimento e peso de mil grãos

A rendimento final foi avaliado a partir da colheita manual da área útil (2 m<sup>2</sup> de cada parcela (6 linhas x 2 m) no EC 87 (110 DAE), sendo posteriormente trilhadas em bateadeira estacionária com posterior pesagem em balança analítica (marca Shimadzu modelo BL3200H com precisão de 0,01g) e aferição da umidade com auxílio de medidor (marca Gehaka modelo 650i). Os grãos obtidos foram usados para determinar a produtividade (kg.ha<sup>-1</sup>) e o peso de mil grãos (PMG), os quais foram selecionados aleatoriamente e pesados em balança analítica (marca Shimadzu, modelo BL3200H com precisão de 0,01g).

### 2.6. Análise dos dados

A normalidade dos dados de todas as variáveis foi verificada pelo teste de Shapiro Wilk. Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias do fator cultivar comparadas pelos testes  $t$  ( $p \leq 0,05$ ), e as médias do fator tratamento fungicida comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) no software SAS (SAS Institute, 1989, Cary, NC). A comparação entre os parâmetros  $\beta$  e  $r$  foi dois a dois pelo teste de Student (*teste t*) utilizando-se a fórmula [ $t_{cal (5\%)} = ((P_1 - P_2) / \sqrt{\sigma_{p1}^2 + \sigma_{p2}^2})$ ] em que:  $P$  é o valor da variável e  $\sigma$  é o desvio padrão (CAMPBELL; MADDEN 1990).

Tabela 1. Tratamentos (ingredientes ativos (i.a.) dos tratamentos fungicida, produto comercial e programas de manejo (sequência de produtos comerciais aplicados), concentração de i.a. (g.L<sup>-1</sup>), dose do produto comercial (p.c.) e época da pulverização nos experimentos do local 1 e do local 2. Capão do Leão/RS.

Tratamento fungicida	Produto comercial / programa de controle	i.a.		p.c. g ou mL.ha <sup>-1</sup>	Época <sup>1</sup>
		g.L <sup>-1</sup>			
<b>T 1</b> Testemunha					1,2,3 e 4
<b>T 2</b> Propiconazol	Tilt	250		500	1,2,3 e 4
<b>T 3</b> Fenpropimorfe	Versatilis	750		750	1,2,3 e 4
<b>T 4</b> Mancozebe	Unizeb Gold	750		2500	1,2,3 e 4
<b>T 5</b> Ciproconazol + Azoxistrobina	Priori Xtra	80 + 200		300	1,2,3 e 4
<b>T 6</b> Tebuconazol + Trifloxistrobina	Nativo	100 + 200		750	1,2,3 e 4
<b>T 7</b> Epoxiconazol + Piraclostrobina + Fluxapiraxade	Ativum	50 + 80 + 50		1000	1,2,3 e 4
<b>T 8</b>	Propiconazol			500	1
	Propiconazol + (Epoxi. + Piracl. + Fluxap.)	Programa 1		500 + 1000	2
	Fenpropimorfe + (Ciproconazol+ Azoxistrobina)			750 + 300	3
	(Tebuconazol + Trifloxistrobina) + Mancozeb			750+ 2500	4
<b>T 9</b>					1
	Propiconazol + (Epoxi. + Piracl. + Fluxap.)	Programa 2		500 + 1000	2
	Fenpropimorfe + (Ciproconazol+ Azoxistrobina)			750 + 300	3
	(Tebuconazol + Trifloxistrobina) + Mancozeb			750 + 2500	4

Época<sup>1</sup>

- 1- EC 13 ou 30 dias após a emergência da cultura (3 folhas desenroladas)
- 2- EC 26 ou 45 dias após a emergência da cultura (9 perfilhos)
- 3- EC 35 ou 65 dias após a emergência da cultura (folha bandeira emitida- máxima área foliar)
- 4- EC 61 ou 80 dias após a emergência da cultura (início do florescimento)

### 3. Resultados

#### 3.1. Experimento de Ronda Alta

No experimento em Ronda Alta ocorreram o oídio e as manchas foliares. No caso do oídio, detectado nas plantas das duas cultivares no estágio de desenvolvimento EC 13, todos os tratamentos fungicida reduziram significativamente a sua severidade, quando comparados à testemunha, porém com eficiência variável dependendo dos ingredientes ativos utilizados (Figura 1a). A redução da severidade da doença variou de 43% (T4) até 100% (T8) (Figura 1a). A eficiência de controle do oídio não foi influenciada pela cultivar, exceto para a pulverização do fungicida do T7 que foi mais eficiente na cv. Brau (Figura 1a). Para as manchas foliares, no estágio de desenvolvimento das plantas EC 71, apenas o fungicida do T7 reduziu significativamente a severidade (Figura 1c), refletindo, conseqüentemente, para a menor AACPMF (Figura 1e). Para a AACPMF, excetuando-se os fungicidas no T3 e T4, todos os demais fungicidas e programas reduziram significativamente o valor da variável, comparado a testemunha (Figura 1e).

Considerando o rendimento, a aplicação de fungicidas (exceto os dos tratamentos T3 e T4 para ambas as cultivares; e T2 e T6 para cauê) resultaram em incremento na produtividade (Figura 1g). Entretanto, as plantas tratadas com o fungicida do T7 apresentaram maior rendimento (540% maior que a testemunha) (Figura 1g) e maior PMG (Figura 1i), independente da cultivar. As plantas tratadas com os fungicidas dos programas no T8 e T9 também incrementaram o rendimento em até 304%.

O efeito da cultivar foi observado na AACPMF, produtividade e PMG. Na cultivar Brau ocorreu a menor AACPMF (Figura 1e), maior produtividade (Figura 1g) e maior PMG (Figura 1i), independente do tratamento, exceto para o PMG das plantas tratadas com os fungicidas do T5, T7 e T8 que não diferiram estatisticamente da cv. Cauê.

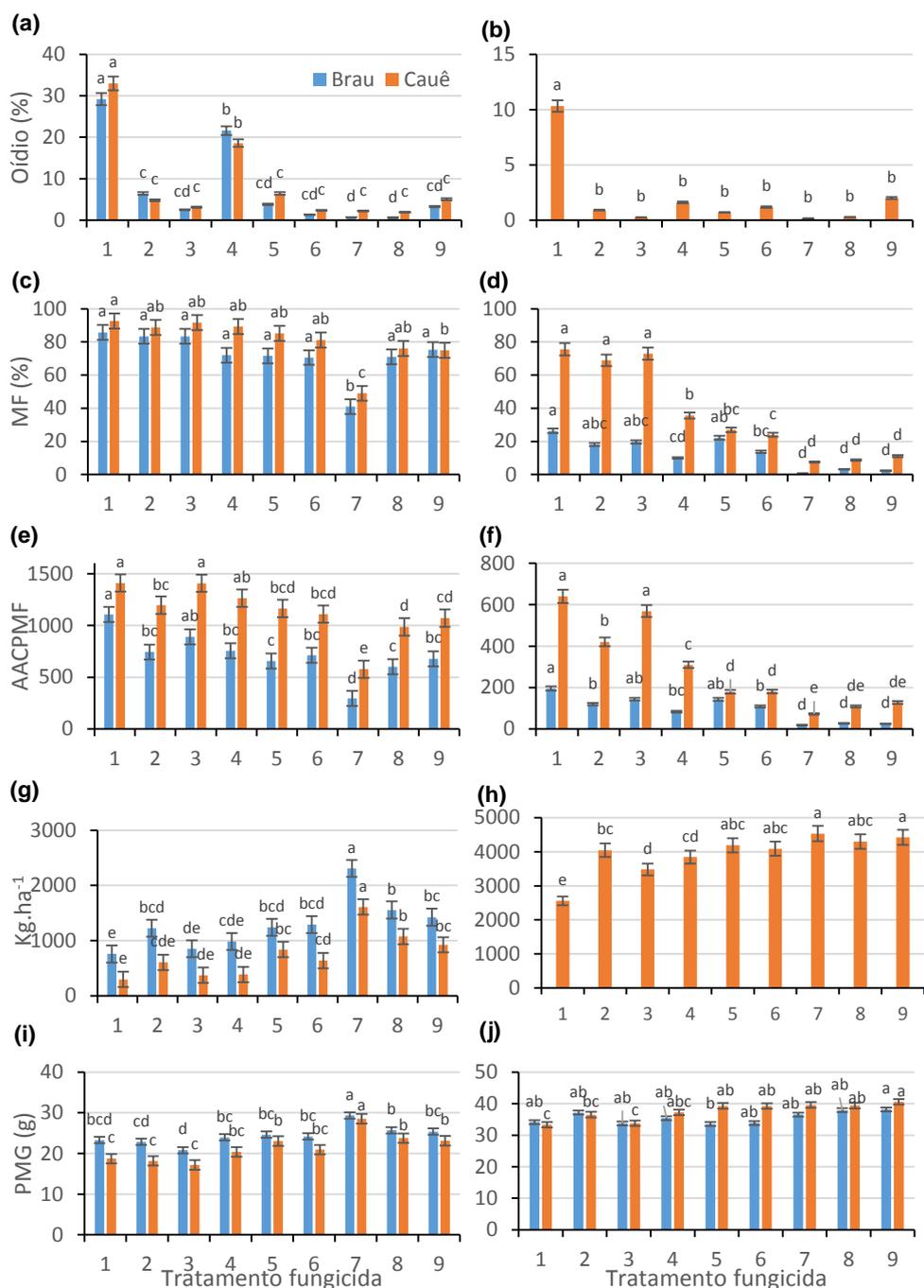


Figura 1. Variáveis analisadas nas cultivares Cauê e Brau no experimento realizado em Ronda Alta (a, c, e, g, i) e Capão do Leão (b, d, f, h, j). Severidade do oídio nas cultivares Brau e Cauê no estágio de crescimento EC 55 (a, b); severidade das manchas foliares nos estádios 71 (c,d); área abaixo da curva de progresso das manchas foliares (AACPMF) (e, f); produtividade (g, h) e peso de mil grãos (PMG) (i, j). Tratamento fungicida: 1 (testemunha); 2(Propiconazol); 3 (Fenpropimorfe); 4 (Mancozeb); 5 (Ciproconazol+Azoxistrobina); 6 (Tebuconazol+Trifloxistrobina); 7 (Epoconazol+Piraclostrobina+Fluxapiroxade); 8 (Programa 1 ou que recebeu 4 pulverizações com produtos rotacionados) e 9 (Programa 2, ou que recebeu 3 pulverizações com produtos rotacionados). Ronda Alta/RS e Capão do Leão/RS. 2018.

### 3.2. Experimento de Capão do Leão

No experimento em Capão do Leão a intensidade do oídio foi baixa, o qual não apresentou severidade estimável na cv. Brau. Na cv. Cauê, atingiu severidade máxima de 10,3% no estágio EC 55, nas plantas da testemunha (T1). Todos os demais tratamentos diferiram da testemunha, porém não entre si. A maior redução da severidade (97,3%) foi alcançada com o T7 (Figura 1b).

A cv. Brau, além da maior resistência ao oídio que a cv. Cauê, também apresentou estatisticamente maior resistência às manchas foliares, com severidades menores, independente do tratamento fungicida. Em todas as avaliações, o T7 apresentou as maiores reduções (até 96,9%) da severidade de manchas foliares. Os tratamentos T1, T2, T3 e T4 apresentaram as maiores severidades (Figura 1d).

Não obstante, para AACPMF houve diferença significativa entre as cultivares, independentemente do fungicida testado, sendo a cv. Brau que apresentou o menor valor. A cv. Cauê teve a maior AACPMF na testemunha (T1) e as maiores reduções no T8, T7, T9, T5 e T6 respectivamente (Figura 1f). A AACPMF na cv. Brau foi maior na testemunha, enquanto que os tratamentos T3 e T5 não diferiram da mesma. A maior redução da AACPMF (90%) foi observada no T7. Os tratamentos T8 e T9 não diferiram do T7 (Figura 1f).

A produtividade foi estimada somente para a cv. Cauê, pois na cv. Brau, algumas parcelas foram perdidas no final do ciclo da cultura. Na testemunha (T1) foi obtido o menor rendimento, enquanto que todos os tratamentos envolvendo fungicidas incrementaram significativamente a produtividade. O maior incremento foi obtido no tratamento T7. Os tratamentos T5, T6, T8 e T9 não diferiram do T7 (Figura 1h).

O menor PMG na cv. Cauê foi aferido na testemunha (T1) (33,3g). Os tratamentos T2, T3 e T4 foram estatisticamente iguais à testemunha. O maior incremento no peso de grãos foi de 17,9%, no T9. Para a cv. Brau o menor PMG foi de 34,8g e o maior PMG foi 38g, o qual diferiu estatisticamente apenas do tratamento T5 (Figura 1j).

#### 3.2.2. Progresso das manchas foliares

O progresso das manchas foliares foi analisado no experimento de Capão do Leão para a cv. Cauê. Os elevados valores de  $R^2$  indicaram um bom ajuste dos dados ao modelo logístico. O parâmetro  $\beta$  não apresentou

diferença entre os tratamentos. As maiores taxas de progresso foram registradas nos tratamentos T2, T3 e T1, respectivamente (Tabela 2). A menor taxa de progresso foi observada no tratamento T9 que não diferiu do T8, T7 e T4 (Tabela 2). Os valores menores de  $r$  para indicar a evolução mais lenta da epidemia e conforme o avanço do ciclo de desenvolvimento da cultura e maior disponibilidade de inóculo propagado, as pulverizações de produtos com maior espectro, ou que englobaram maior número de produtos em rotação, se destacaram (Figura 2).

