

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**Ferrugem-asiática da soja: interações entre cultivares e volumes de calda no controle da doença e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**

Bianca de Moura

Passo Fundo

2018

Bianca de Moura

**Ferrugem-asiática da soja: interações entre cultivares e volumes de calda no controle da doença e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de doutor em Agronomia.

Orientador:

Walter Boller

Coorientador:

Carolina Cardoso Deuner

Colaborador:

Erlei Mello Reis

Passo Fundo

2018

CIP – Catalogação na Publicação

---

M929f Moura, Bianca de

Ferrugem-asiática da soja: interações entre cultivares e volumes de calda no controle da doença e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas. / Bianca de Moura. – 2018.

[118] f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Walter Boller.

Coorientadora: Profa. Dra. Carolina Cardoso Deuner.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2018.

1. Soja – Doenças. 2. Ferrugem asiática – Controle.  
3. Plantas – Efeito dos fungicidas. 4. *Phakopsora pachyrhizi*.  
I. Boller, Walter, orientador. II. Deuner, Carolina Cardoso, coorientadora. III. Título.

CDU: 633.34

## ATA DE DEFESA DE TESE



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a tese

**"Ferrugem-asiática da soja: interações entre cultivares e volumes de calda no controle da doença e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas".**

Elaborada por

Bianca de Moura

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
"Doutora em Agronomia – Área de Produção e Proteção de Plantas"

Aprovada em: 13/04/2018  
Pela Comissão Examinadora

**Dr. Walter Boller**  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientador

**Dr. Laércio Luiz Hoffmann**  
Syngenta

**Dra. Carolina Cardoso Deuner**  
Universidade de Passo Fundo

**Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi**  
Coordenador PPGAgro

**Dr. Erlei Melo Reis**  
Agro Service

**Dr. Hélio Carlos Rocha**  
Diretor da Faculdade de Agronomia e Medicina  
Veterinária, Universidade de Passo Fundo

## **DEDICATÓRIA**

À filha Elisa de Moura Barber, a quem Deus me concedeu os cuidados, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, nosso Pai, pela graça da vida e todas as oportunidades a mim oferecidas. Agradeço também aos meus pais, Zilda Jerônimo de Moura e Carlos de Moura, pelo zelo e cuidado sempre prestados a mim. Sem vocês nada seria possível.

Agradeço ao meu marido Wesley T. Barber, companheiro leal e otimista, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e auxiliando naquilo que fosse preciso.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Walter Boller, pela excelência na orientação, sabedoria indiscutível compartilhada, humildade, paciência, otimismo e principalmente, pela amizade verdadeira. Agradeço também aos meus coorientadores, Professores Dra. Carolina C. Deuner e Dr. Erlei M. Reis, por sempre terem me auxiliado, sanando minhas dúvidas e compartilhando suas experiências e conhecimento.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Fitopatologia, Cinara Cardoso, Elaine Deuner e Paulo Tironi, pela amizade e ajuda oferecida todas as vezes em que necessitei. Também às estagiárias Caroline Giongo, Gabriela Ottoni, Laura Dalle Zotte Machado e Verônica Balejos por toda a seriedade, comprometimento e ajuda oferecida nos momentos mais importantes desse projeto.

Aos colegas de pós-graduação Amanda Chechi, Everson Bilibio Bonfada, Valéria Ghissi Mazzetti e Victória Vieira Bertagnoli, pela amizade, troca de informações e experiências. Vocês ficarão para sempre em meu coração.

E finalmente, à Capes pelo suporte financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, pela qualidade e compromisso oferecidos aos discentes.

## RESUMO

Moura, Bianca de. **Ferrugem-asiática da soja: interações entre cultivares e volumes de calda no controle da doença e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. [118] f. Tese (Doutorado em agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

Desde a constatação da ferrugem-asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*, no Brasil, a aplicação de fungicidas em órgãos aéreos de plantas é a estratégia mais utilizada no manejo e controle da doença. Entretanto, uma redução na eficácia de controle pelos fungicidas utilizados tem sido observada nas últimas safras. Portanto, esse trabalho objetivou comparar o controle da doença em função do volume da calda fungicida e da ponta de pulverização, bem como, a sensibilidade de *P. pachyrhizi* aos fungicidas mais utilizados. Em ensaio conduzido no campo experimental da FAMV/UPF nas safras 2015/2016 e 2016/2017, em delineamento inteiramente casualizado com seis repetições, seis cultivares de soja (três de hábito de crescimento indeterminado e três de hábito determinado) foram submetidas aos tratamentos: aplicações fungicidas com volume de calda de 50 L/ha com pontas de pulverização de jato-cônico vazio, aplicações com volume de calda fungicida de 120 L/ha com pontas de jato-plano simples e plantas sem aplicação (testemunhas). A severidade da ferrugem foi avaliada periodicamente até o final da maturação fisiológica, obtendo-se a evolução da epidemia e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Ainda para as cultivares de hábito indeterminado, na safra 2015/2016, adicionou-se um marcador fluorescente na calda fungicida na terceira aplicação para a determinação da deposição e percentual da cobertura foliolar nas porções superior, média e inferior do dossel das plantas. No final do ciclo, as parcelas foram colhidas para a avaliação do peso de mil sementes e rendimento de grãos. Na safra 2015/2016, a aplicação com volume de calda de 120 L/ha proporciona maior cobertura nos dosséis superior e médio das plantas, superando o controle da doença em 18,6% em relação à aplicação com volume de 50 L/ha. Porém, não há diferenças nos níveis de depósito da calda nas três porções do dossel das plantas. Na safra 2016/2017, há diferença significativa no rendimento de grãos para duas das seis cultivares submetidas à aplicações de fungicidas com diferentes volumes de calda. Em outro ensaio, conduzido no Laboratório de Fitopatologia da FAMV/UPF, avaliou-se a fungitoxicidade de três fungicidas em mistura a 14 isolados de *P. pachyrhizi* de regiões brasileiras produtoras de soja, através da determinação da concentração inibitória ( $CI_{50}$ ) *in vitro*. Para o isolado de Passo Fundo - RS, foi determinada a  $CI_{50}$  dos ingredientes ativos isolados presentes nas misturas. O fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir apresenta-se altamente fungitóxico para nove dos 14 isolados utilizados. Ambas as misturas triplas bixafem + prothioconazol + trifloxistrobina e epoxiconazol + fluxapiróxade + piraclostrobinas são altamente fungitóxicas a 12 dos 14 isolados. Os fungicidas azoxistrobina, epoxiconazol, piraclostrobinas e trifloxistrobina e as misturas piraclostrobinas + fluxapiróxade e prothioconazol + trifloxistrobina, apresentam redução da  $CI_{50}$  para o isolado de Passo Fundo, em relação a trabalhos anteriores. Há alterações, tanto na sensibilidade entre isolados aos ingredientes ativos testados, quanto em relação a valores da  $CI_{50}$  obtidos em trabalhos anteriores.

Palavras-chave: 1. Deposição da calda. 2. Cobertura foliolar. 3. Severidade da ferrugem. 4. Fungitoxicidade. 5. Alteração da sensibilidade.

## ABSTRACT

Moura, Bianca de. **Asian soybean rust: interactions between cultivars and spray volume for disease control and sensibility of *Phakopsora pachyrhizi* to fungicides.** [118] f. Thesis (Doctor in Agronomy) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

Since the detection of Asian soybean rust, caused by *Phakopsora pachyrhizi*, in Brazil, fungicide application on plants aerial parts has been the most used strategy for disease management and control. However, a reduction in the effectiveness of chemical control has been observed in recent seasons. Therefore, this work aimed to evaluate the control of the Asian soybean rust as a function of fungicide spray volume and nozzles, as well as the sensitivity of *P. pachyrhizi* to the most used fungicides. In an experiment conducted in the experimental field of the FAMV / UPF in the 2015 / 2016 and 2016 / 2017 seasons, in a completely randomized design with six replicates, six soybean cultivars (three with indeterminate growth habit and three with determinate habit) were submitted to the following treatments: fungicide applications with a spray volume of 50 L / ha with hollow cone nozzles, applications with a fungicide spray volume of 120 L / ha with flat fan nozzles and plants without application (Check). The rust severity was evaluated until the end of the physiological maturation to quantify the evolution of the disease and obtain the area under the disease progress curve (AUDPC). Also, for the three indeterminate growth cultivars during the 2015 / 2016 season, a fluorescent marker was added to the third fungicide application, to determine the deposition and percentage of foliar coverage on the upper, middle and bottom portions of the plant canopy. In the 2015 / 2016 season, the application with 120 L / ha spray volume provides greater coverage on the upper and middle canopies, exceeding the application with a volume of 50 L / ha by 18.6% disease control. However, there are no differences in the spray deposit levels on the three portions of the plant canopy. In the 2016 / 2017 season, a significant difference is observed in the grain yield for two of the six cultivars submitted to fungicide applications with different spray volumes. In another experiment, conducted in the Laboratory of Phytopathology at the FAMV / UPF, the fungitoxicity of three fungicide mixtures was evaluated against 14 *P. pachyrhizi* isolates from soybean producing Brazilian regions by determining the inhibitory concentration *in vitro* (IC<sub>50</sub>). For the Passo Fundo - RS isolate, the IC<sub>50</sub> of each active ingredient present in the mixtures was determined. In a completely randomized design with four replicates, fungicides were incorporated in different concentrations in Petri dishes containing the agar-water substrate for further quantification of viable uredospores. The fungicide azoxystrobin + benzovindiflupyr is highly fungitoxic for nine of the 14 tested isolates. Both triple mixtures, bixafem + prothioconazole + trifloxystrobin and epoxiconazole + fluxapiraxade + pyraclostrobin are highly fungitoxic to 12 of the 14 isolates. The fungicides azoxystrobin, epoxiconazole, pyraclostrobin and trifloxystrobin and the mixtures pyraclostrobin + fluxapiraxade and prothioconazole + trifloxystrobin show a reduction in the IC<sub>50</sub> for the Passo Fundo isolate, compared to previous studies. There are alterations, both in the sensitivity between isolates to the active ingredients tested, and in relation to IC<sub>50</sub> values obtained with previous studies.

Keywords: 1. Spray deposition. 2. Foliar coverage. 3. Rust severity. 4. Fungitoxicity. 5. Sensibility alteration.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1	<i>A soja no Brasil e no mundo</i>	15
2.2	<i>A ferrugem-asiática-da-soja</i>	16
2.3	<i>Controle químico da ferrugem-asiática da soja</i>	18
2.4	<i>Resistência de fungos a fungicidas</i>	19
2.4.1	Monitoramento <i>in vitro</i> de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> a fungicidas	21
2.5	<i>Tecnologia de aplicação de fungicidas</i>	23
2.5.1	O volume de calda por hectare	25
2.5.2	Pontas de pulverização	26
2.5.3	A arquitetura de plantas	28
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I</b>	<b>30</b>
3.1	<i>Resumo</i>	30
3.2	<i>Introdução</i>	30
3.3	<i>Material e Métodos</i>	32
3.4	<i>Resultados e Discussão</i>	40
3.5	<i>Conclusões</i>	55
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II</b>	<b>56</b>
4.1	<i>Resumo</i>	56
4.2	<i>Introdução</i>	56
4.3	<i>Material e Métodos</i>	59
4.4	<i>Resultados e Discussão</i>	65
4.5	<i>Conclusões</i>	74
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III</b>	<b>75</b>
5.1	<i>Resumo</i>	75
5.2	<i>Introdução</i>	75
5.3	<i>Material e Métodos</i>	78
5.4	<i>Resultados e Discussão</i>	82
5.5	<i>Conclusões</i>	92
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b>	<b>93</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>97</b>

---

<b>APÊNDICES</b>	<b>104</b>
<i>Apêndice I Fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir - safra 2015/2016</i>	<i>104</i>
<i>Apêndice II Fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir - safra 2016/2017</i>	<i>106</i>
<i>Apêndice III Fungicida bixafem + protioconazol + trifloxistrobina - safra 2015/2016</i>	<i>108</i>
<i>Apêndice IV Fungicida bixafem + protioconazol + trifloxistrobina - safra 2016/2017</i>	<i>110</i>
<i>Apêndice V Fungicida epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina safra 2015/2016</i>	<i>112</i>
<i>Apêndice VI Fungicida epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina safra 2016/2017</i>	<i>114</i>
<i>Apêndice VII Inibição da germinação de uredosporos do isolado de Phakopsora pachyrhizi de Passo Fundo, RS por 11 fungicidas</i>	<i>116</i>

## 1 INTRODUÇÃO

Com um terço de participação na balança comercial do agronegócio brasileiro, a soja [*Glycine max* (Merrill) L.] coloca o Brasil na segunda posição do ranking mundial de produção da oleaginosa desde a safra 2007/2008. Em uma área cultivada de 35 milhões de hectares, com produtividade média de 3.200 kg/ha (USDA, 2018), a produtividade de soja é diretamente afetada por fatores bióticos e abióticos. Dos fatores bióticos que podem impactar negativamente o rendimento das sementes de soja no Brasil, a ferrugem-asiática (FAS) é o de maior destaque.

Causada pelo fungo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi* (Sydow & Sydow, 1914), a ausência de inverno rigoroso possibilitando o cultivo de leguminosas ao longo do ano, faz do território brasileiro um ambiente propício ao desenvolvimento e manutenção da doença. Altamente agressiva, a FAS causa desfolha precoce em plantas, comprometendo a formação e o enchimento de grãos, o que gera danos que podem superar 80% da produtividade.

O primeiro relato da ocorrência da FAS no Brasil, data do ano de 2002. Já naquela época, com base no histórico da agressividade da doença nos países com sua presença, adotou-se o controle químico baseado na aplicação de fungicidas em órgãos aéreos das plantas como medida de controle em todos os estados brasileiros onde se cultivava soja. No início, as aplicações eram realizadas principalmente com fungicidas do grupo químico triazol (inibidor da desmetilação do esterol - IDM) e misturas de IDM e estrobilurinas (inibidor da quinona externa - IQe). Contudo, o uso contínuo de fungicidas com o mesmo modo de ação favorece o aumento da população do fungo resistente, levando à redução ou até mesmo a perda da sensibilidade do patógeno à molécula. De modo que, a partir da safra 2007/2008 foi observada a redução no controle da FAS pelos IDM, seguida da redução no controle pelos IQe na safra 2013/2014. Dessa forma, na safra 2013 iniciou-se a aplicação de fungicidas compostos da mistura de

carboxamidas (inibidor da succinato desidrogenase - ISDH) e IQe. No entanto, já na safra 2016/2017 foi confirmada uma alteração no gene *SDH* de isolados de *P. pachyrhizi*, resultando na redução de controle das FAS pelas carboxamidas.

Diante da constatação de redução da sensibilidade de *P. pachyrhizi* aos fungicidas, o monitoramento da resistência é uma ferramenta indispensável na manutenção da eficiência do controle químico no manejo da FAS. Através da determinação da concentração do fungicida que inibe 50% da germinação de esporos ( $CI_{50}$ ) *in vitro*, é possível quantificar o nível de fungitoxicidade da molécula ao patógeno. Para que uma substância seja considerada altamente fungitóxica, o valor de sua  $CI_{50}$  não deve ultrapassar 1,0 mg/L. Já para aquelas cuja  $CI_{50}$  é maior que 1,0 mg/L e menor que 50 mg/L, essas são classificadas como moderadamente fungitóxicas. E finalmente, substâncias que apresentam  $CI_{50}$  maior que 50 mg/L, são classificadas como atóxicas para o fungo (EDGINGTON; KLEW, 1971). Desse modo, a classificação proposta pode ser um parâmetro para a determinação de alterações e variações na sensibilidade de isolados de *P. pachyrhizi* provenientes de diferentes áreas. Bem como, para a detecção de falhas no controle da FAS aos fungicidas comumente utilizados.

Outro parâmetro de importância na eficácia de controle do fungicida, refere-se à tecnologia de aplicação. Entende-se como tecnologia de aplicação, a divisão da calda fitossanitária em partículas líquidas (gotas) através do processo de pulverização, o qual distribui as gotas que carregam os ingredientes ativos em direção ao alvo, concluindo o mecanismo de aplicação. Sendo assim, para a obtenção do sucesso em uma aplicação fungicida, é necessário que ocorra a deposição de gotas do produto ativo, na quantidade correta, sobre o sítio de infecção da doença. No caso da FAS, doença que tem início na maioria das vezes nas folhas do terço inferior das plantas em estádios fenológicos próximos ao florescimento, devem ser adotadas técnicas de aplicação que promovam a total cobertura do dossel, com atenção especial às folhas da porção inferior das plantas. Nesse contexto, fatores como as condições ambientais no momento da aplicação, a composição da calda fitossanitária, o modelo da ponta de pulverização, a pressão de operação do pulverizador, a velocidade da máquina aplicadora, a altura da barra e o volume da pulverização, são imprescindíveis para uma aplicação bem sucedida. Desses

fatores, o volume de calda por hectare e a ponta de pulverização, são aqueles de maior influência no resultado da aplicação.

Uma maneira de reduzir o custo de uma aplicação aumentando a autonomia do pulverizador é a adoção de baixos volumes de calda. Contudo, como as variáveis volume de calda por hectare e espectro de gotas são diretamente proporcionais, em pulverizações hidráulicas com baixo volume de calda, deve-se utilizar pontas de pulverização que produzem gotas de espectro fino a muito-fino. Gotas de espectro fino, além de possuírem maior capacidade de penetração no interior do dossel da cultura, fornecem maior cobertura do alvo. Entretanto, são mais propensas à perdas por deriva e evaporação. Portanto, pontas de pulverização produtoras de gotas de espectro fino devem ser preferidas em aplicações hidráulicas realizadas sob condições ambientais adequadas, evitando-se o uso sob condições de temperatura do ar superior a 30 °C, umidade relativa do ar inferior a 50% e velocidade do vento acima de 10 km/h.

Além dos fatores ambientais, da calda fitossanitária e da aplicação em si, outra variável que exerce influência na qualidade da aplicação é a arquitetura de plantas. Em soja, quanto maiores o índice de área foliar (IAF), o grau de ramificação e a estatura das plantas, maior a dificuldade de penetração da calda fitossanitária no interior do dossel da cultura. Além disso, a maneira como os componentes da planta estão conectados, o tamanho e a distribuição das folhas, os comprimentos dos ramos e internódios, interferem na deposição e cobertura da calda pulverizada. Portanto, em aplicações de fungicidas para o controle da FAS, a arquitetura de plantas de soja interfere na penetração das gotas da calda no interior do dossel da cultura.

Diante da problemática aqui apresentada, o presente trabalho objetivou: i) comparar o controle da FAS e a produtividade em função do volume da calda e da ponta de pulverização; ii) confrontar o controle da FAS e a produtividade em função da deposição e cobertura de gotas da calda fungicida aplicada em dois volumes de calda com pontas de pulverização distintas e; iii) avaliar a fungitoxicidade, através da determinação da  $CI_{50}$  *in vitro* de três fungicidas compostos a 14 isolados de *P. pachyrhizi* de regiões brasileiras produtoras de soja; determinando também, para o

isolado proveniente de Passo Fundo - RS, a  $CI_{50}$  dos ingredientes ativos presentes nesses fungicidas de forma isolada e, de uma mistura tripla em fase de lançamento comercial.