Tabela 2. Quantidade de doença inicial ( $\beta$ ), progresso da doença ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) estimados pelo modelo logístico para manchas foliares da cevada na cultivar Cauê submetida a diferentes tratamentos com fungicidas. Capão do Leão/RS. 2018.

	Tratamento	$\beta$	$r$	$R^2$
T 1	Testemunha	0,00060 a <sup>1</sup>	0,2400 ab	0,98
T 2	Propiconazol	0,00005 a	0,2951 a	0,96
T 3	Fenpropimorfe	0,00046 a	0,2463 a	0,98
T 4	Mancozeb	0,00319 a	0,1451 de	0,95
T 5	Ciproconazol + Azoxistrobina	0,00045 a	0,1931 bc	0,98
T 6	Tebuconazol + Trifloxistrobina	0,00122 a	0,1582 cd	0,97
T 7	Epoxi + Piraclos.+ Fluxapíroxad	0,00217 a	0,1047 de	0,95
T 8	Programa 1	0,00409 a	0,0923 de	0,88
T 9	Programa 2	0,00667 a	0,0843 e	0,82

<sup>1</sup>:Médias seguidas de diferentes letras na coluna diferem estatisticamente pelo teste- $t$  (0,01)

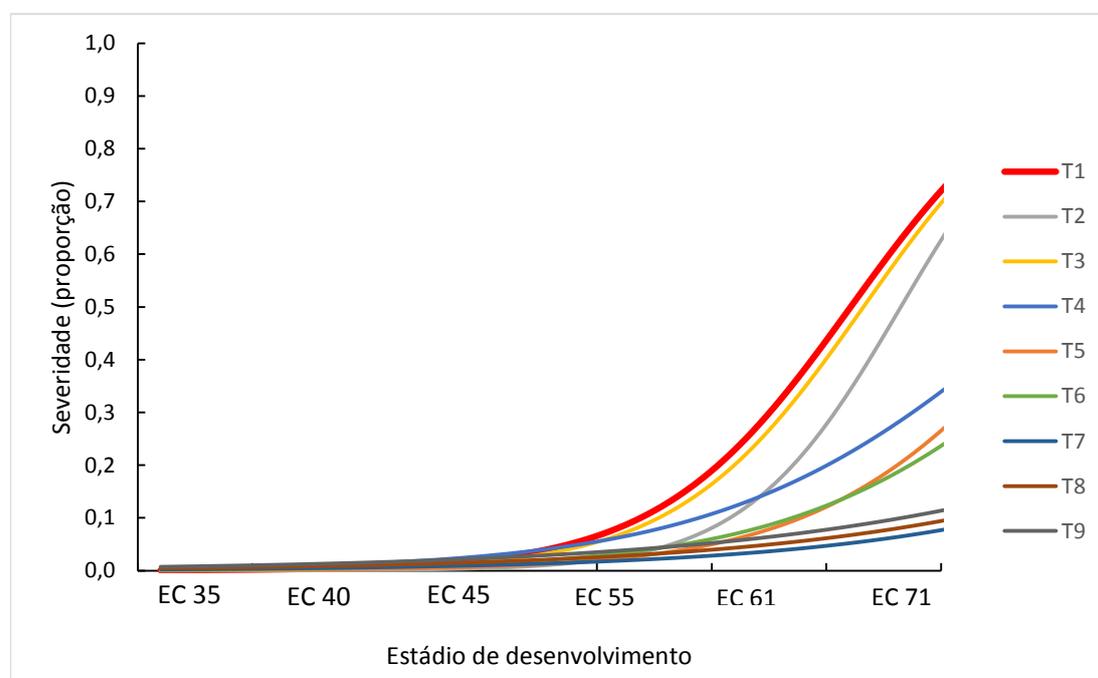


Figura 2. Curvas de progresso das manchas foliares dos tratamentos fungicidas pulverizados na cultivar de cevada Cauê. As linhas representam os dados de severidade de cada tratamento fungicida, estimados pela equação ajustada conforme modelo logístico com base nos dados observados. T1: testemunha; T2: propiconazole; T3: fenpropimorfe; T4: mancozebe; T5: azoxistrobina + Ciproconazol; T6: trifloxistrobina + tebuconazol; T7: piraclostrobina + epoxiconazol + fluxapíroxade; T8: programa 1; T9: programa 2. Capão Leão/RS. 2018.

#### 4. Discussão

O complexo de doenças da cevada, oídio e manchas foliares (mancha marrom e mancha em rede) reduziram a produtividade em até 30%. No entanto o dano foi menor quando o controle destas doenças foi realizado com aplicação de fungicidas de amplo espectro e com utilização de programas de controle químico. Mundialmente, a aplicação de fungicidas tem sido indispensável na produção de cevada, e as reduções no dano variam conforme a suscetibilidade da cultivar, fungicida utilizado e com o número de pulverizações, na maioria dos casos baseadas em estádios fenológicos (MCLEAN et al., 2019, STETKIEWICZ et al. 2019).

O presente estudo demonstra que a aplicação foliar de fungicida especialmente de maior espectro, envolvendo até três grupos químicos na formulação, reduz os danos causados pelas doenças, de 50% até acima de 90%, além de incrementar a produtividade e o peso dos grãos. Não obstante, para controle de doenças deve-se preconizar pulverização de diferentes produtos, sendo essa, recomendação integral do manejo de resistência fungos aos fungicidas (FRAC, 2019). Nesse sentido, a aplicação de programas de controle químico com rotação de princípios ativos é a alternativa que deve ser adotada, a fim de garantir a viabilidade técnica dos produtos por mais tempo sem perdas significativas de eficiência em um curto período de tempo (REIS et al., 2019).

Os resultados deste estudo demonstram que vários dos produtos testados são eficientes e podem integrar o manejo de doenças da cevada. O T7, principalmente, foi o tratamento isolado que independentemente da condição à qual foi exposto, demonstrou eficiência superior aos demais. No entanto, o produto comercial que conferiu tal eficiência foi o que contemplou maior número de i.a. na formulação (3), incluindo as carboxamidas (SDHI), molécula recentemente registrada e pouco difundida para a cevada no Brasil (AGROFIT, 2019; MINELLA, 2017). A aplicação de fungicida semelhante a esse, do grupo químico das Qol (i.a. Azoxistrobina e Piraclostrobin) e SDHI (i.a. Bixafen e Fluxapiraxade), tem demonstrado benefícios como: o efeito fisiológico, redução de danos celular, maior taxa fotossintética, eficiência do uso da água, produtividade e qualidade de grãos (PETIT, 2012; BELDRUGO, 2012; SMITH et al., 2013). Resultado semelhante foi verificado com fungicida

em trigo (Epoxiconazol + Piraclostrobina + Fluxapirroxade) no controle de oídio, manchas foliares, manutenção área foliar verde, produtividade e PMG (FLEITAS et al., 2018).

Contribuindo para recomendações de controle químico no sistema de cultivo da cevada, conforme o presente trabalho, a tomada de decisão pode ser baseada nos estádios fenológicos, os quais coincidentemente, apresentam frequência entre 14 - 19 dias de intervalo, sendo de critério particular posicionar ou não aplicação na fase inicial (EC 12-15) e que o intervalo entre elas deve ser flexibilizado conforme a situação das condições climáticas e da detecção de um ou de outro patógeno. No Brasil, o início das aplicações é posicionado com base em limiares de dano econômico (LDE), incidência entre 20 a 40% e/ou severidade de 2 e 3, em cultivares suscetíveis (MINELA, 2017; AGOSTINETTO et al., 2015). Já no Reino Unido, estudando cultivares de cevada de inverno e de primavera, é comprovado que o posicionamento de aplicação de fungicidas é eficiente levando-se em consideração o estágio de crescimento chave para garantia da produtividade e incidência ou não de determinadas doenças (AHDB, 2016).

Rigorosamente, o posicionamento de aplicação do fungicida no surgimento no patógeno na área é satisfatório em termos de maior eficiência de controle e mais ainda em condições de maior pressão e condições favoráveis de desenvolvimento da doença, entretanto nem sempre contribui com retorno econômico para o produtor. Nos estádios iniciais de desenvolvimento as plantas de cevada apresentam produção acentuada de biomassa e rápida emissão de folhas novas e perfilhos, fato que precisa ser considerado para se iniciar o tratamento químico (AHDB, 2016; MEIER, 2001; MCLEAN et al., 2019).

A partir de agora, será necessário estudar isoladamente cada um dos patógeno, englobados dentro do complexo de doenças que acomete a cultura da cevada, e verificar a possível existência de indivíduos resistentes na população do patógeno para os grupos químicos de fungicidas mais utilizados. A identificação de estádios mais adequados para proteção contra cada um dos patógenos também pode contribuir para otimizar ainda mais o posicionamento mais adequado dos fungicidas e de forma mais racional.

Posteriormente, ajustar o posicionamento técnico das moléculas fungicida frente situações específicas encontradas no campo e determinar os principais estádios fenológicos críticos para realizar ou não a proteção química devem ser melhor compreendidos. E por fim, abordagens alternativas com potencial para auxiliar os fungicidas para o controle das doenças da cevada também precisam ser exploradas, tendo em vista as limitações do controle químico.

## **5. Conclusões**

A cv. Brau é mais resistente que a cv. Cauê ao oídio e manchas foliares.

O fungicida contendo Epoxiconazol + Piraclostrobina + Fluxapiraxade, com mistura de três modos de ação em sua formulação, foi mais eficiente na redução do oídio e manchas foliares e incremento no rendimento da cevada.

Combinar cultivar mais resistente com fungicidas de amplo espectro é uma alternativa viável para minimizar os danos causados pelas doenças foliares.

## **CAPÍTULO II: Silício e programas de controle químico no manejo de doenças na cultura da cevada**

### **1. Introdução**

A cevada (*Hordeum vulgare* L.), um cereal da família *Poaceae* com origem no Oriente Médio, é hoje um dos mais cultivados no mundo, ocupando o quarto lugar em produção e área cultivada (BOTHMER et al., 2003; AHMED et al., 2013). No Brasil são cultivados aproximadamente 100 mil hectares com a cultura obtendo produtividade média de 3 t. ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019). Da produção brasileira, aproximadamente 8% é destinada para sementes e 70% para produção de malte, porém a produção nacional atende apenas 30% da sua demanda industrial. O restante da produção brasileira, que compõem lotes reprovados pela baixa qualidade industrial, é empregado na alimentação animal (DE MORI, 2012).

Entre os fatores que acometem a cultura e são limitantes do seu potencial produtivo estão as doenças foliares que comprometem significativamente o rendimento e a qualidade dos grãos produzidos. Dentre elas, o oídio (*Blumeria graminis* sp. *hordei* (Marchal.)), a mancha em rede (*Pyrenophora teres* Shoemaker) e a mancha marrom (*Cochliobolus sativus* Shoemaker) são as mais frequentemente relatadas (SOOVÄLI; KOPPEL, 2010).

O manejo dessas doenças engloba a utilização de cultivares resistentes, quando disponível, a rotação de culturas, o uso de sementes certificadas e complementado com controle químico. Este, apesar de ser uma das estratégias bastante utilizadas, aumenta o custo de produção, o risco de contaminação ambiental e humana e pode, se utilizado de forma inadequada, não desempenhar sua total eficácia (AGOSTINETTO et al., 2015). Além disso, existe a problemática do resíduo das moléculas de fungicidas nos grãos de cevada. Estes resíduos comprometem o processo fermentativo, levando a alterações no pH do mosto, que é refletida na qualidade final do produto, em termos de cor e sabor, além é claro da questão relacionada ao consumidor final (NAVARRO, 2011). Assim, há uma demanda de novas estratégias para auxiliar no controle das doenças da cevada, tendo em vista os danos expressivos causados pelos patógenos e os riscos envolvidos na utilização do controle

químico, seja contaminação ambiental e humana, ou da seleção de indivíduos resistentes na população do patógeno (FRAC, 2019).

Uma alternativa que tem se mostrado promissora para o manejo de doenças de plantas é a utilização do silício (Si), segundo elemento mineral mais abundante na crosta terrestre (EPSTEIN, 2009), o qual é considerado um elemento mineral benéfico para plantas superiores, tanto mono quanto dicotiledôneas (RODRIGUES, 2015). O Si contribui para a redução de estresses bióticos, causados pelo ataque de patógenos e pragas e, abióticos, como estresse hídrico e desequilíbrio nutricional em diferentes culturas (DEBONA et al., 2017). O fornecimento de Si às plantas tem reduzido a intensidade de diversas doenças causada por bactérias, fungos, nematoides, oomicetos e vírus em muitas culturas economicamente importantes (DEBONA et al., 2017). Plantas supridas com Si são favorecidas contra o patógeno por meio do efeito positivo nos componentes de resistência às doenças, como aumento no período de incubação e período latente, e redução no tamanho da colônia ou lesão, no número de lesões, na taxa de expansão da lesão e na produção de inóculo por sítio de infecção (SEEBOLD et al., 2001; DALLAGNOL et al., 2009; 2012, RODRIGUES, 2015; DEBONA et al., 2017; DORNELES et al., 2017; PAZDIORA et al., 2018). As evidências, até o momento, indicam que o efeito do Si está atrelado ao impedimento da penetração do patógeno devido ao reforço estrutural proporcionado, inibição e/ou retardamento da colonização do patógeno bem como a estimulação de mecanismos de defesa em resposta ao ataque de fitopatógenos, através da produção de compostos antimicrobianos ou pela ativação de múltiplas vias de sinalização para defesa (RODRIGUES, 2015; VAN et al., 2013; CHEN et al., 2014; VIVANCOS et al., 2015; DALLAGNOL et al., 2015; DEBONA et al., 2017; DORNELES et al., 2017; 2018).

A cevada apresenta variações genótípicas no acúmulo de Si nos grãos. A concentração de Si no grão, podendo variar de 0 a 38 g.kg<sup>-1</sup> conforme a cultivar, e cerca de 80% concentra-se na casca (MA, 2003). No entanto, a variação genotípica pode estar associada a muitos fatores, mas o principal é em relação à capacidade de absorção de Si pelas raízes. A proteína HvLsi1, uma proteína homóloga ao transportador de influxo de Si no arroz (OsLsi1), que pertence a uma sub-família de proteínas intrínsecas da família das

aquaporinas, funciona como transportador de influxo de Si em raízes de cevada, o qual está envolvido no transporte radial de Si através das camadas epidérmica e cortical das raízes basais da planta, sendo responsável pelo transporte de Si da solução do solo para as células da raiz (CHIBA et al., 2009).

Há poucos relatos do efeito do Si sobre patógenos na cultura da cevada. O efeito do Si foi reportado apenas contra *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*, em que o elemento induziu a formação de papilas no hospedeiro em resposta ao ataque do fungo (WIESE, et al., 2005; ZEYEN et al., 1993). Estudos com patógenos de outros cereais têm mostrado a importância do Si na redução da intensidade de doenças. Por exemplo, o Si reduziu a área abaixo da curva de progresso da mancha marrom (*Cochliobolus sativus*) e aumentou a atividade de enzimas como quitinase e peroxidase em plantas de trigo (DOMICIANO, 2010). Nestas plantas, ocorreu redução na taxa de progresso e no número de lesões por cm<sup>2</sup> de área foliar, enquanto que o período de incubação aumentou (DOMICIANO, 2010). Em outro estudo, o número de células necróticas e a intensidade do escurecimento das células resultou na redução dos sintomas da mancha marrom (DOMICIANO, 2013). Dallagnol et al. (2011) também observou redução da área abaixo curva de progresso da mancha parda (*Bipolaris oryzae*) em plantas de arroz da cv. Oochikara (tipo selvagem) e de um mutante deficiente em absorção de Si (*Isi1*), com o fornecimento de Si. Em última análise, foi observada diminuição da peroxidação lipídica e do extravasamento de eletrólitos durante o processo de infecção de *Bipolaris oryzae* na cv. Occhikara e no mutante *Isi1* (DALLAGNOL et al. 2011).

No patossistema *Pyrenophora tritici-repentis* - trigo, o Si reduziu a severidade da mancha amarela em até 88% (DORNELES et al., 2017; 2018; PAZDIORA et al., 2017). Neste caso, o Si induziu mecanismos bioquímicos de defesa como atividade das enzimas envolvidas no sistema imune da planta (superóxido dismutase, peroxidase, quitinase e fenilalanina amônia-liase), acúmulo de peróxido de hidrogênio no início do processo de infecção, e acúmulo de fenóis por meio da ativação da rota dos fenilpropanóides bem como induziu respostas de defesa histológicas através do acúmulo de lignina e na redução da morte celular no sítio de infecção, o que significa menor perda

de área foliar e, conseqüentemente, menor severidade (DORNELES et al., 2017; 2018).

Atualmente, as atividades de pesquisa com Si seguem duas linhas: a que busca respostas envolvidas com alterações no metabolismo das plantas pelo fornecimento de Si e suas reações ao ataque de patógenos, e outra que pesquisa benefícios da fertilização de Si e fontes de Si para sistema de cultivo que apresentem reduções dos danos causados por perturbações abióticas e bióticas, como as doenças (DESHMUKH et al., 2017).

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito do fornecimento de Si às plantas de diferentes cultivares de cevada, isoladamente e associado ao controle químico com fungicida na redução de severidade das doenças e manutenção da produtividade e peso de grãos.

## **2. Material e métodos**

Os experimentos foram realizados na safra de 2017 e 2018 no Centro Agropecuário da Palma (CAP), unidade da UFPel, localizada no Km 537 da BR 116 no município de Capão do Leão, cujas coordenadas geográficas são latitude de 31° 80' S e longitude de 52° 50' W. O solo apresenta característica solo arenosa e topografia ondulada.

### **2.1. Características químicas do solo e aplicação do Si**

A amostra de solo utilizada para determinar as características químicas foi obtida por meio da coleta de 16 subamostras com auxílio de trado calador na camada de 0 cm a 20 cm. A análise do solo indicou: pH em água (1:1) = 4,9; concentrações de cálcio, magnésio e alumínio, acidez potencial e CTC efetiva de 3,1, 1,7, 0,6, 4,4 e 5,7  $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  respectivamente; saturação de base= 53%; matéria orgânica (v/v) = 1,94% e argila (v/v) = 25%; fósforo (Mehlich) 10,6  $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$ ; potássio 58  $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$  e índice SMP= 6.

O resultado indicou, conforme análise via índice SMP, a necessidade de calagem para elevar o pH indicado para cultivo de cevada, entre 5,5 e 6,5. Rotineiramente, a calagem é realizada por meio da aplicação de calcário, corretivo de acidez composto por  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ . A dose a ser aplicada varia em função do índice SMP do solo e das características do corretivo a ser utilizado (MANUAL DE CALAGEM E ADUBAÇÃO, 2016). Na safra 2017, para

elevar o pH para 6,5 foram aplicadas nas parcelas controle (-Si) a dose equivalente a 8 t.ha<sup>-1</sup> do calcário dolomítico (Dagoberto Barcelos, Caçapava do Sul, Brasil), cuja composição é 26,5% de cálcio, 15% de magnésio e PRNT de 76%. Nas parcelas com aplicação de Si (+Si) foi utilizada a mesma dose de silicato de cálcio (Agrosilício®, Agronelli Insumos Agrícolas, Uberaba, Brasil) contendo 10,5% de silício; 25% de cálcio e 6% de magnésio. A incorporação dos fertilizantes ao solo, 30 dias antes da semeadura, foi realizada por meio de gradagem tratorizada.

Na safra 2018, o experimento foi instalado na mesma área de 2017. O solo foi novamente amostrado para determinação das suas características químicas na camada de 0 cm a 20 cm, porém coletadas separadamente nos blocos tratados com calcário dolomítico (-Si) e tratadas com silicato de cálcio (+Si). Os resultados dos blocos +Si foram: pH em água (1:1) = 6,45; concentrações de cálcio, magnésio e alumínio, acidez potencial e CTC efetiva de 5,2, 2,0, 0,0, 1,5 e 7,5 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> respectivamente; saturação de base= 84%; matéria orgânica (v/v) = 1,45% e argila (v/v) = 22%; fósforo (Mehlich) 14,8 mg.dm<sup>-3</sup>; potássio 80 mg.dm<sup>-3</sup> e índice SMP= 7. Os blocos -Si apresentaram: pH em água (1:1) = 5,8; concentrações de cálcio, magnésio e alumínio, acidez potencial e CTC efetiva de 3,65, 2,05, 0,1, 2,2 e 6,1 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> respectivamente; saturação de base= 73%; matéria orgânica (v/v) = 1,45% e argila (v/v) = 22%; fósforo (Mehlich)= 11,1 mg.dm<sup>-3</sup>; potássio= 75,5 mg.dm<sup>-3</sup> e índice SMP= 6.6.

Com base no MANUAL DE CALAGEM E ADUBAÇÃO (2016), e conforme a análise do solo, para elevar o pH ao nível desejado (6,5), a quantidade necessária de corretivo de 0,2 t.ha<sup>-1</sup> nos blocos +Si e de 1,6 t.ha<sup>-1</sup> nos blocos -Si. No entanto, a aplicação tanto do calcário dolomítico quanto de silicato de cálcio foi de 2,2 t.ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma que no ano anterior, a incorporação dos fertilizantes ao solo foi 30 dias antes da semeadura e realizada por meio de gradagem tratorizada.

## 2.2. Material vegetal e cultivo

Nos experimentos foram utilizadas duas cultivares por safra. Na safra 2017, foram as cultivares (cv.) BRS Brau (Embrapa Trigo) e BRS Korbel (Embrapa Trigo). Na safra 2018, a cv. BRS Korbel, devido a sua descontinuação no processo industrial, foi substituída por BRS Cauê (Embrapa Trigo). A cv. Korbel apresenta como característica principal resistência ao oídio, sendo moderadamente resistente à mancha em rede, mancha marrom e giberela. A cv. BRS Brau e BRS Cauê são moderadamente resistente à mancha em rede, suscetíveis ao oídio, à mancha marrom e à giberela, (MINELLA, 2017).

A área total da parcela foi de 10 m<sup>2</sup>. A semeadura foi realizado no dia 19 de julho, em 2017, e no dia 03 de agosto, em 2018. A semeadura foi realizada com semeadora modelo SHM Semeato, com 9 linhas e espaçamento de 0,17 m entre as linhas. A densidade de sementes utilizada foi para obter 300 mil plantas.m<sup>-2</sup>. A adubação de base foi realizada com fornecimento de 450 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante NPK (5% de nitrogênio, 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20% de KCl). A adubação suplementar de nitrogênio foi realizada através do fornecimento de 150 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (45% de nitrogênio) no estágio de desenvolvimento 31 da escala de MEIER (2001). O controle de plantas daninhas foi realizado com pulverização do herbicida Iodosulfuron (Hussar<sup>®</sup>, Bayer) na dose de 80 g ha<sup>-1</sup>, aos 35 dias após a semeadura em ambos as safras. O controle de pragas foi realizado no experimento a fim de reduzir o nível populacional de pulgões com a pulverização de Tiametoxam + Lambda cialotrina (Engeo Pleno<sup>®</sup>, Syngenta) na dose de 50 mL ha<sup>-1</sup>.

## 2.3. Delineamento experimental

O experimento foi realizado em esquema fatorial 2 × 2 × 4 em blocos casualizados, totalizando dezesseis tratamentos com quatro repetições. Em 2017, o fator A foi composto pela aplicação (+Si) ou não (-Si) de silicato cálcio no solo. As parcelas -Si receberam aplicação de calcário. O fator B foi composto por duas cultivares (BRS Brau e BRS Korbel) e o fator C foi composto por programas de manejo com fungicidas, sendo os tratamentos: 1. Testemunha- sem aplicação de fungicida; 2. Programa 1- fungicida no tratamento de sementes (TS); 3. Programa 2- fungicida na parte aérea (PA); e 4. Programa 3- fungicida no TS + PA. O fungicida usado para o tratamento de

sementes foi Triadimenol (Baytan<sup>®</sup>, Bayer Crop Science) na dose de 2,7 mL do produto comercial por kg de sementes, e na parte aérea foi o Tebuconazol + Trifloxistrobina (Nativo<sup>®</sup>, BayerCrop Science) na dose de 750 mL ha<sup>-1</sup> do produto comercial, nos estádios EC 35, EC 55 e EC 65 os quais corresponderam aos 48, 75 e 91 dias de desenvolvimento da cultura, respectivamente, totalizando três aplicações.

Em 2018, houve alteração da cv. BRS Korbel pela cv. BRS Cauê (fator B) no experimento, e no fator C foram avaliados diferentes programas de controle com fungicidas somente na parte aérea, e os tratamentos foram os seguintes: 1. Testemunha- sem pulverização de fungicida; 2. Programa 1- quatro pulverizações de fungicidas envolvendo diferentes produtos (época da pulverização: EC 12 - 07/09/18; EC 26 – 26/09/2018; EC 35 – 11/10/2018; EC 61- 26/10/2018); 3. Programa 2: três pulverizações de fungicidas, semelhante ao anterior porém sem pulverização na primeira época (época da pulverização: EC 26 - 26/09/2018; EC 35 – 11/10/2018; EC 61 - 26/10/2018); 4. Programa 3- as pulverizações foram realizadas com base no monitoramento periódico das plantas e realizada conforme a necessidade (época da pulverização: EC 12 - 07/09/18; EC 31 – 06/10/2018; EC 61 - 26/10/2018), baseado no manual de recomendações técnicas para cultura da cevada (MINELLA, 2017) (Tabela 1).

#### **2.4. Variáveis epidemiológicas**

As avaliações realizadas em 2017 foram severidade de oídio (somente na cv. Brau) e de manchas foliares (mancha marrom e mancha em rede). Em 2018 foram avaliadas apenas manchas foliares, devido a não ocorrência de oídio. As avaliações das doenças foram realizadas por meio da análise de todas as folhas de vinte plantas no centro da parcela de forma visual com auxílio de escala diagramática proposta por JAMES (1971), em intervalos de sete dias após o início das avaliações, até o estágio máximo possível para mensuração.

#### **2.5 Avaliação da produtividade**

A produtividade foi determinada pela colheita da área útil (2 m<sup>2</sup>) de cada parcela, e aferição do peso obtido após o processo de trilha e pré-limpeza das amostras. A umidade foi corrigida para 13% e o peso expresso em kg.ha<sup>-1</sup>. O peso de mil grãos (PMG) foi obtido pela pesagem de 1000 grãos,

selecionados aleatoriamente, em balança analítica (marca Shimadzu, modelo BL3200H com precisão de 0,01g).