Esse trabalho está organizado de forma que nesta Introdução está apresentada a problemática, a justificativa, a hipótese e os objetivos. O próximo componente deste trabalho – Revisão da Literatura – apresenta aspectos conceituais sobre o sujeito (*P. pachyrhizi*) e os objetos da pesquisa (volumes de calda e pontas de pulverização e fungitoxicidade de fungicidas), com as principais descobertas sobre o assunto ocorridas nos últimos anos nas principais revistas científicas da área. Nos Capítulos I e II são discutidos os resultados de um experimento realizado na safra 2015/2016, sendo o primeiro sobre o controle da FAS e rendimento de grãos de seis cultivares de soja (três com hábito de crescimento determinado e três com hábito indeterminado) submetidas à aplicações de fungicidas com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. O segundo experimento, compara a deposição e a cobertura foliolar da calda fungicida, em três porções do dossel de três cultivares de soja de hábito de crescimento indeterminado. Somente o primeiro experimento foi repetido na safra 2016/2017. O Capítulo 3 apresenta a  $CI_{50}$  de fungicidas a isolados de *P. pachyrhizi* de diferentes regiões. Em seguida, apresenta-se a Conclusão Geral a respeito dos três experimentos e, por fim, o trabalho é encerrado com as Considerações Finais.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 A soja no Brasil e no mundo**

A soja é uma oleaginosa da família Fabaceae originária da região da Manchúria, China (HYMOWITZ, 1970). Semeada há pelo menos cinco mil anos, é uma das culturas mais antigas e mais importantes do mundo, assumindo a quarta posição na produção e consumo mundial (FAOSTAT, 2016).

Introduzida no Brasil no ano de 1882, no estado da Bahia, o cultivo de soja só teve início no ano de 1914 no município de Santa Rosa, RS (SANTOS, 1988), nesse município, em 1941, foi instalada a primeira indústria processadora de soja do país. Em 1949, com produção de 25 mil toneladas, o Brasil foi reconhecido pela primeira vez como produtor de soja nas estatísticas internacionais (VIDOR et al., 2004).

O Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial de soja desde a safra 2007/2008, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Com 35 milhões de hectares cultivados na safra 2017/2018, a estimativa de produção é de 112 milhões de toneladas, o que representa 32,3% da produção mundial da oleaginosa (USDA, 2018, p. 24).

A produtividade da soja é diretamente afetada por fatores bióticos e abióticos. Dos fatores bióticos que podem impactar negativamente o rendimento das sementes de soja no Brasil, a FAS é o de maior destaque (HIRAKURI, 2014). Dessa forma, faz-se necessário o emprego constante de medidas de manejo e controle da doença como forma de minimizar danos de produção.

## 2.2 A ferrugem-asiática-da-soja

A FAS tem como agente causal *Phakopsora pachyrhizi* (Sydow & Sydow, 1914), um fungo do filo Basidiomycota, classe Basidiomycetes, ordem Uredinales e família Phakopsoraceae (REIS; CASA, 2012, p. 75). Descrita pela primeira vez no Japão em 1902 num hospedeiro da família Fabaceae denominado jicama (*Pachyrhizus erosus* L.), a FAS surgiu em caráter epidêmico em vários países do sudoeste da Ásia por volta de 1914, sendo constatada em Porto Rico em 1976 (VAKILI; BROMFIELD, 1976). Já no ano de 1990 teve sua ocorrência confirmada no continente africano, em 1994 no Havaí, em 1998 em Uganda, Quênia, Ruanda e em março de 2001, foi detectada na África do Sul, assumindo caráter epidêmico em 2002. Na América do Sul, o primeiro relato da presença da FAS foi no Paraguai em março de 2001 (MOREL, 2001). Em maio do mesmo ano foi confirmada no Brasil (COSTAMILAN; BERTAGNOLLI; YORINORI, 2002; REIS; CASA; MICHEL, 2002).

Os primeiros sintomas da doença são pequenas lesões foliares, de coloração verde-acinzentada à castanha. Posteriormente, surgem pequenas protuberâncias de coloração castanha na face abaxial das folhas (urédias), as quais liberam esporos minúsculos e hialinos (GODOY et al., 2016). À medida em que as lesões aumentam, o tecido da folha ao redor das urédias adquire coloração marrom, formando lesões em ambas as faces das folhas. Em situações de alta severidade da doença, ocorre amarelecimento seguido de abscisão das folhas atacadas. Assim, o estágio final de uma epidemia de FAS numa lavoura, caracteriza-se por amarelecimento geral da folhagem com intensa desfolha (REIS; BRESOLIN; CARMONA, 2006, p. 10).

Temperaturas do ar entre 15 e 28 °C, tendo como temperatura ótima 22,5 °C e longo período de molhamento foliar, são fatores que favorecem a infecção, sobrevivência e multiplicação de *P. pachyrhizi* (BLUM, 2009; MOURA, 2015). Dessa forma, as condições ambientais em grande extensão do território brasileiro, beneficiam tanto o cultivo da soja ao longo do ano, disponibilizando hospedeiros para a manutenção constante do inoculo de ferrugem, quanto o desenvolvimento do patógeno (MOURA et al., 2017).



Altamente agressiva, a FAS causa danos que podem superar 80% do rendimento de grãos (YORINORI et al., 2005). Em um levantamento baseado em danos decorrentes da ocorrência da FAS no Brasil no período de 2002 a 2009, foi estimada uma redução na produção de 34,2 milhões de toneladas. Esses 34,2 milhões de tonelada representam aproximadamente um terço da produção anual brasileira. Levando em consideração a cotação média da saca de 60 kg de soja e o câmbio médio praticado no período, tais danos geraram perda de US\$7,95 bilhões na economia nacional (YORINORI et al., 2010). Já em outro levantamento, considerando danos em produtividade adicionado ao custo médio dos produtos e da aplicação para o manejo da FAS, somente na safra 2013/2014 os prejuízos gerados pela doença somaram US\$ 2,20 bilhões (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2016).

O manejo integrado da FAS está baseado nos controles cultural, genético e químico. Por se tratar de um fungo biotrófico, as estratégias de controle cultural incluem a remoção de plantas voluntárias de soja e de hospedeiros secundários, como plantas de kudzu (*Pueraria montana* var. *lobata* Willd.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), a ausência do cultivo de soja na entressafra agrícola com a prática do vazio sanitário e antecipação do plantio de cultivares com ciclo de maturação precoce (EMBRAPA SOJA, 2013). O controle genético baseia-se no plantio de cultivares com o gene de resistência *Inox*®, o qual assegura resistência vertical ao fungo *P. pachyrhizi*, de forma a não descartar a necessidade da realização de uma a duas aplicações de fungicidas por ciclo da cultura, para o controle do patógeno. E finalmente o controle químico, que está baseado na aplicação de fungicidas nos órgãos aéreos de plantas de soja. De todas as estratégias de manejo da FAS mencionadas, o controle químico é a mais importante para a manutenção da severidade da doença abaixo do nível de dano econômico (KLOSOWSKI et al., 2016), sendo dessa forma, a mais utilizada desde a detecção da doença no Brasil (YORINORI et al., 2005).

### 2.3 Controle químico da ferrugem-asiática da soja

No Brasil, a aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática teve início na safra de 2002/2003 com produtos formulados por fungicidas do grupo químico triazol (IDM), estrobilurina (IQe) e misturas compostas desses dois grupos (REIS et al., 2014, p. 14). Atualmente, dos 48 fungicidas para o controle da FAS com registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 62,5% apresentam IDM em sua composição, 62,5% IQe e 19,0% contêm carboxamida (ISDH) em mistura a ingredientes ativos de diferentes grupos químicos (AGROFIT, 2018).

Desenvolvidos na década de 1980, os fungicidas do grupo químico triazol foram os primeiros inibidores da desmetilação do esterol (IDM) (RUSSELL, 2005). Com ação sítio-específica, os IDM se ligam à enzima 14  $\alpha$ -desmetilase (gene *CYP51*), inibindo a biossíntese do ergosterol através da remoção do grupo metila C14 do 24-metilenodihidrolanosterol (XAVIER et al., 2015). A ausência do ergosterol danifica a permeabilidade das membranas celulares do fungo, resultando na perda dos elementos intracelulares. São fungicidas com ação curativa e erradicante (REIS; REIS; CARMONA, 2010, p. 59). Dessa forma, a ocorrência de mutação genética ou superexpressão no gene *CYP51*, caracterizada pela multiplicação da proteína, confere redução na sensibilidade aos IDM. Além dos triazóis, são inibidores da desmetilação os fungicidas dos grupos químicos: piperazina, piridinas, pirimidina, imidazol e triazolintiona (FRAC, 2017).

Quanto ao mecanismo de ação do grupo químico estrobilurina, que atua no complexo III da cadeia de elétrons do citocromo b (gene *CYTB*), esse se dá através da inibição da quinona externa da mitocôndria (IQe). Essa inibição bloqueia a transferência de elétrons do citocromo b para o citocromo c1, paralisando a produção de ATP (GISI; SIEROTZKI, 2008; FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010). Por se tratar do único grupo químico com ação sítio-específica no sítio Qe, as estrobilurinas são classificadas como grupo de alto risco de desenvolvimento de resistência (FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010).