Tabela 1. Programas de pulverizações, produto comercial (p.c), ingrediente ativo, concentração do i.a. em g. L<sup>-1</sup> e dose do p.c em g ou mL ha<sup>-1</sup> dos tratamentos fungicidas aplicados na safra 2018 e estágio fenológico das pulverizações (época). Capão do Leão/RS.

Programa	Ingrediente Ativo	i.a.	Produto comercial	p.c	Época <sup>1</sup>
		g.L <sup>-1</sup>		g ou mL.ha <sup>-1</sup>	
Testemunha	-	-	-	-	-
1	Propiconazol	250	Tilt	500	1
	Propiconazol + (Epox + Pirac + Fluxapiroxade)	250 + (50 + 81 + 50)	Tilt + Ativum	500 + 1000	2
	Fenpropimorfe + (Ciproconazol + Azoxistrobina)	750 + (80 + 200)	Versatilis + Priori X	750 + 300	3
	(Tebuconazol + Trifloxistrobina) + Mancozeb	(100 + 200) + 750	Nativo + Unizeb Gold	750 + 2500	4
2	Propiconazol + (Epox + Pirac + Fluxapiroxade)	250 + (50 + 81 + 50)	Tilt + Ativum	500 + 1000	2
	Fenpropimorfe + (Ciproconazol + Azoxistrobina)	750 + (80 + 200)	Versatilis + Priori X	750 + 300	3
	(Tebuconazol + Trifloxistrobina) + Mancozeb	(100 + 200) + 750	Nativo + Unizeb Gold	750 + 2500	4
3	Propiconazol + (Epox + Pirac + Fluxapiroxade)	250 + (50 + 81 + 50)	Tilt + Ativum	500 + 1000	1
	Fenpropimorfe + (Ciproconazol + Azoxistrobina)	750 + (80 + 200)	Versatilis + Priori X	750 + 300	2 ou 3*
	(Tebuconazol + Trifloxistrobina) + Mancozeb	(100 + 200) + 750	Nativo + Unizeb Gold	750 + 2500	4

Época<sup>1</sup>:

1- EC 12 (30 Dias Após a Emergência (DAE) ou terceira folha desenrolada);

2- EC 26 (48 DAE ou cinco a nove colmos/perfilhos);

3- EC 35 (70 DAE ou folha bandeira emitida);

4- EC 61 (84 DAE ou início do florescimento);

\*: Pulverização realizada entre a época 2 e 3, no estágio EC 31 (64 DAE).

## 2.6. Análise temporal das doenças

Curvas de progresso das manchas foliares foram obtidas, no experimento de 2017 e 2018, plotando-se a severidade em função do tempo. Na escolha do modelo, foi considerado o maior coeficiente de determinação da equação e a melhor distribuição dos resíduos. As curvas foram ajustadas ao modelo logístico e destas foram estimadas as variáveis: quantidade de doença no tempo 0 ( $\beta$ ) e a taxa logística do progresso da doença ( $r$ ). A expressão geral do modelo é representada pela fórmula:  $Y = 1/\{1+\exp(-(\beta+r*t))\}$ , onde  $Y$  é a severidade expressa em proporção,  $\beta$  corresponde à quantidade de doença no tempo 0,  $r$  é a taxa logística de progresso da doença e  $t$  é o tempo (dias) (CAMPBELL; MADDEN 1990). Para as manchas foliares e oídio, os dados da severidade foram usados para calcular a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) para cada tratamento através da fórmula proposta por Shaner e Finney (1977).

## 2.7. Análise dos dados

A normalidade dos dados de todas as variáveis foi verificada pelo teste de Shapiro Wilk. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas para o fator aplicação de Si ao solo e cultivares pelo teste de Student (teste  $t$ ) ( $p \leq 0,05$ ) e programas de aplicação de fungicidas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) no software SAS (SAS Institute, 1989, Cary, NC). A comparação entre os parâmetros  $\beta$  e  $r$  foi realizada pelo teste  $t$  utilizando-se a fórmula  $[t_{cal} (1\%) = ((P1-P2)/\sqrt{\sigma p1^2 + \sigma p2^2})]$  onde:  $P$  é o valor da variável e  $\sigma$  é o desvio padrão (CAMPBELL; MADDEN 1990).

## 3. Resultados

No ano de 2017 as doenças que ocorreram no experimento foram oídio e manchas foliares (mancha marrom e mancha em rede). No entanto, não foi observado o oídio na cv. Korbel. Nessa safra, a mancha marrom e a mancha em rede apresentaram ocorrência precoce, no estágio EC 12 (30 dias), porém o progresso foi maior após o estágio EC 35. No ano de 2018, a intensidade das doenças foi menor que na safra 2017 e houve apenas a evolução de manchas foliares, as quais foram detectadas precocemente (EC 12) em ambas cultivares.

Para o experimento, das duas safras, 2017 e 2018, não houve interação significativa entre os fatores aplicação de Si, cultivares e programas de controle químico com fungicidas. Quanto as cultivares na safra de 2017, a cv. Korbel foi estatisticamente superior a cv. Brau em todas as variáveis analisadas (Figura 2). Na safra de 2018, a cv. Brau foi estatisticamente superior que a cv. Cauê, exceto para o PMG (Figura 2).

Na safra de 2017, as plantas de cevada supridas com silício (+Si) apresentaram redução significativa na severidade do oídio e da área abaixo da curva de progresso do oídio (AACPO), independente do estágio de desenvolvimento da avaliação ou do programa de controle químico associado (Figura 1a). O +Si reduziu significativamente em 27,4% a AACPO quando comparado à testemunha (-Si).

Os programas de controle com pulverização de fungicidas na parte aérea apresentaram as maiores reduções na severidade do oídio e de AACPO. O programa 3 apresentou as maiores reduções de oídio, 62,9%, e de AACPO, 76%, quando comparados à testemunha, independentemente do fornecimento de Si (+Si) ou não (-Si) (Figura 1b e c).

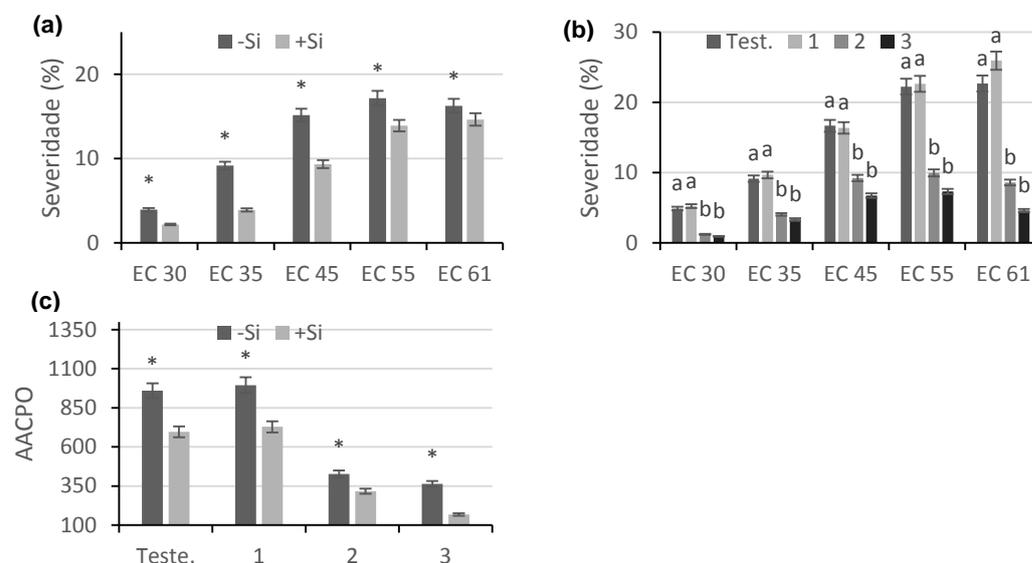


Figura 1. Severidade do oídio *versus* silício (a) nos estádios de crescimento EC30, 35, 45, 55 e 61; severidade do oídio *versus* programas de controle nos estádios de desenvolvimento EC 30, 35, 45 55 e 61 (b) e área abaixo da curva de progresso do oídio (AACPO) na cultivar Brau em plantas com (+Si) e sem (-Si) silício, em função dos programas de controle testemunha (Teste.), 1 ,2 e 3 (c) na safra 2017. \*(asterisco): diferença significativa pelo teste-*t* ( $P < 0,001$  Capão do Leão/RS).

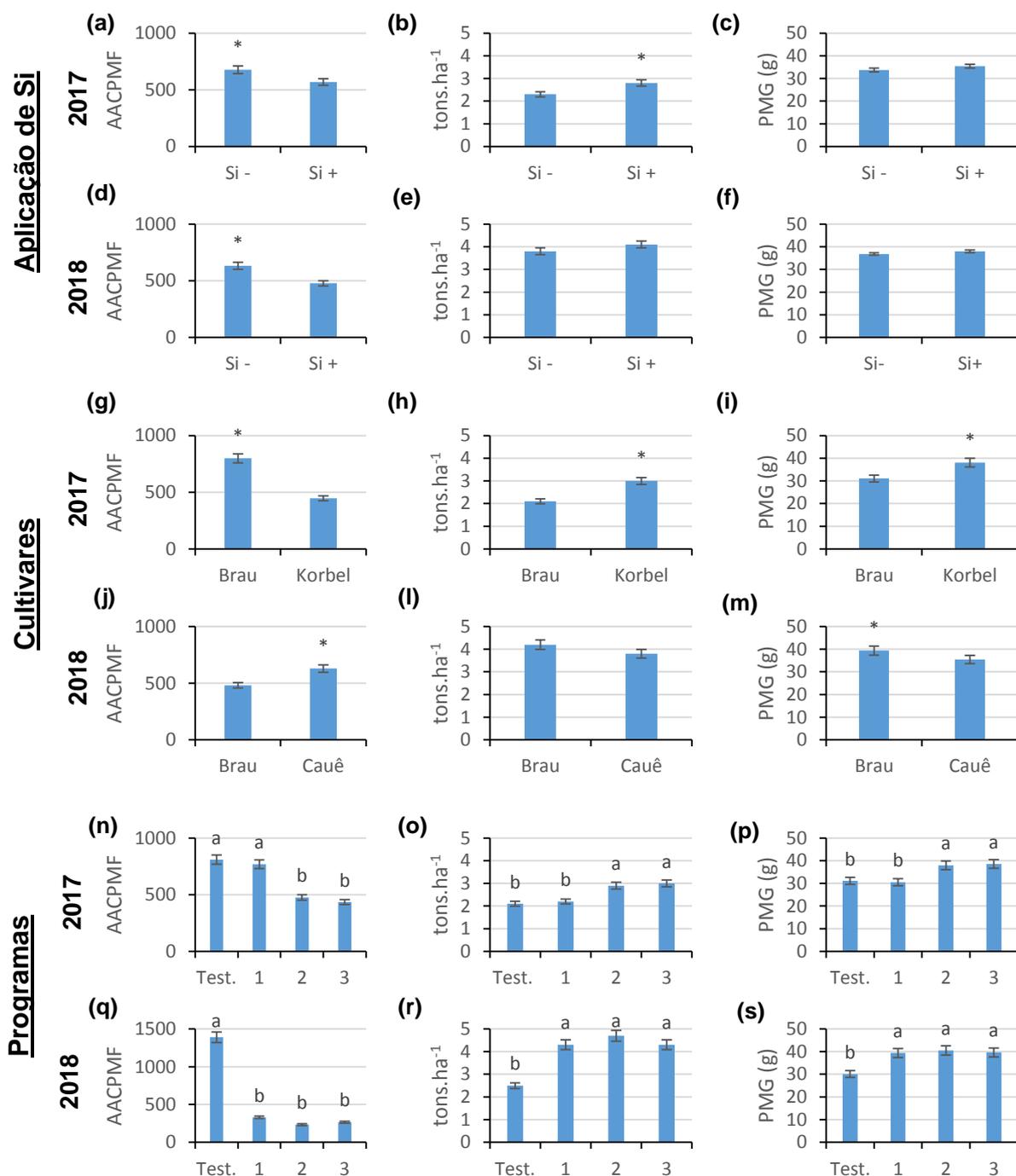


Figura 2. Dados área abaixo da curva de progresso das manchas foliares (AACPMF) (a, d, g, j, n, q), produtividade (b, e, h, l, o, r) e PMG (c, f, i, m, p, s), dos fatores aplicação de silício (Si) no solo, cultivares e programas de aplicação de fungicidas nas safras 2017 e 2018. \*(asterisco): diferença significativa pelo teste-*t* ( $P < 0,001$ ). Capão do Leão/RS.

No caso de manchas foliares, o Si reduziu a severidade, AACPMF e incrementou a produtividade na safra 2017 (Figura 2 a e b). Já para a safra do ano de 2018, a redução foi de 12% na severidade (Figura 5a e 5b) e de 24,6% na AACPMF (Figura 2d) em plantas +Si, quando comparado a plantas -Si.

O controle com fungicidas das manchas foliares, na safra de 2017, o tratamento de sementes isoladamente (programa 1) não apresentou diferença significativa do tratamento testemunha, independentemente da variável analisada. O programa 2 e o Programa 3 não diferiram entre si em nenhuma variável (Figura 2n e 3a-f), e ambos foram superiores à testemunha e ao programa 1. Na safra de 2018, todos os programas de controle químico foram superiores à testemunha e não diferiram entre si, para as variáveis analisadas (Figura 2q - s e 3 g- m).

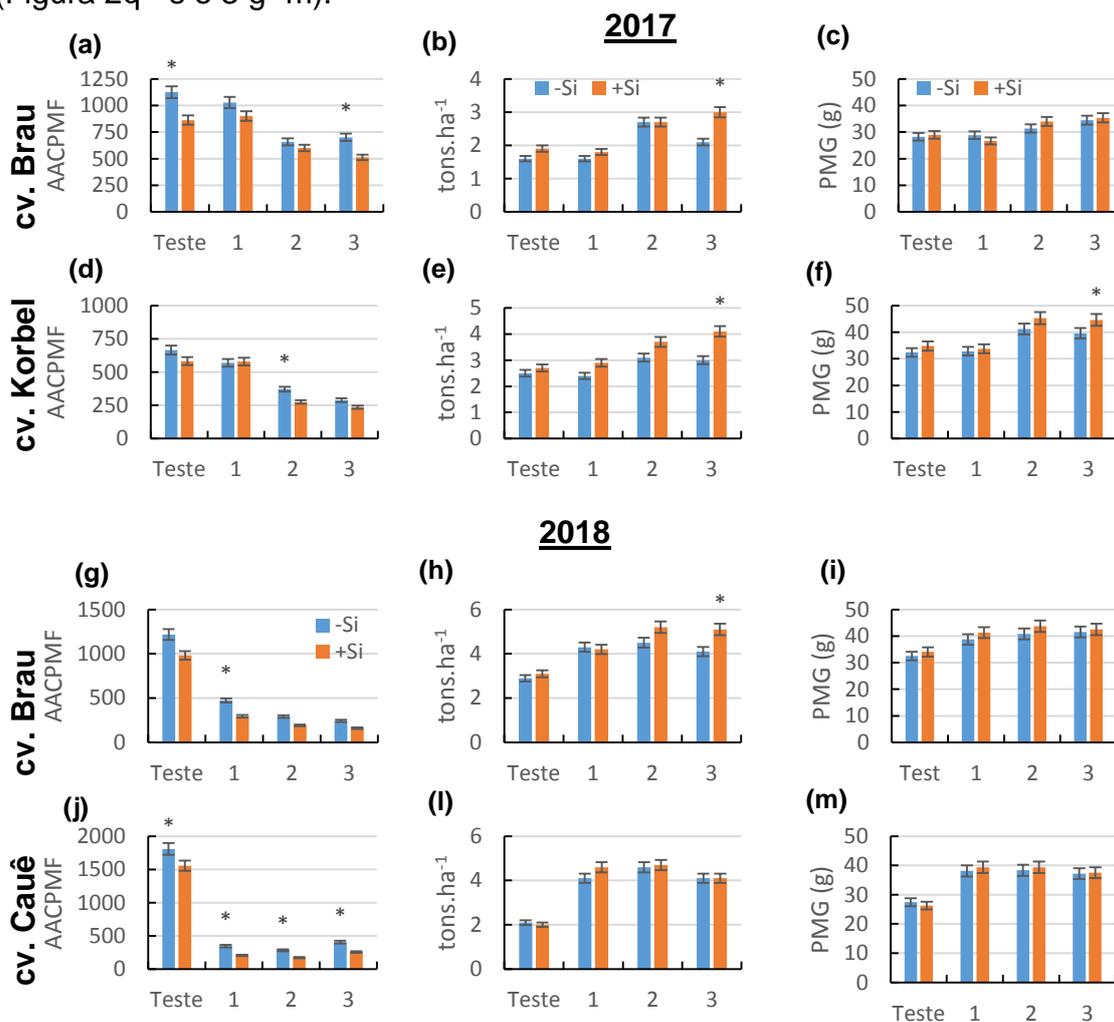


Figura 3. Área abaixo da curva de progresso das manchas foliares (AACPMF), produtividade em toneladas (tons).ha<sup>-1</sup> e peso de mil grãos (PMG) em gramas (g) para os programas de controle: testemunha (Teste), programa 1 (1), programa 2 (2) e programa 3 (3) nas plantas não suprias (-Si) ou suprias (+Si) com silício na cv. Brau (a,b, c) e cv. Korbel (d, e, f) na safra 2017, e na cv. Brau (g, h, i) e cv. Cauê (j, l, m) na safra 2018. \*(asterisco): diferença significativa pelo teste-*t* ( $P < 0,001$ ). Capão do Leão-RS.

O programa 3, nas plantas -Si, incrementou a produtividade em 31% e 19% na cv. Brau e cv. Korbel, respectivamente (Figura 3 b e e), e 38% e 36% na cv. Brau e cv. Korbel. Por outro lado, o fornecimento de Si resultou em incremento significativo de 29% na cv. Brau e 27,6% na cv. Korbel quando comparados ao Programa 3 -Si (Figura 3).

Na safra do ano de 2018, os programas com fungicida, reduziram a severidade das manchas foliares nas plantas da cv. Brau e da cv. Cauê em todas as avaliações, quando comparados à testemunha, porém os programas com fungicidas não diferiram entre si (Figura 5). Todos os programas foram eficientes na redução das manchas foliares, AACPMF e incremento da produtividade e PMG, independente do fornecimento ou não de Si para as plantas. A maior redução de severidade e da AACPMF, quando comparada à testemunha, foi de 60,0% e 80,9%, respectivamente, obtida com aplicação do programa 2 (Figura 3 e 5).

O suprimento de Si reduziu a AACPMF para os programas 1, 2 e 3 na cv. Brau em 2018 (Figura 3g). No entanto, o programa 3 foi o que mais reduziu a AACPMF (40%) independente do Si (Figura 3g).

Na cv. Cauê a AACPMF foi reduzida significativamente em 14,0% pela aplicação de Si. A pulverização do programa 2 apresentou as maiores reduções de AACPMF, até 89% (Figura 3j). A associação de Si com as aplicações do programa 2 reduziu significativamente em 36,8% a AACPMF, quando comparado às plantas sem -Si (Figura 3j).

Todos os programas com aplicação de fungicidas incrementaram a produtividade de ambas cultivares em 2018, e os maiores incrementos foram no programa 2 na cv. Cauê, 39% na cv. Brau e 57% para plantas +Si (Figura 3i).

### **3.1. Severidade e taxa de progresso das manchas foliares**

Os valores de  $R^2$  demonstraram um bom ajuste dos dados ao modelo logístico. Não houve diferença significativa para  $r$  entre plantas +Si e -Si, na safra de 2017 e 2018, independentemente da cultivar e do controle químico (Tabela 2). Para as plantas da cv. Brau (2017) +Si, apenas o programa 2 diferiu estatisticamente da testemunha. Para as plantas da cv. Brau -Si, somente os programas 2 e 3 reduziram significativamente  $r$  em relação à testemunha. Para

a cv. Korbél não houve diferença na  $r$  entre os tratamentos, independentemente do suprimento com Si (Tabela 2; Figura 4). No experimento de 2018,  $r$  foi menor na testemunha de ambas cultivares. Este resultado deve-se por se tratar de área de monocultura e a primeira avaliação da severidade ter sido realizada após a primeira aplicação dos fungicidas, assim os valores da severidade observados na testemunha já eram superiores ao dos tratamentos interferindo na  $r$  no ajuste dos modelos (Tabela 2; Figura 5)

Tabela 2. Taxa de progresso da doença ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) estimados pelo modelo logístico para manchas foliares em cultivares de cevada sob diferentes programas de aplicação de fungicida cultivadas em solo com (+Si) e sem (-Si) aplicação de Si nos anos de 2017 e 2018. Capão do Leão/RS.

Cultivar		-Si		+Si	
		$r$	$R^2$	$r$	$R^2$
<b>Experimento 1 (2017)</b>					
Brau	Testemunha	0,2121 aA	0,97	0,1653 aA <sup>1</sup>	0,97
	Programa 1	0,1949 aA	0,97	0,1578 abA	0,97
	Programa 2	0,1222 bA	0,98	0,1225 bA	0,96
	Programa 3	0,1346 bA	0,98	0,1527 abA	0,98
Korbél	Testemunha	0,1685 aA	0,98	0,1753 aA	0,96
	Programa 1	0,1773 aA	0,96	0,1700 aA	0,97
	Programa 2	0,1650 aA	0,94	0,2191 aA	0,94
	Programa 3	0,2028 aA	0,95	0,2150 aA	0,9
<b>Experimento 2 (2018)</b>					
Brau	Testemunha	0,0853 bA	0,93	0,1154 bA	0,94
	Programa 1	0,3189 aA	0,95	0,2896 aA	0,97
	Programa 2	0,1945 aA	0,91	0,2046 abA	0,93
	Programa 3	0,2325 aA	0,93	0,1877 bA	0,97
Cauê	Testemunha	0,1125 bA	0,96	0,1162 bA	0,95
	Programa 1	0,2481 abA	0,81	0,1882 aA	0,97
	Programa 2	0,2679 aA	0,91	0,1803 abA	0,94
	Programa 3	0,1703 abA	0,93	0,1513 abA	0,81

<sup>1</sup>: Letras maiúsculas comparam entre si cada programa em plantas não supridas com Si (-Si) e plantas supridas com Si (+Si). Letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos (Testemunha, Programa1, Programa 2 e Programa 3) aplicados em cada cultivar suprida ou não com Si. Capão do Leão, 2019.

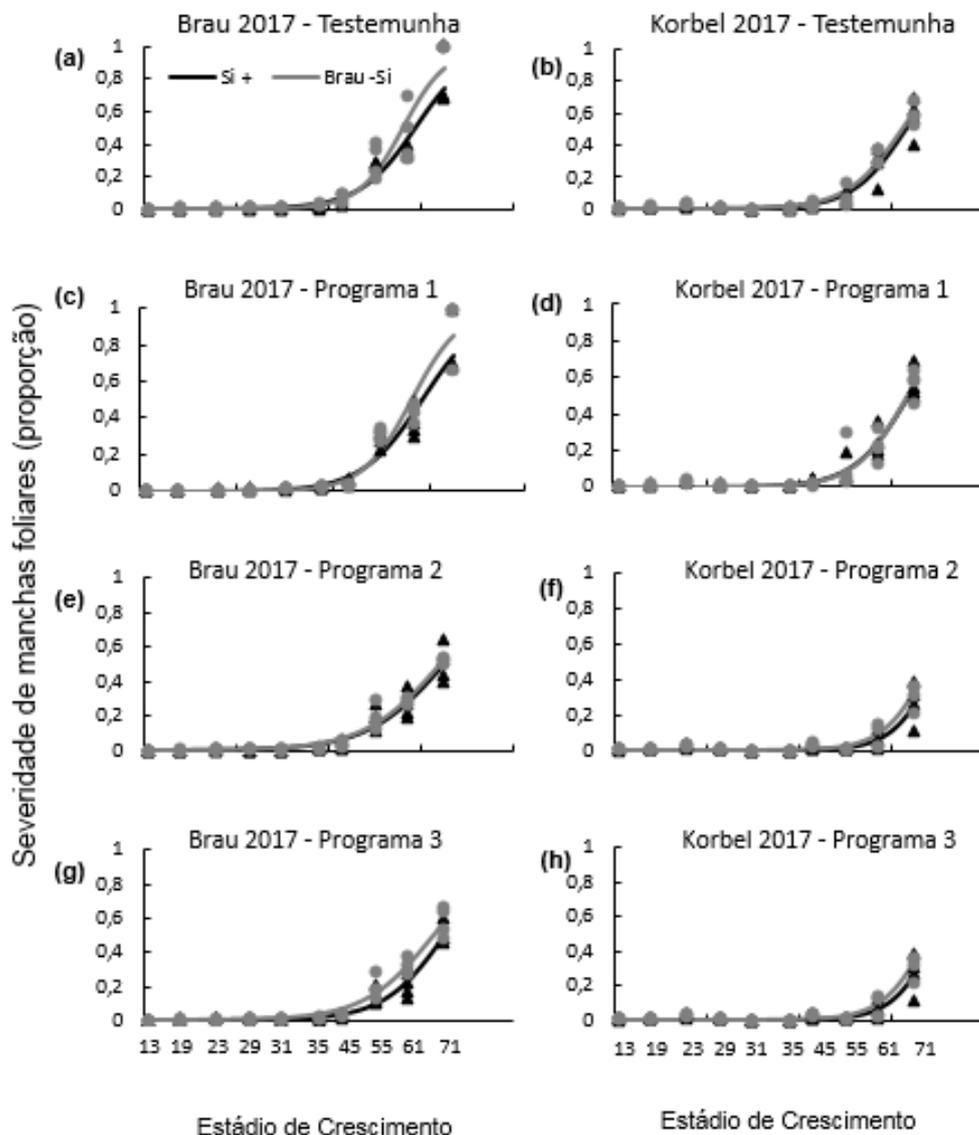


Figura 4. Curvas de progresso de manchas foliares, causadas por *Cochliobolus sativus* e *Pyrenophora teres*, nas cultivares de cevada Brau (a, c, e, e g) e Korbel (b, d, f e h) no ano de 2017, sob diferentes programas de aplicação de fungicidas. As avaliações foram realizadas nos estádios EC 13, 19, 23, 29, 31, 35, 45, 55, 61 e 71 do ciclo da cultura. Os símbolos (bolas e triângulos) representam a severidade observada (proporção) e as linhas os dados ajustados por equação logística.