O grupo carboxamida (ISDH), cujo desenvolvimento ocorreu em 1961, age no complexo II da cadeia de elétrons na mitocôndria (gene *SDH*), paralisando a respiração através da inibição da oxidação da succinato desidrogenase. Devido ao estreito espectro de controle na época do seu lançamento, esse grupo foi primeiramente utilizado no tratamento de sementes para controlar basidiomicetos (SIEROTZKI; SCALLIET, 2013). Somente em 2003 foi lançada a primeira carboxamida com indicação para aplicação em órgãos aéreos das plantas (AVENOT; MICHAILIDES, 2007). A partir de então, na última década, vários fungicidas ISDH, pertencentes a diferentes grupos químicos, chegaram ao mercado. São eles: fenil-benzamida, feniltiofano amida, piridinil etil-benzamida, furano carboxamida, N-metoxi-pirazol carboxamida, pirazol carboxamida, oxatin-carboxamida, tiazol carboxamida e piridina carboxamida (FRAC, 2017).

O controle desempenhado por fungicidas de sítio-específico, como os ISDH, IDM e IQe, sofre maior impacto ao desenvolvimento da resistência em fungos fitopatogênicos. Nesse contexto, a aplicação de fungicidas sítio-específico em mistura com fungicidas de outros grupos químicos, constitui uma estratégia fundamental no manejo da resistência (SIEROTZKI; SCALLIET, 2013). Além disso, é importante que as recomendações de uso de fungicidas sigam as orientações adequadas quanto a dose aplicada, validade do produto, número e intervalo entre aplicações por safra, evitando o surgimento de resistência.

## **2.4 Resistência de fungos a fungicidas**

A resistência de um fungo a um fungicida é definida como uma alteração genética estável e herdável, que resulta na redução da sensibilidade do patógeno à molécula (FRAC-BRASIL, s.d.). De acordo com Roese (2010), há uma tendência de fungos causadores de ferrugens se tornarem mais agressivos com o passar do tempo, porque assim como todo microrganismo, esses têm a capacidade de mutação, sobrevivendo em condições adversas.

O desenvolvimento da resistência de fungos aos fungicidas se dá a partir de mecanismos genéticos e bioquímicos. Dentre eles estão: a alteração do sítio-alvo devido à mutação no gene que o codifica; a redução da absorção ou aumento do efluxo do fungicida - xenofobia; a falta de conversão para o composto ativo; a compensação por meio do aumento da produção da enzima-alvo por superexpressão e o desenvolvimento de vias metabólicas alternativas que não incluem o sítio-alvo do fungicida, como a utilização de respiração alternativa, por exemplo (LEROUX; WALKER, 2011; BRENT; HOLLOMON, 2007; FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010).

A resistência é considerada qualitativa quando envolve a alteração de apenas um gene do patógeno ou um conjunto de genes dominantes (resistência oligonêmica), resultando na ineficácia do fungicida, mesmo quando utilizado em maiores doses que a recomendada. Já a resistência quantitativa, está caracterizada pela alteração de vários genes, resultando na redução gradativa da eficácia do fungicida, podendo essa ser recuperada com a adoção de doses mais elevadas (REIS; REIS; CARMONA, 2010, p. 188-189).

A ocorrência de resistência a fungicidas diferentes, porém afetados por uma mesma mutação gênica, é considerada cruzada (XAVIER et al., 2015). Já resistência múltipla, é aquela que afeta dois ou mais fungicidas com modos de ação diferentes, conferindo a ocorrência de mais que uma mutação genética (REIS; REIS; CARMONA, 2010, p. 189-190).

No Brasil, o monitoramento da eficácia dos fungicidas registrados para o controle da FAS teve início na safra 2003/2004. Através de uma rede de ensaios de campo, tem sido comparada a eficácia dos fungicidas de uso mais frequente no controle da severidade da doença (GODOY et al., 2010). Comparando-se o controle da severidade apresentado pelos fungicidas tebuconazol, ciproconazol, azoxistrobina, azoxistrobina + ciproconazol, picoxistrobina + ciproconazol, trifloxistrobina + protioconazol, picoxistrobina + tebuconazol, piraclostrobina + epoxiconazol + fluxapiróxade na 2016/2017, os oito fungicidas demonstraram redução no controle da severidade em relação à safra 2011/2012. Ainda para os fungicidas tebuconazol,

ciproconazol, azoxistrobina e azoxistrobina + ciproconazol essa redução superou 50% (GODOY et al., 2017; GODOY et al., 2012).

Já o monitoramento da sensibilidade de *P. pachyrhizi* às principais moléculas, teve início no ano de 2006. Esse monitoramento é realizado através de ensaios *in vitro* para a determinação da concentração do fungicida que inibe 50% da germinação de esporos (CI<sub>50</sub>) (BUZZERIO, 2006) e ensaios *in vivo* usando a metodologia de folhas destacadas, que determina a dose efetiva do produto para redução em 50% da severidade da FAS (DE<sub>50</sub>) (SCHERB; MEHL, 2006).

Além dos ensaios em rede para avaliação do controle da severidade e as determinações da CI<sub>50</sub> e DE<sub>50</sub>, análises moleculares para a identificação da ocorrência de mutações no sítio de ação dos principais grupos químicos utilizados para o controle da FAS, têm sido realizadas. Em análise realizada por Schmitz et al. (2014), foram observadas mutações pontuais do gene *CYP51* em isolados de *P. pachyrhizi* (safra 2009/2010) provenientes de diferentes regiões brasileiras produtoras de soja, indicando redução na sensibilidade aos IDM. Em outro ensaio, realizado por Klosowski et al. (2016) para investigar a ocorrência de mutações do gene *CYTB*, códons F129L, G137R e G143A, em isolados de *P. pachyrhizi* (safra 2013/14), 100% dos isolados provenientes dos estados do Mato Grosso e Goiás apresentaram mutação F129L. Ainda para os outros estados, o percentual de mutação F129L foi de 99% em isolados provenientes do Mato Grosso do Sul, 95% em isolados do Paraná e 91% daqueles provenientes de São Paulo, confirmando redução de sensibilidade aos fungicidas IQe. Já em relação ao grupo químico carboxamida (ISDH), isolados de *P. pachyrhizi* das safras 2015/2016 e 2016/2017 apresentaram uma mutação na subunidade C, códon I86F, causa provável da redução da sensibilidade do patógeno ao grupo químico (KLAPPACH, 2017).

#### **2.4.1 Monitoramento *in vitro* de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**

A maior vantagem da realização de trabalhos *in vitro* para a determinação da sensibilidade de *P. pachyrhizi* a fungicidas é que, além da rapidez na obtenção dos

resultados, o custo operacional é menor em comparação a trabalhos *in vivo* (BLUM; REIS, 2013).

Em um ensaio *in vitro* realizado por Blum e Reis (2013) foram determinadas as  $CI_{50}$  de onze fungicidas a um isolado de *P. pachyrhizi* sensível, gerando valores de referência de quatro IQe e sete IDM. O isolado sensível foi obtido a partir de plantas naturalmente infectadas em Passo Fundo, RS na safra 2004/2005. Todos os IQe avaliados, azoxistrobina, picoxistrobina, piraclostrobina e trifloxistrobina, apresentaram valores de  $CI_{50} < 1,0$  mg/L, sendo classificados como altamente fungitóxicos (EDGINGTON; KLEW, 1971). Também os IDM epoxiconazol, metconazol e tebuconazol apresentaram valores de  $CI_{50} < 1,0$  mg/L. Já os IDM, ciproconazol, flutriafol, miclobutanil e triticoconazol, apresentaram valores da  $CI_{50} > 1,0$  mg/L, sendo considerados moderadamente fungitóxicos.

Em trabalho *in vitro* de monitoramento da sensibilidade de isolados de *P. pachyrhizi* provenientes de três regiões brasileiras produtoras de soja (Passo Fundo, RS, Ponta Grossa, PR e Primavera do Leste, MT), Moura, Boller e Deuner (2016) determinaram a  $CI_{50}$  de quatro fungicidas isolados e quatro formulações compostas por misturas de diferentes grupos químicos. Foram determinados os valores da  $CI_{50}$  do IDM epoxiconazol, dos IQe azoxistrobina, piraclostrobina e trifloxistrobina, das misturas de IQe + IDM, piraclostrobina + epoxiconazol e trifloxistrobina + protioconazol e das misturas IQe + ISDH, piraclostrobina + fluxapiraxade e azoxistrobina + benzovindiflupir. Somente a piraclostrobina e a mistura trifloxistrobina + protioconazol apresentaram valores da  $CI_{50}$  inferior a 1,0 mg/L para todos os isolados testados, demonstrando alta fungitoxicidade. Ainda nesse trabalho, foram calculados os fatores de redução da sensibilidade (FRS).

O FRS mede o grau de alteração da sensibilidade de um fungo a um fungicida, sendo representado pela relação entre a  $CI_{50}$  da linhagem atual e a  $CI_{50}$  da linhagem sensível (concentração de referência). Dessa forma, se o FRS for próximo a 1,0 representa que não houve alteração na sensibilidade. Já FRS acima de 1,0 confirma uma redução da sensibilidade do patógeno à molécula (RUSSEL, 2004).

A partir da obtenção dos FRS, Moura, Boller e Deuner (2016) utilizando valores de referência propostos por Blum e Reis (2013), observaram uma redução da sensibilidade dos fungicidas epoxiconazol, piraclostrobina, azoxistrobina e trifloxistrobina. Apesar dessas constatações, somente para o isolado de Primavera do Leste, o epoxiconazol e a piraclostrobina apresentaram FRS próximos a 1,0.

Diante da confirmação da existência de alterações na sensibilidade de isolados de *P. pachyrhizi* a fungicidas comumente utilizados ao longo dos anos, faz-se necessário o constante trabalho de determinação da  $CI_{50}$  das moléculas em uso, monitorando alterações ou até mesmo a perda da sensibilidade do patógeno ao fungicida. Contudo, é importante salientar que alterações da sensibilidade não ocorrem somente em decorrência da utilização repetitiva do mesmo fungicida, mas também da utilização de subdoses ou superdoses e aplicações mal realizadas, ou em momentos inadequados (ROESE, 2010). Dessa forma, a tecnologia de aplicação de fungicidas exerce papel importante não somente na qualidade da aplicação, mas também no manejo da resistência de doenças.

## **2.5 Tecnologia de aplicação de fungicidas**

Define-se tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas como o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a adequada colocação do produto fitossanitário no alvo, na quantidade certa, de forma econômica, no momento correto, evitando ao máximo a contaminação de outras áreas (MATUO, 1990).

A tecnologia de aplicação tem como princípio básico o mecanismo de divisão do líquido a ser aplicado em gotas (processo de pulverização), multiplicando o número de partículas (gotas) que carregam os princípios ativos em direção aos alvos da aplicação (ANTUNIASSI, 2012). Via de regra, três fatores são indispensáveis em aplicações de produtos fitossanitários: a escolha da dose correta do produto a ser utilizado, a escolha do momento oportuno para o controle e a qualidade da aplicação.

A qualidade da aplicação é determinada pela eficiência da pulverização (volume pulverizado e dose do produto), da aplicação em si (quantidade de gotas que atingem o alvo), da absorção pela planta (fatores da própria calda, como pH e adjuvantes, além dos fatores ambientais) e da degradação do produto (LEIVA, 2010). A quantidade de gotas que atingem o alvo, determina a cobertura obtida na aplicação (CUNHA; PERES, 2010).

A cobertura do alvo em uma aplicação "C", é dependente do volume de calda pulverizado, da taxa de recuperação nas folhas (percentual pulverizado que é depositado sobre o alvo) e do fator de espalhamento da calda, em função da área foliar presente na lavoura e, do diâmetro mediano volumétrico das gotas (COURSHEE, 1967). Dessa forma, quanto maior a necessidade de se utilizar gotas maiores, maior deverá ser o volume de calda utilizado.

A necessidade de maior ou menor densidade de gotas por área (impactos/cm<sup>2</sup>) é dependente do modo de ação do defensivo. Uma vez determinado o defensivo a ser utilizado, o volume da calda e o tamanho de gotas devem ser definidos em função da cultura, do índice de área foliar e das condições ambientais no momento da aplicação (ANTUNIASSI, 2012).

No caso específico da FAS, que tem o início da infecção geralmente nas folhas do terço inferior (REIS; CASA, 2012, p. 71) disseminando posteriormente para os outros terços da planta, é necessário que ocorra a deposição do fungicida em todo o interior do dossel da cultura (BOLLER; FERREIRA; COSTA 2011). Portanto, em pulverizações de fungicidas para o controle da FAS, devem-se adotar técnicas de aplicação que promovam adequada cobertura do dossel da planta, com especial atenção às folhas do terço inferior (MOURA et al., 2017).



### 2.5.1 O volume de calda por hectare

Dois fatores são indispensáveis para a obtenção da cobertura da calda fitossanitária sobre o alvo: a taxa de aplicação e o espectro das gotas (DALLA FAVERA, 2012). A taxa de aplicação, que é representada pelo volume de calda por hectare, é diretamente proporcional ao espectro das gotas, esse representado pelo diâmetro mediano volumétrico do impacto das gotas. A cobertura dos alvos em uma aplicação "C" é definida pela fórmula de Courshee (1967):

$$C = 15 \frac{VRK^2}{AD}$$

Sendo: V = volume da aplicação

R = taxa de recuperação da calda nas folhas

K = fator de espalhamento de gotas

A = a área foliar

D = diâmetro mediano de gotas

De acordo com a fórmula, para alcançar boa cobertura em uma aplicação sem trabalhar com elevadas taxas de aplicação, deve-se utilizar adjuvantes redutores da deriva (aumentar a taxa de recuperação - R) e pontas de pulverização que produzam gotas mais finas (ANTUNIASSI, 2012). Ou ainda, adicionar espalhante à calda fitossanitária aumentando o fator de espalhamento "K" através da quebra da tensão superficial.

Para culturas que apresentam elevados IAF, há necessidade da adoção de maiores volumes de calda por hectare, garantindo a cobertura almejada. No entanto, existe uma tendência de se trabalhar com menores taxas de aplicação, pois os volumes praticados na agricultura, em muitos casos, são maiores que aqueles necessários para o controle dos agentes nocivos às plantas (BOLLER; MACHRY, 2007).

A utilização de baixos volumes aumenta a autonomia e a capacidade operacional dos pulverizadores, no entanto, reduzir o volume de calda aplicada, implica na utilização da tecnologia para assegurar a manutenção da eficiência na aplicação (CUNHA et al., 2008). Muitas vezes, a opção de se trabalhar com menores taxas de

aplicação requer escolha de pontas de pulverização que produzem gotas mais finas, aumentando-se os risco de perdas por deriva.

### **2.5.2 Pontas de pulverização**

Responsável pela vazão e o formato do jato aspergido, a ponta de pulverização é o componente mais importante em um bico de pulverização (CHRISTOFOLETTI, 1999; NUYTENS et al., 2007). Além disso, em conjunto com a pressão de trabalho da máquina aplicadora, a ponta de pulverização é a componente que determina o espectro das gotas.

Como as variáveis volume de calda por hectare e espectro de gotas são diretamente proporcionais, em pulverizações hidráulicas com baixo volume de calda, deve-se utilizar pontas que produzem gotas finas. As gotas de espectro fino, além de terem maior facilidade de penetração no interior do dossel das plantas, fornecem maior cobertura do alvo (ANTUNIASSI, 2012; CUNHA et al., 2008). No entanto, em condições de temperatura acima de 30 °C, umidade relativa do ar inferior a 50% e velocidade do vento abaixo de 3 km/h, essas gotas podem ser perdidas por evaporação antes mesmo de atingirem o alvo biológico de interesse (VITÓRIA; LEITE, 2014). Já sob as mesmas condições ambientais, porém com velocidades do vento acima de 10 km/h, essas gotas se perdem facilmente pelo processo de deriva.

Em aplicações de fungicidas com pulverizadores de barra convencional, as gotas com diâmetro inferior a 50 µm (extremamente finas) tendem a se perder por evaporação antes de atingirem o alvos. Já gotas com diâmetro superior a 200 µm (finas à médias) não se perdem tão facilmente. A Tabela 1 mostra a classificação do espectro de gotas e suas indicações propostas pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola e Biológica (ASABE, 2009).

Em trabalho realizado por Cunha et al. (2008) comparou-se a aplicação de fungicidas para o controle da FAS com dois volumes de calda (150 e 200 L/ha) e quatro pontas de pulverização distintas: TVI 80-015 (jato-cônico com indução de ar), JA-2

(jato-cônico vazio), TTJ60 - 110-02 (jato-plano duplo defletor) e DGTJ60-110-02 (jato-duplo plano com pré-orifício), as quais produziam gotas extremamente grossas, finas, médias e finas, respectivamente. De acordo com os resultados observados, não houve diferenças significativas no controle da FAS e no rendimento de grãos. No entanto, a ponta TVI 80-015 (gotas extremamente grossas), proporcionou menor penetração no dossel da cultura. Também foi observada uma tendência da ponta de jato-cônico vazio, a qual produziu gotas finas, proporcionar maior deposição de gotas no terço inferior das plantas (CUNHA et al., 2008).

Tabela 1 - Padrão ASABE S572.1 para mensurar e interpretar a categoria de gotas produzidas por pontas de pulverização

Categoria de gotas	DMV ( $\mu\text{m}$ )	Retenção em folhas úmidas	Indicações de uso	Potencial de deriva
Extremamente fina	<60	Excelente	Exceções	Elevado
Muito fina	61-105	Excelente	Exceções	
Fina	106-235	Muito boa	Boa cobertura	
Média	236-340	Boa	Maioria dos produtos	
Grossa	341-403	Moderada	Herbicidas sistêmicos	
Muito grossa	404-502	Fraca	Herbicidas de solo	
Extra grossa	503-665	Ruim	Fertilizante líquido	
Ultra grossa	>665	Ruim	Fertilizante líquido	Baixo



Fonte: Adaptado de ASABE S571.2 (2009).

Já em outro ensaio conduzido a campo, com quatro cultivares de soja de IAF e estaturas diferentes, Debortoli et al. (2012) avaliaram a deposição de gotas da calda nos três terços de plantas e a área abaixo da curva de progresso da FAS, após três aplicações de fungicidas realizadas com pontas que produziam gotas de espectro muito fino (DMV <119  $\mu\text{m}$ ), fino (119 - 216  $\mu\text{m}$ ), médio (217 - 352  $\mu\text{m}$ ) e grosso (353 - 464  $\mu\text{m}$ ), segundo normas da BCPC (British Crop Production Council). Observou-se que o espectro de gotas fino proporcionou maior deposição de gotas, controle da doença e produtividade para as quatro cultivares de soja. Também foi observado que a cultivar que apresentou maior estatura de plantas, ramificação e IAF no momento das aplicações, apresentou maior limitação à penetração de gotas dos espectros médio e grosso no terço inferior das plantas, o que resultou em menor controle da FAS. Dessa forma, pôde-se concluir que a arquitetura das plantas de soja exerce efeito significativo na cobertura e penetração de

gotas do tratamento fitossanitário no interior do dossel da cultura (DEBORTOLI et al., 2012).

### **2.5.3 A arquitetura de plantas**

A arquitetura de plantas é o conjunto de características que definem a forma, tamanho, geometria e estrutura externa da planta, podendo ser definida, também, como a organização tridimensional da estrutura da planta. Para os órgãos aéreos da planta, a angulação da ramificação, o tamanho, formato e posição das folhas, ramos e órgãos florais constituem a arquitetura de uma planta (REINHARDT; KUHLEMEIER, 2002).