Na safra de 2018, as plantas da cv. Brau +Si, no programa 1 apresentaram maior  $r$  quando comparado à testemunha (Tabela 2). O programa 2 não diferiu dos demais tratamentos (Tabela 2). Para as plantas -Si da cv. Brau, a menor taxa de progresso foi observada na testemunha, sendo que todos os programas fungicidas foram iguais entre si e estatisticamente

diferentes da testemunha. Já para as plantas da cv. Cauê a  $r$  foi maior no programa 3 (Tabela 2).

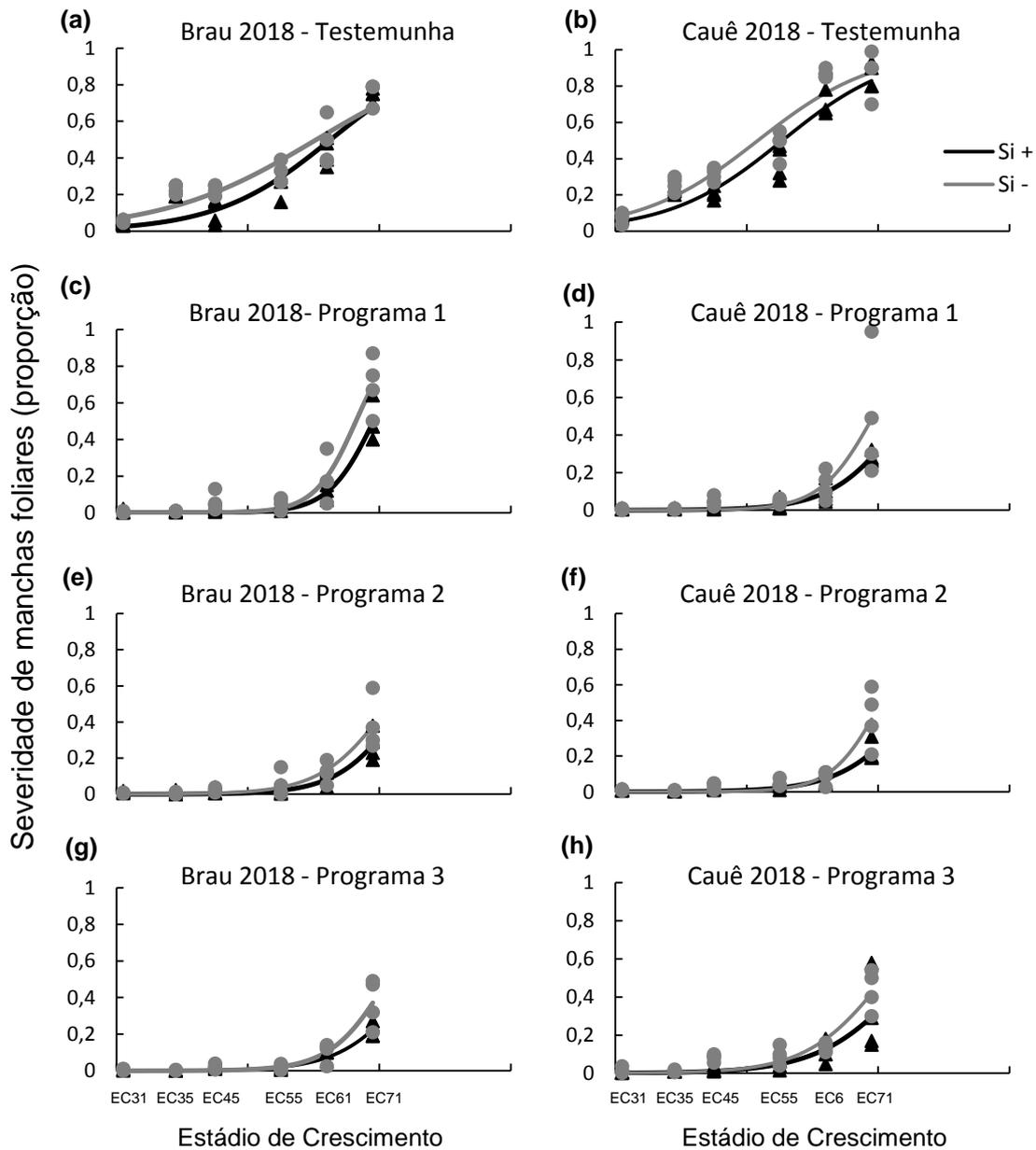


Figura 5. Curvas de progresso de manchas foliares, causadas por *Cochliobolus sativus* e *Pyrenophora teres*, nas cultivares de cevada Brau (a, c, e, e g) e Cauê (b, d, f e h) no ano de 2018, sob diferentes programas de aplicação de fungicidas. As avaliações foram realizadas nos estádios EC 31, 35, 45, 55, 61 e 71 do ciclo da cultura. Os símbolos (bolas e triângulos) representam a severidade observada (proporção) e as linhas os dados ajustados por equação logística.

#### 4. Discussão

Neste estudo foi demonstrado que o Si quando fornecido às plantas de cevada da cultivar Cauê, Brau e Korb, via solo, reduz a severidade e a área abaixo da curva de progresso do oídio e das manchas foliares (mancha marrom e mancha em rede), resultando em incremento de até 40% na produtividade e peso de grãos.

O fornecimento de Si reduz os danos causados por diversos estresses, como os bióticos, para diferentes espécies de plantas, inclusive para a cevada (DEBONA et al, 2016). Os resultados deste estudo são consistentes com os observados por Wiese (2005) para o patossistema *Blumeria graminis* - cevada, demonstrando que plantas supridas com Si apresentavam redução na severidade do oídio. Em trigo, o Si também reduziu a severidade do oídio, por meio da formação de uma barreira física pelo aumento na deposição de calose e formação de papilas (BÉLANGER et al., 2003). No caso de manchas foliares, também em trigo, o fornecimento de Si às plantas resultou no aumento do período de incubação e menor severidade da mancha marrom, causada pela mesma espécie fúngica que ataca a cevada (DOMICIANO et al., 2010; 2013).

Os experimentos também demonstraram diferenças significativas entre as cultivares na resistência às doenças e na produtividade, destacando-se a resistência da cv. Korb ao oídio, suscetibilidade da cv. Brau à mancha em rede e suscetibilidade da cv. Cauê à mancha marrom e ao oídio. A reação das cultivares as doenças foliares observadas neste estudo estão de acordo com as informações disponibilizadas pelos obtentores (MINELLA, 2017). Assim, o conhecimento da reação às doenças das cultivares é de suma importância para ao produtor. A escolha da cultivar influencia diretamente no sucesso da produção e, portanto, é fundamental que seja considerado cultivares com maiores níveis de resistência às principais doenças na região de cultivo. Não obstante, a escolha de cultivar com maior resistência também contribuí para o produtor lograr sucesso na adoção do controle químico com fungicidas (AGOSTINETTO et al., 2015; STETKIEWICZ, et al., 2019).

A aplicação de fungicida, no Reino Unido, é indispensável para produção de cevada independentemente da resistência genética da cultivar, contudo existem estádios fenológicos críticos para a proteção (STETKIEWICZ, et al.,

2019; AHDB, 2016). No Brasil, a necessidade de uso de fungicidas não é diferente, no entanto, a recomendação do controle químico varia conforme a LDE, e em casos de cultivares mais suscetíveis as aplicações iniciam mais precocemente e ocorrem em maior número para proteger a planta durante todo ciclo (AGOSTINETTO et al., 2015; MINELLA, 2017).

No presente estudo, dentre as estratégias utilizadas, a aplicação de fungicidas mostrou-se indispensável e a que apresentou maior eficiência e estabilidade produtiva nas safras observadas. Os dados também demonstram que tanto as aplicações guiadas pelos limiares de dano econômico e estágio fenológico de crescimento foram eficientes, porém há necessidade de uma análise mais aprofundada do custo-benefício. Também foi verificado que independentemente da safra e do critério levado em conta para definir a aplicação de fungicidas, é possível produzir cevada reduzindo o número de aplicações de fungicida. As maiores reduções dos danos, de até 90% na severidade das doenças e incremento de até 60% na produtividade, foram proporcionadas pelos programas de controle com fungicidas.

Aliado a isso, o presente estudo demonstrou melhora na eficiência do controle químico com a associação da fertilização com de Si e aplicação programas de controle com fungicidas. A utilização do Si agregou sua eficiência isolada, em torno de 40%, no percentual de controle proporcionado pelos fungicidas. Na Flórida, o fornecimento de Si via solo proporcionou o mesmo nível de controle da brusone do arroz do que o fungicida Benomil (DATNOFF e SNYDER 1994). A severidade e a taxa de progresso da mancha marrom em plantas de arroz supridas Si foi menor do que a observada em plantas pulverizadas com o fungicida Propiconazol (DATNOFF et al. 1997). Com isso, foi demonstrado que a maior redução da intensidade das doenças era obtida com fornecimento de Si via solo e a pulverização foliar de fungicidas (DATNOFF e SNYDER 1994; DATNOFF et al. 1997). Outro trabalho na Colômbia envolvendo Si e fungicidas mostrou que plantas de arroz com Si, pulverizados ou não com fungicida, incrementaram significativamente o rendimento, enquanto a aplicação de fungicidas em plantas sem Si não apresentou diferença significativa de controle e nem de produtividade (SEEBOLD et al., 2004).

Além dos benefícios diretos da fertilização silicatada na cultura da cevada, no caso do Brasil, os mesmos podem ser estendidos para cultivos subsequentes, principalmente a soja que é a principal cultura sucessora da cevada, a qual é potencial acumuladora de Si com benefícios já relatados (ARSENAULT-LABRECQUE, et al., 2012). Aplicação de Si além dos benefício efetivo sobre as doenças ou ampliação da eficiência associado aos fungicidas, já tem sido relatado beneficiando cultivos subsequentes (SEEBOLD et al., 2004). No entanto, apesar de resultado significativo do Si, a sua utilização deve ser associada com mais alternativas para integrar o sistema de produção agrícola (RODRIGUES, 2015).

Assim, o Si torna-se uma alternativa potencial no cultivo de cevada a nível de campo no Brasil, capaz de auxiliar na redução das doenças foliares da cevada e maximizar a eficiência do controle com fungicidas especialmente nas cultivares mais suscetíveis às doenças. A partir dessas evidências novos estudos independentes serão fundamentais para elucidar as principais vias da interação Silício – Planta – Patógeno – Fungicida, a eficiência do Si contra esses patógenos e sua interação com fungicidas em condição de estresse ou não por doenças.

## **5. Conclusões**

A cv. Korbelt apresenta maior resistência ao oídio e a manchas foliares que a cv. Brau. A cv. Brau é mais resistente a manchas foliares que a cv. Cauê.

O suprimento de silício para plantas de cevada reduz a severidade do oídio e das manchas foliares, e incrementa a eficiência do controle químico com fungicida.

O controle químico proporciona as maiores reduções de severidade das doenças, manutenção de rendimento e peso de mil grãos.

A combinação de cultivar com maior nível de resistência, suprimento com Si e aplicação de fungicidas para manejo de doenças, é uma alternativa viável e promissora para o cultivo de cevada.

## 7. Considerações Finais

De acordo com o trabalho desenvolvido, o controle de doenças da cevada é um fator indispensável no sistema de cultivo, pois comprometem significativamente o desenvolvimento e o rendimento da cultura. No entanto, cultivares com maiores níveis de resistência às doenças devem ser optadas.

Conforme observado no estudo, apesar das cultivares disponíveis não apresentarem resistência completa às doenças, há entre elas diferenças significativas quanto a suscetibilidade aos patógenos, bem como a resposta à pulverização de fungicidas. No entanto, para adoção de programas de controle com fungicidas devemos considerar o estágio em que se deseja realizar a pulverização e a molécula do fungicida a ser empregada, a fim de evitar a pulverização de moléculas pouco ou ineficientes. Assim, programas de controle químico precisam ser ajustados por local e cultivar.

A aplicação do Si, via calagem, é capaz de atenuar a severidade das doenças da cevada isoladamente ou associado aos programas de controle químico com fungicidas, além de proporcionar manutenção e incrementos no rendimento. Considera-se o Si como potencializador da defesa inerente da planta contra às doenças foliares e também do controle químico das mesmas. Dessa forma, a associação de Si e cultivares com maior nível de resistência contribui para a redução na pressão de seleção de indivíduos resistentes aos fungicidas além de incrementar a eficiência dos mesmos.

Os estudos apresentados neste trabalho tiveram como finalidade entender e avaliar a eficiência das diferentes moléculas de fungicidas e que o seu uso deve seguir a legislação brasileira vigente.

## 8. Referências bibliográficas

AGOSTINETTO L., CASA R., BOGO A., SACHS C., SOUZA C., REIS E., e CUNHA I. Barley spot blotch intensity, damage, and control response to foliar fungicide application in southern Brazil. **Crop Protection**. v. 67, p. 7-12. 2015.

AGRICULTURE AND ENVIRONMENT RESEARCH UNIT (AERU) at the University of Hertfordshire. **The Pesticide Properties DataBase**, PPDB <http://www.herts.ac.uk/aeru/footprint>. 2013.

AHDB. Agricultural and Horticulture Development Board, UK. **Cereal & Oilseeds**. Disponível em: [www.cereals.ahdb.org.uk/agronomy2019](http://www.cereals.ahdb.org.uk/agronomy2019). Acesso em 30 de janeiro de 2019.