Quanto maior o IAF, maior a dificuldade de penetração em todo o dossel da planta. Além disso, a forma como os componentes da planta são conectados, o comprimento da ramificação e do entrenó, exercem efeito na qualidade da aplicação do tratamento fitossanitário (DALLA FAVERA, 2012).

Plantas de soja podem apresentar hábito de crescimento determinado, indeterminado ou semi-determinado. Cultivares de crescimento determinado não ramificam após o florescimento, produzindo menor número de ramos por planta. Apresentam folhas grandes e o tamanho das folhas do terço superior é semelhante ao tamanho dos outros terços da planta. Já cultivares de hábito de crescimento indeterminado, crescem e se ramificam mesmo após o florescimento, produzindo maior número de ramos, porém com folhas menores. As folhas do terço superior são sempre menores que as folhas do restante da planta (FARIA; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2011). As cultivares de crescimento semi-determinado apresentam tanto características de cultivares de crescimento determinado como características de cultivares de crescimento indeterminado.

Em trabalho anterior comparando a deposição da calda fungicida para o controle da FAS em plantas de soja de diferentes hábitos de crescimento, Moura et al. (2017) observaram que a arquitetura da cultivar de hábito indeterminado, cujos IAF e percentual do IAF no terço superior das plantas foram inferiores em relação à cultivar

de hábito determinado nos momentos das aplicações, não limitou a penetração de gotas do tratamento fitossanitário em nenhum dos horários testados. Os resultados corroboraram com relatos de Debortoli et al. (2012) de que, a arquitetura de plantas exerce influência na penetração da calda fungicida no interior do dossel das plantas.

### 3 CAPÍTULO I

Interações entre cultivares de soja e volumes da calda fungicida para o controle da ferrugem-asiática

#### 3.1 Resumo

A eficácia de uma aplicação fungicida para o controle da ferrugem-asiática da soja (FAS), é dependente da cobertura e da deposição da calda fitossanitária nos sítios de infecção da doença. Nesse contexto, o volume da calda e a ponta de pulverização assumem papel fundamental no sucesso de uma aplicação. Portanto, o trabalho objetivou comparar o controle da FAS e a produtividade em função do volume da calda e da ponta de pulverização. No campo experimental da FAMV/UPF, em delineamento inteiramente casualizado com seis repetições, seis cultivares de soja, sendo três de hábito de crescimento determinado e três de hábito indeterminado, receberam os tratamentos: aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 L/ha com pontas de pulverização de jato-cônico vazio, aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha com pontas de jato-plano simples e plantas sem aplicação (testemunhas). O ensaio foi realizado na safra 2015/2016 e repetido na safra 2016/2017. Dez dias após a aplicação dos fungicidas foi avaliada periodicamente a severidade da FAS até o final da maturação fisiológica, obtendo-se a evolução da epidemia e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). No final do ciclo, as parcelas foram colhidas para a determinação do peso de mil sementes e do rendimento de grãos. Para a severidade da doença, cultivares com maior estatura de plantas apresentam melhor resposta à aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha. Já para as cultivares com estatura média inferior a 0,63 m ao longo do ciclo, não há diferenças no controle proporcionado entre aplicações com os volumes de 50 e 120 L/ha. Na safra 2015/2016, não há diferenças significativas entre os volumes de calda fungicida para o rendimento de grãos entre as seis cultivares testadas.

Palavras-chave: 1. *Phakopsora pachyrhizi*. 2. Ponta de jato-cônico vazio. 3. Ponta de jato-plano simples. 4. Estatura de plantas.

#### 3.2 Introdução

Dentre as doenças que acometem a soja [*Glycine max* (Merrill) L.] no Brasil, a ferrugem-asiática (FAS), causada pelo fungo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi* (Sydow & Sydow, 1914), é a mais destrutiva da cultura, causando danos que impactam significativamente a produção. Por se tratar de uma doença cujo agente causal necessita

de plantas hospedeiras vivas para se multiplicar e sobreviver, a eliminação de plantas voluntárias, hospedeiros secundários, como plantas de kudzu (*Pueraria montana* var. *lobata* Willd.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), a ausência do cultivo de soja na entressafra agrícola e o plantio antecipado de cultivares com ciclo de maturação precoce, são algumas das práticas que quando realizadas em conjunto com as principais medidas de manejo da doença, minimizam a incidência e disseminação do patógeno.

Das estratégias de manejo utilizadas, a aplicação de fungicidas nos órgãos aéreos das plantas é a mais importante para a manutenção da severidade da doença abaixo do nível de dano econômico. Contudo, para a obtenção do sucesso em uma aplicação, faz-se necessário que ocorra a deposição das gotas da calda fungicida na quantidade correta do ingrediente ativo sobre o sítio de infecção da doença. Logo, em pulverizações de fungicidas para o controle da FAS, devem ser adotadas técnicas de aplicação que promovam a cobertura de todo o dossel da planta, com especial atenção às folhas do terço inferior, local onde na grande maioria das vezes a infecção tem início nos estádios fenológicos reprodutivos. Dessa forma, as pulverizações de fungicidas em soja são mais frequentes após o estágio R1. Quando em grande parte das vezes, a cultura atinge o ápice do desenvolvimento vegetativo, dificultando a deposição da calda fungicida no interior do dossel da cultura. Nesse contexto, a arquitetura de plantas exerce efeito significativo na cobertura e penetração das gotas da pulverização.

Em soja, quanto maior o IAF (índice de área foliar), maior a dificuldade de penetração da calda aplicada no dossel inferior das plantas. Além disso, o tamanho e formato das folhas, a forma como os componentes da planta são dispostos, o comprimento do internódio e a angulação das ramificações, exercem efeito na qualidade da aplicação (DEBORTOLI et al., 2012). Ainda os fatores presentes na composição da calda, o modelo da ponta de pulverização escolhido, a pressão de operação do pulverizador, o diâmetro e a homogeneidade das gotas, a velocidade da máquina aplicadora, a altura da barra, o volume de pulverização e as condições ambientais, exercem influência direta na penetração das gotas no interior do dossel das plantas. Desses fatores, o volume da calda e a ponta de pulverização, são os de maior impacto na qualidade da pulverização.

Para culturas que apresentam elevados IAF, há a necessidade do uso de maiores volumes de calda por hectare, garantindo a cobertura almejada. No entanto, existe uma tendência de se trabalhar com menores taxas de aplicação, pois os volumes praticados na agricultura, em muitos casos, são maiores que aqueles necessários para o controle dos agentes nocivos às plantas (BOLLER; MACHRY, 2007). Via-de-regra, a opção de se trabalhar com menores volumes de calda, requer a escolha de pontas de pulverização que produzem gotas mais finas, aumentando-se os riscos de perdas por deriva.

As gotas produzidas em uma pulverização devem ser suficientemente grandes para que possam se depositar sobre o alvo sem que sofram perdas por evaporação ou deriva e, ao mesmo tempo, suficientemente pequenas de forma a fornecer a cobertura suficiente do alvo pelo fungicida. Diante disso, o mercado oferece alternativas que visam aprimorar a eficiência das pulverizações, buscando proporcionar a cobertura em todos os estratos das plantas. Contudo, ainda existe uma lacuna no conhecimento a respeito das pontas de pulverização e volumes de calda mais adequados em aplicações de fungicidas para o controle da FAS, bem como, das interações entre essas variáveis e as diferentes arquiteturas de plantas, que são características de diferentes cultivares e ambientes de cultivo.

Dessa forma, esse trabalho objetivou determinar os níveis de controle da FAS a partir de aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização jato-cônico vazio e jato-plano simples respectivamente, em plantas de soja com diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação.

### **3.3 Material e Métodos**

O ensaio foi conduzido no campo experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo - RS na safra 2015/2016 e repetido na safra 2016/2017 no mesmo local. A área está situada na altitude de 687 m acima do nível do mar, latitude 28° 23' S e longitude 52° 38' O. A região apresenta clima subtropical úmido, com chuvas em todos os meses do ano, sendo



a média total anual de 1.788 mm. A média de temperatura nos meses mais frios é de 12 °C, enquanto nos meses mais quentes, é de 22 °C (EMBRAPA TRIGO, 2016).

Em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições por tratamento, o ensaio foi estabelecido em arranjo bifatorial 6 x 2 + 1 (seis cultivares de soja e dois volumes de calda fungicida + uma Testemunha sem aplicação de fungicidas). Os volumes de calda fungicida aplicados foram de 50 L/ha, com pontas de pulverização do modelo JA-1® (jato-cônico vazio) e 120 L/ha, com pontas de pulverização do modelo XR110015® (jato-plano simples de faixa ampliada). As cultivares utilizadas e seus caracteres morfofisiológicos são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracteres morfofisiológicos das cultivares utilizadas em ensaio conduzido na safra 2015/2016 e repetido na safra 2016/2017. Passo Fundo - 2018

Cultivar	Hábito de Crescimento	GM <sup>1</sup>	Ciclo médio na região	Ciclo <sup>2</sup>	Ramificação
BMX Ativa RR	Determinado	5.6	130 dias	Precoce	Baixa
BMX Elite IPRO	Indeterminado	5.5	125 dias	Precoce	Moderada
NS 5445 IPRO	Indeterminado	5.4	120 dias	Hiperprecoces	Elevada
NS 6209 RR	Determinado	6.2	135 dias	Tardia	Elevada
Pioneer 95R51	Indeterminado	5.1	115 dias	Hiperprecoces	Elevada
FPS Urano RR	Determinado	6.2	135 dias	Tardia	Moderada

<sup>1</sup> Grupo de maturação. <sup>2</sup> Refere-se à classificação quanto ao tempo de maturação entre as cultivares utilizadas no ensaio.

Fonte: BRASMAX GENÉTICA, 2016; NIDERA SEMENTES, 2016; PIONEER SEMENTES, 2016; SALVADORI et al., 2016, p. 43-51.

As parcelas experimentais foram estabelecidas com seis fileiras de plantas, medindo 10,0 m de comprimento e espaçadas a 0,45 m entre si, perfazendo uma área de 27,0 m<sup>2</sup>/parcela. A primeira e a sexta linhas foram utilizadas como bordaduras e as quatro linhas centrais foram utilizadas para as avaliações da severidade da doença e componentes do rendimento. Nas duas safras, a aplicação dos fungicidas teve início quando detectado 5% de incidência foliolar da FAS no terço inferior das plantas presentes no ensaio.

Para a safra 2015/2016, o ensaio foi estabelecido no dia 09 de novembro de 2015 com densidade de semeadura regulada para 300.000 plantas/ha e adubação de 300 kg/ha do fertilizante (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O) 2 - 30 - 15. Em 21 de dezembro de 2015 foi realizada uma pulverização, antes da aplicação dos tratamentos, em área total visando o fornecimento de micronutrientes, bem como, o controle de plantas daninhas, oídio (*Erysiphe diffusa* Cooke & Peck) e das lagartas falsa-medideira (*Pseudoplusia includens* Walker) e da soja (*Anticarsia gemmatalis* Hübner). Em volume de 100 L/ha, a calda foi composta por 100 mL/ha do fertilizante foliar CoMol (1,0% de cobalto + 10,0% de mobilidênio), em mistura com 2,5 L/ha do herbicida glifosato (360 g/L), 200 g/ha do inseticida fisiológico diflubenzurom (250 g/kg) e 500 mL/ha do fungicida piraclostrobina (133 g/L) + epoxiconazol (50 g/L), acrescidos de 500 mL/ha de óleo mineral (756 g/L).

A aplicação dos tratamentos teve início em 08/01/2016, quando as cultivares NS 6209 e FPS Urano, estavam no estágio fenológico R1, BMX Ativa, BMX Elite e NS 5445 em R2 e P 95R51 em R3 (FEHR; CAVINESS, 1977). Na primeira aplicação, a calda foi composta por 400 mL/ha do fungicida trifloxistrobina (150 g/L) + protioconazol (175 g/L) acrescido do adjuvante éster metílico de óleo de soja (720 g/L) na concentração de 0,25% do volume da calda. A segunda e terceira aplicações foram realizadas nos dias 22/01 e 05/02 respectivamente, sendo ambas compostas por 200 g/ha do fungicida azoxistrobina (300 g/kg) + benzovindiflupir (150 g/kg) acrescido de óleo mineral (428 g/L) na concentração de 0,5% do volume da calda. Somente para as cultivares de ciclos mais longos, NS 6209 e FPS Urano, foi realizada a quarta aplicação em 25/02, repetindo-se o fungicida utilizado na primeira aplicação.

Na safra 2016/2017 o ensaio foi estabelecido em 19 de novembro de 2016, com a mesma população de plantas e adubação de base do ano anterior. Em 12 de janeiro de 2017 foi realizada uma pulverização, antes da aplicação dos tratamentos, visando o controle das plantas daninhas e das lagartas falsa-medideira e da soja. Em volume de 200 L/ha, a calda foi composta por 2,5 L/ha do herbicida glifosato (360 g/L) adicionado de 0,5 L/ha do herbicida cletodim (240 g/L), em mistura com 200 g/ha de

diflubenzurom (250 g/kg) e 80 mL/ha do inseticida flubendiamida (480 g/L), acrescidos de óleo mineral (761 g/L) na concentração de 0,5% do volume da calda.

A primeira aplicação dos tratamentos foi realizada em 16/01/2017, momento em que as cultivares NS 6209 e FPS Urano, estavam no estágio fenológico V12, BMX Ativa, BMX Elite e NS 5445 em R1 e P 95R51 no estágio R2. A calda foi composta por 400 mL/ha do fungicida trifloxistrobina (150 g/L) + protioconazol (175 g/L) acrescido do adjuvante éster metílico de óleo de soja (720 g/L) na concentração de 0,25% do volume da calda. Na segunda aplicação, realizada em 13/02, a calda fitossanitária foi composta por 200 g/ha do fungicida azoxistrobina (300 g/kg) + benzovindiflupir (150 g/kg) acrescido de óleo mineral (428 g/L) na concentração de 0,5% do volume da calda. Somente para as cultivares NS 6209 e FPS Urano, realizou-se a terceira aplicação em 05/03, repetindo o fungicida aplicado na segunda aplicação. Devido a infecção mais tardia e baixa intensidade da FAS durante a safra 2016/2017, foi realizada uma aplicação fungicida a menos em relação à safra anterior.

Nas duas safras, para o tratamento 50 L/ha da calda fungicida produzidos por pontas de pulverização JA-1®, as quais distribuíram gotas de espectro muito-fino a fino na pressão de trabalho de 4,0 bar, o conjunto trator-pulverizador movimentou-se à velocidade de 7,8 km/h. Já para o tratamento 120 L/ha, produzidos por pontas de pulverização XR110015®, as quais distribuíram gotas de espectro fino na pressão de trabalho de 3,0 bar, o conjunto-trator pulverizador movimentou-se à velocidade de 6,0 km/h (ASABE, 2009).

No momento das aplicações, as condições ambientais foram monitoradas através de um termo higrô anemômetro portátil modelo AVM-40 (Kestrel® 3000), determinando a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar (Quadro 1).

Um dia antes de cada uma das aplicações dos tratamentos, foram removidas dez plantas de cada cultivar para a determinação da estatura de plantas (Quadro 2) e do índice de área foliar (IAF) presente em cada terço das plantas.

Quadro 1 - Médias das condições ambientais nos momentos das aplicações dos tratamentos fungicidas. Passo Fundo – 2018

<b>Ensaio conduzido na safra 2015/2016</b>				
Data	Intervalo <sup>1</sup>	Velocidade do vento (km/h)	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)
08/01	16:20 – 17:35	4,99	29,82	60,77
22/01	11:15 – 12:15	2,62	28,83	76,24
05/02	13:43 – 14:45	5,04	28,96	72,82
25/02	10:56 – 11:48	5,62	28,56	71,73
<b>Ensaio conduzido na safra 2016/2017</b>				
16/01	11:00 – 12:14	2,99	27,50	70,92
13/02	15:40 – 16:15	2,36	25,80	82,08
05/03	10:40 – 11:40	4,17	25,50	77,33

<sup>1</sup> Refere-se aos horários de início e término da aplicação dos tratamentos.

Quadro 2 - Estádio fenológico e estatura média de plantas no momento das aplicações dos tratamentos. Passo Fundo – 2018

<b>Safra 2015/2016</b>								
Cultivar	Primeira aplicação		Segunda aplicação		Terceira aplicação		Quarta aplicação	
	Estádio <sup>1</sup>	Estatura <sup>2</sup>	Estádio	Estatura	Estádio	Estatura	Estádio	Estatura
BMX Ativa	R2	0,44	R4	0,62	R5	0,68	R5.5	-
BMX Elite	R2	0,50	R4	0,79	R5	0,94	R5.5	-
NS 5445	R2	0,54	R5	0,73	R5.2	0,84	R6	-
NS 6209	R1	0,52	R3	0,80	R4	0,83	R5.3	0,87
P 95R51	R3	0,55	R5.1	0,76	R5.4	0,87	R6	-
FPS Urano	R1	0,45	R3	0,59	R4	0,70	R5.4	0,71
<b>Safra 2016/2017</b>								
BMX Ativa	R1	0,58	R5.3	0,89	R5.5	-	-	-
BMX Elite	R1	0,65	R5.3	0,94	R6	-	-	-
NS 5445	R1	0,60	R5.3	0,93	R6	-	-	-
NS 6209	V12	0,68	R5.2	0,97	R5.4	1,04	-	-
P 95R51	R2	0,71	R5.4	0,90	R6	-	-	-
FPS Urano	V12	0,61	R5.1	0,94	R5.4	0,94	-	-

<sup>1</sup> Estádio fenológico das plantas no momento da aplicação. <sup>2</sup> Representa a estatura média de plantas em metros.

- Dado numérico não disponível.