AHMED, I.M., CAO, F., ZHANG, M., CHEN, X., ZHANG, G., WU, F. Difference in yield and physiological features in response to drought and salinity combined stress during anthesis in Tibetan wild and cultivated barleys. **PLoS One**. v. 8, p. 77869. 2013.

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. **Introductory mycology. Fourth Edition**. John Wiley & Sons, Inc. p. 869. 1996.

AL-SADI, A. M., & DEADMAN, M. L. Influence of Seed-borne *Cochliobolus sativus* (Anamorph *Bipolaris sorokiniana*) on Crown Rot and Root Rot of Barley and Wheat. **Journal of Phytopathology**. v. 158, p. 683–690. 2010.

ANTONIAZZI, N. & DESCHAMPS, C., Controle de *Bipolaris sorokiniana* e rendimento de grãos em cevada após aplicação de elicitores e fungicidas. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 29, p.695-700. 2007.

ARAUS, J.L. Physiological basis of processes determining barley yield under potential and stress conditions: current research trends on carbon assimilation. In: Slafer, G.A., Molina-Cano, J.L., Savin, R., Araus, J.L., Romagosa, I. (Eds.), Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality. **Food Products Press**, New York, London, Oxford, pp. 269–306. 2002.

ARSENAULT-LABRECQUE, G., MENZIES, J. G., e BÉLANGER, R. R. 2012. Effect of silicon absorption on soybean resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in different cultivars. **Plant Dis**. V. 96, p.37-42.

AUST, H. J., & VON HOYNINGEN-HEUENE, J. Microclimate in relation to epidemics of powdery mildew. **Annual Review of Phytopathology**. v. 24, p. 491–510. 1986.

BARROS, B.C.; CASTRO, J.L.; PATRÍCIO, F.R.A. Resposta de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao controle químico das principais doenças fúngicas da cultura. **Summa Phytopathologica**. v. 32, p.239-246. 2006.

BARTLETT, D.W., CLOUGH, J.M., GODWIN, J.R., HALL, A.A., HAMER, M., PARR-DOBRZANSKI, The strobilurin fungicides. **Pest Manag. Sci**. v. 58, n.7, p. 649-662. 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC no. 7, de 18 de fevereiro de 2011. **Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos**. Diário Oficial da União, 22 de fevereiro de 2011. 2011.

BEDENDO, I.P. Oídios. In: KIMATI, B.F & AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia**, 3ª ed. São Paulo: Agronômica Ceres. v.2, p.866-871. 1995.

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*). **Phytopatholog**. v.93, p.402-412. 2003.

BERDUGO, C.A., MAHLEIN, A.K., STEINER, U., DEHNE, H.W., OERKE, E.C. Sensors and imaging techniques for the assessment of the delay of wheat senescence induced by fungicides. **Funct. Plant Biol**. v. 40, p. 677–689. 2012.

BOLECHOVÁ, M., BENEŠOVÁ, K., BEĽÁKOVÁ, S., CĀSLAVSKYĀ, J., POSPÍCHALOVÁ, M., MIKULÍKOVÁ, R. Determination of seventeen mycotoxins in barley and malt in the Czech Republic. **Food Control**. v. 47, p.108–113. 2015.

BOTHMER, R.V., SATO, K., KOMATSUDA, T., YASUDA, S., FISCHBACK, G., FISCHBECK. Importance of barley, the domestication of cultivated barley. In: Von Bothmer, R., Hintum, Tv, Knüpffer, H., Sato, K. (Eds.), **Diversity in Barley (*Hordeum Vulgare*)**. Elsevier, Amsterdam, p. 9-27. 2003.

BORRÀS, G. ROMAGOSA, I. VAN EEUWIJK, F. SLAFER, G.A. Genetic variability in duration of pre-heading phases and relationships with leaf appearance and tillering dynamics in a barley population. **Field Crops Res.** v. 113, p. 95–104. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Portaria nº 691, de 22 de novembro de 1996. Aprova a Norma de Identidade e Qualidade da Cevada, para comercialização interna. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF**, p. 24751, 25 nov. Seção 1. 1996.

BRAUN, U. A Monograph of the *Erysiphales* (Powdery Mildews), Beihefte zur, Nova Hedwigia, Heft89. **J. Cramer**, Stuttgart. p.700. 1987.

BRENT, K.J.; HOLLomon, D.W. Fungicide Resistance in Crop Pathogens: How Can it be Managed? **FRAC Monograph 1**. 2nd Ed. Brussels, Crop Life International, Brussels: 55p. 2007.

BULLERMAN, L. B., & BIANCHINI, A. Stability of mycotoxins during food processing. **International Journal of Food Microbiology**. v. 119, p. 140-146. 2007.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons. 1990.

CASA, R.T., HOFFMANN, L. L., PANISSON, E., MENDES, C.C., REIS, E.M. Sensibilidade de *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* a alguns fungicidas. **Fitopatologia Brasileira**. v.27, p.626-630. 2002.

CHEN, Y., LIU, M., WANG, L., LIN, W., FAN, X., CAI, K. Proteomic characterization of silicon-mediated resistance against *Ralstonia solanacearum* in tomato. **PlantSoil**. v. 387, p. 425–440. 2014.

CHIBA Y, MITANI N, YAMAJI N, MA JF. HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. **Plant J**. v. 57, p. 810–18. 2009.

CLARK, R.V. Yield losses in barley cultivars caused by spot blotch. **Canadian Journal of Plant Pathology**. v.1, p.113-117. 1979.

COLLINS, H. M.; BURTON, R. A.; TOPPING, D. L.; LIAO, M. L.; BACIC, A. E.; FINCHER, G. B. Variability in fine structures of non-cellulosic cell wall

polysaccharides from cereal grains: Potential importance in human health and nutrition. **Cereal Chem.** v. 87, p. 272-282. 2010.

CONAB. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS | v. 6 - Safra 2018/19, n.4 - Quarto levantamento, janeiro 2019. ISSN: 2318-6852. 2019.

CZEMBOR, J.H., & JOHNSTON, M.R. Resistance to powdery mildew in selections from Tunisian land races of barley. **Plant Breeding.** v. 18, p. 503 – 509. 2008.

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, p.116–121. 2009.

DALLAGNOL, L. J., RODRIGUES, F. A., DAMATTA, F.M., MIELLI, M. V. B., PEREIRA, S. C. Deficiency in silicon uptake affects cytological, physiological, and biochemical events in the rice *Bipolaris oryzae* interaction. **Phytopathology.** v. 101, p. 92–104. 2011.

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, p. 323-330. 2012.

DALLAGNOL, L. J., RODRIGUES, F. A., PASCHOLATI, S. F., FORTUNATO, A. A., CAMARGO, L. E. A. Comparison of root versus foliar applied potassium silicate in potentiating post infection defences of melon against powdery mildew. **Plant Pathol.** v. 64, p. 1085–93. 2015.

DALL'ERTA, A., CIRLINI, M., DALL'ASTA, M., DEL RIO, D., GALAVERNA, G., DALL'ASTA, C. Masked mycotoxins are efficiently hydrolyzed by human colonic microbiota releasing their aglycones. **Chemical Research in Toxicology.** v. 26, p. 305-312. 2013.

DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H. Comparison of silicon and benomyl alone and in combination for reducing blast incidence. **Biol Cult Tests Control Plant Dis.** v. 9, p. 113. 1994.

DATNOFF, L. E., DEREN, C. W., SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Prot.** v. 16, p. 525–31. 1997.

DEBONA, D., RODRIGUES, F. A. A Strobilurin Fungicide Relieves *Bipolaris oryzae*-Induced Oxidative Stress in Rice. **J Phytopathol.** v. 164, p. 571–581. 2016.

DEBONA, D, NASCIMENTO, K. J. T., GOMES, J. G. O., AUCIQUE-PEREZ, C. E., RODRIGUES, F.A. Physiological changes promoted by a strobilurin fungicide in the rice-*Bipolaris oryzae* interaction. **Pesticide Biochemistry and Physiology.** v. 130, p. 8–16. 2016.

DEBONA, D., RODRIGUES, F. A., DATNOFF, L. E. Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **Annu. Rev. Phytopathol.** v. 55, p. 4.1–4.23. 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, n.5, p. 389-401. 2018

DESHMUKH, R. K., MA, J. F., BÉLANGER, R. R. Role of Silicon in Plants. **Front. Plant Sci.** v.8, p.1858. 2017.

DE MORI, C.; MINELLA, E. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada. **Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 28 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 139). Disponível em:** <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do139.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139.htm)>. Acesso em 19/08/2018.

DIAS, M.C. Phytotoxicity: an overview of the physiological responses of plants exposed to fungicides. **Journal of Botany.** v. 2012, p. 1-4. 2012.

DINOLFO, M.I.; CASTANARES, E.; STENGLEIN, S.A. *Fusarium*-plant interaction: state of the art - a review. **Plant Protect. Sci.** v. 53, p. 61–70. 2017.

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. **J Phytopathol.** v. 158, p.334–343. 2010.

DOMICIANO, G. P., RODRIGUES, F. A., GUERRA, A. M. N., VALE, F. X. R. Infection process of *Bipolaris sorokiniana* on wheat leaves is affected by silicon. **Trop. Plant Pathol.** v. 38, p. 258–63. 2013.

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.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**. v. 155, p. 155-160. 2009.

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.

FAUTEUX, F., RÉMUS-BOREL, W., MENZIES, J. G., BÉLANGER, R. R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microb. Lett.** v. 249, p. 1–6. 2005.

FERNANDÉZ-ORTUÑO, D.; TORÉS, J.A.; DE VICENTE, A.; PÉREZ-GARCÍA, A. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. **Internationa lMicrobiology**. v. 11, n. 1, p. 1-9. 2008.

FEKSA, H.R. & DUHATSCHEK, B. Manejo do complexo de doenças na cultivar de cevada BRS 195, Entre Rios, Guarapuava, PR, 2004. In: **Reunião anual de pesquisa de cevada**, 2005, Guarapuava, p.385-390, 2005.

FLEITAS M., SCHIERENBECKA M., GERARDA G., DIETZA J., GOLIKA S. e SIMÓNA M. Breadmaking quality and yield response to the green leaf area duration caused by fluxapyroxad under three nitrogen rates in wheat affected with tan spot. **Crop Protection**. v. 106, p.201–209. 2018.

FORTUNATO, A. A., RODRIGUES, F. A., DATNOFF, L. E. Silicon control of soil-borne and seed-borne diseases. In: Rodrigues F., Datnoff L. (eds) **Silicon and Plant Diseases**. Springer, Cham. p. 53-66. 2015.

FRAC – BR. **Comitê de ação a resistência a fungicidas**. Disponível em: [www.frac.info](http://www.frac.info). Acesso em 30 de janeiro de 2019.

FUNCK, G., FERNANDES, J.M., PIEROBOM, C. Doenças foliares, área verde sadia e peso de grãos em diferentes cultivares de trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.4, n.1, p.3-10. 2009.

GODOY, C.V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2015/16: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Embrapa Soja: Londrina**, 6p. (Circular técnica, 119). 2016.

HARRIS, G. The enzyme content and enzymic transformations in malt. **Barley and Malt. Biology, Biochemistry, Technology**. A. Cook, Ed. Academic Press, London. p. 583-694. 1962.

HAU, B., & DE VALLAVIEILLE-POPE, C. Wind dispersed diseases. In B. M. Cooke, G. Jones, & B. Kaye (Eds.). **The Epidemiology of Plant Diseases 2nd ed.** New York: Springer. p. 387–416. 2006.

HOFSTRA, G.; LITTLEJOHNS, D.A.; WUKASCH, R. The efficacy of the antioxidant ethylene-diurea (EDU) compared to carboxin and benomyl in reducing yield losses from ozone in navy bean. **Plant Disease Reporter**. v. 62, p. 350–352. 1978.

JAMES, W.C. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. **Plant Disease**. v.5, 2-10, 1971.

JONES, R.D.; KAVANAGH, T.E.; CLARKE, B.J. Determination of carbaryl residues in malt and beer and their impact on beer quality. **J. Am. Soc. Brew. Chem.** v. 46, p. 43–50. 1988.

JIANG D. The role of silicon in barley resistance to powdery mildew (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*). **PhD Thesis, Univ. Minn., St. Paul**. 1993.

JONES, L.H.P. & HANDRECK, K.A. Silica in soil, plants and animals. **Advances in Agronomy**. v.19, p.107-149. 1967.

KAROV, K. I.; MITREV, K. S.; KOSTADINOVSKA, D. E.; *Bipolaris sorokiniana* Teleomorph *Cochiobolus sativus*) - causer of barley leaf lesions and root rot in Macedonia. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v.116, p.167-174. 2009.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. Vol. 2. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 663 p. 2005.

KOLLER, W. Sterol demethylation inhibitors: Mechanism of action and resistance. In: Delp, C.J. (Ed.), **Fungicide Resistance in North America**. APS Press, St. Paul, MN, p. 79–88. 1988.

KOSTELANSKA, M., HAJŠLOVA, J., ZACHARIASOVA, M., MALACHOVA, A., KALACHOVA, K., POUŠTKA, J., FIALLA, L., SCOTT, P. M., BERTHILLER, F., KRŠKA, R. Occurrence of deoxynivalenol and its major conjugate, deoxynivalenol-3-glucoside, in beer and some brewing intermediates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 57, p. 3187-3194. 2009.

LAI, Y-R.; LIN, P-Y.; CHEN, C-Y.; HUANG, C-J. Feasible Management of Southern Corn Leaf Blight via Induction of Systemic Resistance by *Bacillus cereus* C1L in Combination with Reduced Use of Dithiocarbamate Fungicides. **Plant Pathology Journal**. v. 32, n.5, p. 484-488. 2016.

LANCOVA, L., HAJŠLOVA, J., POUŠTKA, J., KRPLOVA, A., ZACHARIASOVA, M., DOSTALEK, P., SACHAMBULA, L. Transfer of *Fusarium* mycotoxins and 'masked' deoxynivalenol (deoxynivalenol-3-glucoside) from field barley through malt to beer. **Food Additives & Contaminants Part A**. v. 25, p. 732-744. 2008.

LEACH, C. M. A Theoretical Consideration of the Epidemiology of Seed-borne Plant Pathogens. Londrina, Brazil: **Seed Pathology Problems and progress. Proceedings of the First Latin American Workshop on Plant Pathology**. p. 227– 233. 1979.

LIANG Y. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. **Plant and Soil**. v. 209, p. 217–224. 1999.

LIANG, Y., CHEN, Q., LIU, Q., ZHANG, W. H., DING, R. X. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Physiology**. v. 160, p. 1157–1164. 2003.

MA, J. F.; HIGASHITANI, A.; SATO, K.; TAKEDA, K. Genotypic variation in silicon concentration of barley grain. *Plant and Soil*. v. 249, p. 383-387, 2003.

MACKAY, C.E.; SENARATNA, T.; MCKERSIE, B.D.; FLETCHER, R.A. Ozone induced injury to cellular membranes in *Triticum aestivum* L. and protection by the triazole S-3307. *Plant Cell Physiol*. v. 28, p. 1271– 1278. 1987.

MALVICK, D., & PERCICH, J. Hydroponic culture of wild rice (*Zizania palustris* L.) and its application to studies of silicon nutrition and fungal brown spot disease. *Canadian Journal of Plant Science*. v. 73, p. 969–975. 1993.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: [www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em 30 de janeiro de 2019.

MATHRE, D.E. Compedium of barley diseases. Second edition. APS Press. **The American Phytopathological Society**. 90p. 1997.

MARSCHNER, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. **London: Academic Press**. 2012.

MAUDE, R. B. Seed borne diseases and their control: principles and practice. **CAB INTERNATIONAL**. Wallingford, UK. p280. 1996.

McGRANN, G.R.D.; YOXALL, T.; PATERSON, L.J.; TAYLOR, J.M.G.; BIRMPILIS, I.G.; WALTERS, D.R.; HAVIS, N.D. Control of light leaf spot and clubroot in brassica crops using defence elicitors. *Eur. J. Plant Pathol*. v. 148, p. 447–461. 2017.

McLEAN MARK S., HOLLAWAY GRANT J. Control of net form of net blotch in barley from seed- and foliar-applied fungicides. *Crop and Pasture Science*. v. 70, p. 55-60. 2019.

McMULLEN, M., JONES, R., GALLENBERG, D., Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*. v. 81, p. 1340-1348. 1997.

MERSIE, W.; MEBRAHTU, T.; RANGAPPA, M. Response of corn to combinations of atrazine, propyl gallate and ozone. *Environ. Exper. Bot*. v. 30, p. 443–449. 1990.

MEIER U. Growth stages of mono and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. **Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry**. 2. Edition, 2001.

MILANI, J. & MALEKI, G. Effects of processing on mycotoxin stability in cereals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 94, p. 2372-2375. 2014.

MINELLA, E. Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira nas safras 2017 e 2018 / XXXI **Reunião Nacional de Pesquisa de Cevada**, Guarapuava, PR, 18 a 19 de abril de 2017. Editada por Euclides Minella. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2017.

MIRALLES, D.J., RICHARDS, R.A., SLAFER, G.A. Duration of stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. **Aust. J. Plant Physiol.** v. 27, p. 931–940. 2000.

MITANI, N., CHIBA, Y., YAMAJI, N., MA, J. F. Identification and characterization of maize and barley Lsi2-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. **Plant Cell**. v. 21, p. 2133–2142. 2009.

NAVARRO, S.; VELA, N.; PÉREZ, G.; NAVARRO, G. Effect of sterol inhibiting (SBI) fungicides on the fermentation rate and quality of young ale beer. **Food Chem**. v. 126, p. 623–629. 2011.

NUTTER, F.W., PEDERSON Jr., V.D., FOSTER, A.E. Effect of inoculations with *Cochliobolus sativus* at specific growth stages on grain yield and quality of malting barley. **Crop Science**. v.25, p. 933-938, 1985.

PAZDIORA, P. C.; DORNELLES, K. R.; FORCELINI, C. A.; DEL PONTE, E. M.; DALLAGNOL, L. J. Silicon suppresses tan spot development on wheat infected by *Pyrenophora tritici-repentis*. **European journal of plant pathology**. v. 150, p. 49-56, 2018.

PEREIRA, V. L., FERNANDES, J. O., CUNHA, S. C. Mycotoxins in cereals and related foodstuffs: a review on occurrence and recent methods of analysis. **Trends in Food Science & Technology**. v. 36, p. 96-136. 2014.

PETIT, A.N. et al. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. **Photosynthesis Research**. v.111, p.315–326, 2012.

POWELL, J.J.; MCNAUGHTON, S.A.; JUGDAOHSINGH, R.; ANDERSON, S.; DEAR, J.; KHOT, F.; MOWAT, L.; GLEASON, K.L.; SYKES, M.; THOMPSON, R.P.H., BOLTON-SMITH, C. E HODSON, M.J. Br. **J. Nutr.** v. 94, p. 804- 812. 2005.

REINERT, R.A.; SPURR JR., H.W. Differential effect of fungicides on ozone injury and brown spot disease of tobacco. **J. Environ. Quality**. v. 1, p. 450–452. 1972.

REIS, E. M.; AGOSTINI, V. A.; MENDES, C.; ECCO, M. Quantificação de danos associados com a mancha em rede causada por *Drechslera teres*. **Fitopatologia Brasileira**, v.24, p.320. 1999.

REIS, E.M., HOFFMANN, L. L., BLUM, M.M.C. Modelo do ponto crítico para estimar danos causados pelo oídio em cevada. **Fitopatologia Brasileira**. v.27, p.644-646, 2002.

REIS, E. M. & CASA, R. T. Doenças dos Cereais de Inverno: diagnose, epidemiologia e controle. **2 ed. Rev. atual. Lages: Graphel**. 176p. 2007.

REIS, E.M., REIS, A.C., FORCELINI, C.A., **Manual de fungicidas: guia para controle químico de plantas**. 5.ed. rev. e ampliado. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 153 p. 2007.

RODRIGUES, F. A., DALLAGNOL, L. J., DUARTE, H. S. S., DATNOF, E. Silicon control of foliar diseases in monocots and dicots. In: Rodrigues F., Datnoff L. (eds) **Silicon and Plant Diseases**. Springer, Cham. p. 67-108. 2015.

ROY, J. K., SMITH, K. P., MUEHLBAUER, G. J., CHAO, S. M., CLOSE, T. J., STEFFENSON, B. J. Association mapping of spot blotch resistance in wild barley. **Molecular Breeding**. v. 26, p. 243–256. 2010.

SCOTT, P. M. Mycotoxins transmitted into beer from contaminated grains during brewing. **Journal of AOAC International**. v. 79, p. 875-882. 1996.

SCHULTE, D.; CLOSE, T. J.; GRANER, A.; LANGRIDGE, P.; MATSUMOTO, T.; MUEHLBAUER, G.; SATO, K.; SCHULMAN, A. H.; WAUGH, R.; WISE, R.

P.; STEIN, N. The international barley sequencing consortium at the threshold of efficient access to the barley genome. **Plant Physiol.** v.149, p.142-147. 2009.

SEEBOLD, K. W., KUCHAREK, T. A., DATNOFF, L. E., CORREA-VICTORIA, F. J., MARCHETTI, M. A. The influence of silicon on components of resistance to blast in susceptible, partially resistance, and resistant cultivars of rice. **Phytopathology.** v. 91, p. 63–69. 2001.

SHANER, G. Effect of environment on fungal leaf blights of small grains. **Annual Review Phytopathology,** v.19, 273-296. 1981.

SHEWRY, P. R., ULLRICH, S.E. Barley chemistry and technology. **AACC International,** Inc. Published 1993. Second Edition. 2014.

SIEROTZKI, H & SCALLIET, G. A Review of Current Knowledge of Resistance Aspects for the Next-Generation Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicides. **Phytopathology.** v. 103, n. 9, p. 880-887. 2013.

ALI, S., MUHAMMAD, A. F., TAHIRA, Y., SABIR, H., MUHAMMAD, S. A., FARHAT, A., SAIMA, A. B., GUOPING, Z. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety.** v. 89, p. 66–72. 2013.

SHANER, G., & R. E. FINNEY. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology.** v. 67: p. 1051-1056. 1977.

SIVANESAN, A. Graminicolous species of *Bipolaris*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Exserohilum* and their teleomorphs. **CAB. International Mycological Institute. Mycological Papers,** n.158, p.261.1987.

SMEDEGAARD-PETERSEN, V. & STOLEN, O. Effect of energy-requiring defense reactions on yield and grain quality in a powdery mildew-resistant barley cultivar. **Phytopathology.** v.71, p.396-399. 1981.

SMITH, J., GRIMMER, M., WATERHOUSE, S., PAVELEY, N. Quantifying the non-fungicidal effects of foliar applications of fluxapyroxad (Xemium) on

stomatal conductance, water use efficiency and yield in winter wheat. **Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.** v. 78, p. 523–535. 2013.

SOOVÄLI, P. & KOPPEL, M. Efficacy of fungicide tebuconazole in barley varieties with different resistance level. **Agric. Food Sci.** v. 19, p. 34–42. 2010.

STEFFENSON, B. Spot Blotch. In: Mathre, D.E. (Ed.), Compendium of Barley Diseases, second ed. **The American Phytopathological Society**, St. Paul, Minnesota, p.35-36. 1997.

STETKIEWICZ, S., BURNETT F., ENNOSC R., e TOPPA C. The impact of fungicide treatment and Integrated Pest Management on barley yields: Analysis of a long-term field trials database. **European Journal of Agronomy.** v. 105, p. 111–118. 2019.

TAN, K.; OLIVER, R. P.; SOLOMON, P. S.; MOFFAT, C. S. Proteinaceous necrotrophic effectors in fungal virulence. **Funct Plant Biol.** v.37, p.907-912. 2010.

VAN, B. J., DE VLEESSCHAUWER, D., E HOFTE, M. Towards establishing broad spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **J. Exp. Bot.** v. 64, p. 1281–1293. 2013.

VARGA, E., MALACHOVA, A., SCHWARTZ, H., KRŠKA, R., BERTHILLER, F. Survey of deoxynivalenol and its conjugates deoxynivalenol-3-glucoside and 3-acetyldeoxynivalenol in 374 beer samples. **Food Additives & Contaminants Part A.** v. 30, p. 137-146. 2013.

VINCELLI, P. QoI (Strobilurin) Fungicides: Benefits and Risks. **The Plant Health Instructor.** DOI: 10.1094/PHI-I-2002-0809-02. 2002.

VIVANCOS, J., LABBE, C., MENZIES, J.G., E BELANGER, R.R. Silicon-mediated resistance of Arabidopsis against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway. **Mol. Plant Pathol.** v. 16, p. 572–582. 2015.

WALTERS, D.R.; HAVIS, N.D.; SABLON, C.; WALSH, D.J. Possible trade-off associated with the use of a combination of resistance elicitors. **Physiol. Mol. Plant Pathol.** v. 75, p. 188–192. 2011a.

WALTERS, D.R.; PATERSON, L.; SABLON, C.; WALSH, D.J. Existing infection with *Rhynchosporium secalis* compromises the ability of barley to express induced resistance. **Eur. J. Plant Pathol.** v. 130, p. 73–82. 2011b.

WALTERS, D. R., AVROVA, A., BINGHAM, I. J., BURNETT, F. J., FOUTAINE, J., HAVIS, N. D., HOAD, S., HUGHES, G., LOOSELEY, M., OXLEY, S. J. P., RENWICK, A., TOPP, C. F. E., NEWTON, A. C. Control of foliar diseases in barley: towards an integrated approach. **Eur J Plant Pathol.** v. 133, p. 33–73. 2012.

WEGULO, S.N.; BAENSIGER, P.S.; NOPSA, J.H.; BOCKUS, W.W.; HALLEN-ADAMS, H. Management of *Fusarium* head blight of wheat and barley. **Crop Prot.** 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. **J Plant Nutr Soil Sci.** v. 168, p.269–274. 2005.

WU, Y, X. & VON TIEDEMANN, A. Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone. **Environmental Pollution** v. 116, p. 37–47. 2001.

ZEYEN, R. J.; AHLSTRAND, G. G.; CARVER, T. L. W. X-ray microanalysis of frozen-hydrated, freeze-dried, and critical point dried leaf specimens: determination of soluble and insoluble chemical elements at *Erysiphe graminis* epidermal cell papilla sites in barley isolines containing MI-o and ml-o alleles. **Can. J. Bot.** v.71, p.284-296. 1993.

ZHANG, G., CUI, Y., DING, X., DAI, Q. Stimulation of phenolic metabolism by silicon contributes to rice resistance to sheath blight. **J. Plant Nutr. Soil Sci.** v. 176, p. 118–24. 2013.