Para a obtenção do IAF/terço, plantas inteiras de soja foram divididas em três partes iguais (terço inferior, médio e superior) e suas folhas foram destacadas. Através

do medidor de área foliar de bancada LI-3100C® foi determinada a área total (cm<sup>2</sup>) das folhas presentes em cada terço. Multiplicando-se a quantidade de plantas presentes em cada metro quadrado de solo pelo somatório da área foliar obtida por planta (valor corrigido para m<sup>2</sup>) determinou-se o IAF (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - Índices de área foliar (IAF) e distribuição do IAF por terço das plantas no momento das aplicações dos tratamentos na safra 2015/2016. Passo Fundo, 2018

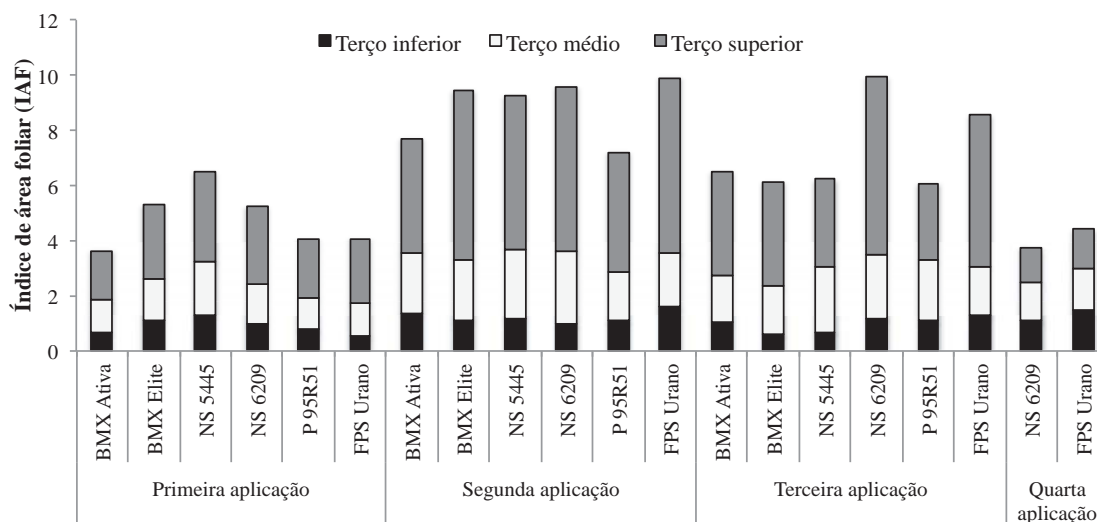
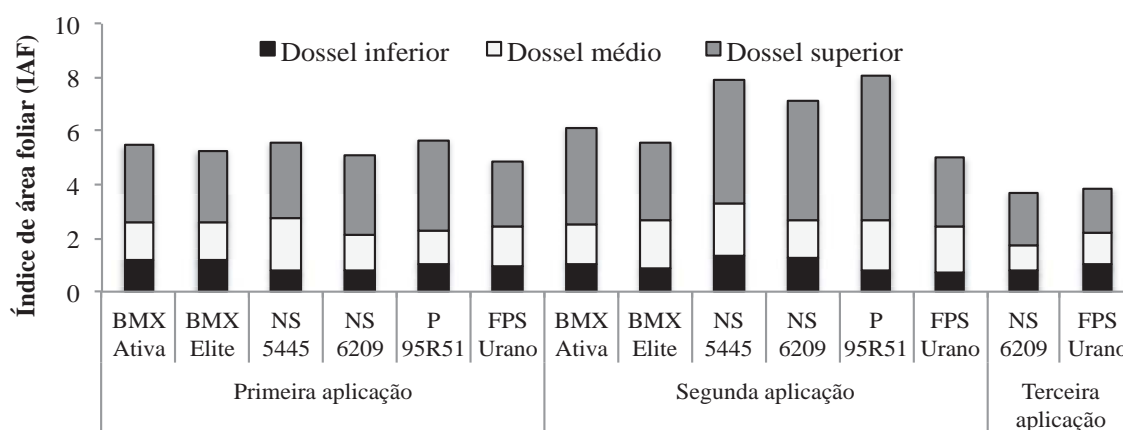


Figura 2 - Índices de área foliar (IAF) e distribuição do IAF por terço das plantas no momento das aplicações dos tratamentos na safra 2016/2017. Passo Fundo, 2018



Dez dias após cada aplicação, foram amostrados dez trifólios dos terços médio e inferior das plantas presentes na segunda, terceira, quarta e quinta fileiras. Os trifólios foram destacados e armazenados em sacos plásticos identificados e mantidos sob refrigeração para a avaliação da severidade da FAS. As avaliações de severidade foram realizadas seguindo a escala diagramática da ferrugem-asiática da soja desenvolvida por Godoy e colaboradores, 2006.

Os dados da severidade foram utilizados na construção da curva de evolução da doença através de regressão polinomial e na construção da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), conforme metodologia proposta por Campbell e Madden (1990). A partir dos dados de AACPD, foi determinada a área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPD<sub>R</sub>), a qual foi calculada como função da relação entre a AACPD e período de duração da epidemia em dias.

Na safra 2015/2016 as avaliações de severidade da doença tiveram início em 18 de janeiro (dez dias após a primeira aplicação), enquanto que na safra 2016/2017, a primeira avaliação foi realizada somente em 23 de fevereiro (dez dias após a segunda aplicação dos tratamentos), uma vez que os valores observados dez dias após primeira aplicação, não foram expressivos o suficiente para quantificar o percentual da severidade, devido a baixa intensidade da FAS na região de condução do experimento no período. Para as cultivares hiperprecoces NS 5445 e P 95R51, a última avaliação foi feita, em ambas as safras, no momento em que as plantas atingiram o estágio fenológico R6 (29/02/2016 e 20/03/2017). Já para as demais cultivares, as avaliações foram realizadas em R7. Na safra 2015/2016, BMX Ativa e BMX Elite atingiram o estágio R7 no dia 07/03 e NS 6209 e FPS Urano em 14/03. Já na safra 2016/2017, a última avaliação da severidade foi realizada em 19/03 para as cultivares BMX Ativa e BMX Elite, e 20/03 para NS 6209 e FPS Urano.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico R5, foi realizada a contagem do número de plantas por metro. Foram realizadas dez quantificações aleatórias por cultivar, as quais foram utilizadas na estimativa da população final. Na safra 2015/2016 as populações finais foram: 254.445 plantas/ha da cultivar BMX Ativa, 286.667 da

BMX Elite, 282.222 da NS 5445, 286.667 da NS 6209, 270.000 da P 95R51 e 234.444 plantas/ha da cultivar FPS Urano. Já na safra 2016/2017, as estimativas das populações finais foram: 256.790 plantas/ha da cultivar BMX Ativa, 266.667 da BMX Elite, 259.260 da NS 5445, 247.000 da NS 6209, 286.420 da P 95R51 e 279.012 da FPS Urano.

Para os dados de severidade final, AACPD, AACPDR, foram calculados os percentuais de controle, proporcionados pelos tratamentos 50 e 120 L/ha em relação à Testemunha sem aplicação, de acordo com a Equação 1:

$$\text{Equação 1: Controle (\%)} = \frac{(\text{Valor da Testemunha} - \text{Valor do Tratamento}) \times 100}{\text{Valor da Testemunha}}$$

No final do ciclo de cada uma das cultivares, três fileiras de plantas – segunda, terceira e quarta de acordo com o sentido da passagem da barra do pulverizador, foram colhidas para a pesagem e determinação do teor de umidade dos grãos. O rendimento e o peso de mil sementes (PMS), foram estimados com os teores de umidade corrigidos para 13%.

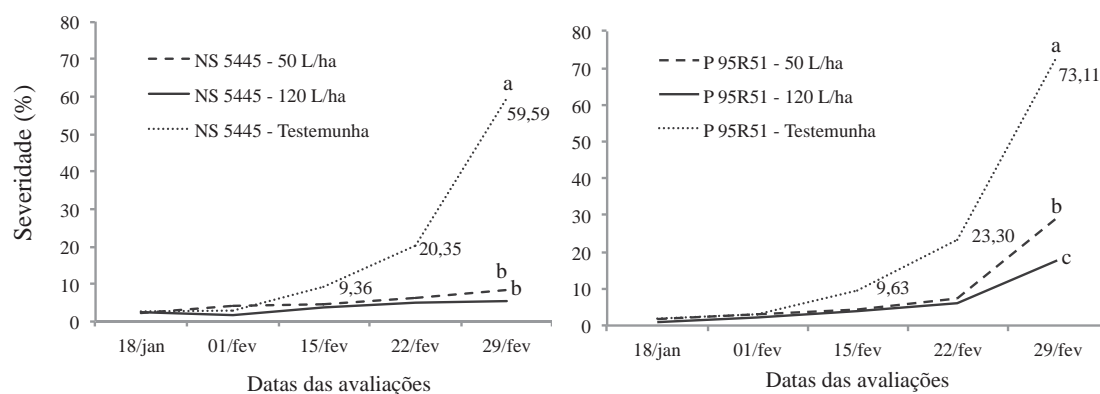
Também foram calculados os ganhos percentuais para os dados de PMS e ganhos no rendimento de grãos (kg/ha) dos tratamentos 50 L/ha e 120 L/ha em relação às testemunhas.

Procedeu-se a análise de variância (ANOVA) para os dados de PMS, rendimento de grãos, severidade final, AACPD e AACPDR (F-Teste a 5% de probabilidade de erro), verificando dessa forma a existência ou não de diferenças entre os tratamentos. Havendo diferenças significativas entre as médias, essas foram confrontadas pelo teste de comparação de médias de Tukey, também a 5% de probabilidade de erro.

### 3.4 Resultados e Discussão

As avaliações de severidade da FAS para as cultivares hiperprecoces durante a safra 2015/2016, demonstraram que para a NS 5445, aplicações de fungicidas com diferentes volumes de calda não interferiram significativamente na severidade da doença. Já para a cultivar P 95R51, aplicações de fungicidas com volume de 50 L/ha resultaram em maior severidade da FAS após a terceira aplicação, quando comparadas às parcelas pulverizadas com volume de calda de 120 L/ha. Nesse caso, plantas de soja tratadas com 120 L/ha da calda fungicida, apresentaram severidade média final de 17,7%, o que representou 75,8% de controle em relação à Testemunha sem fungicida. Já para as parcelas tratadas com volume de 50 L/ha da calda fungicida, a severidade média final foi de 29,4%, representando 59,8% de controle da doença em relação à Testemunha. Para as duas cultivares, ambos os tratamentos, 50 e 120 L/ha, se diferenciaram da Testemunha (Figura 3).

Figura 3 - Evolução da severidade da ferrugem-asiática nas cultivares de soja NS 5445 e P 95R51 submetidas a três aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha e suas testemunhas sem aplicação na safra 2015/2016. Passo Fundo – 2018



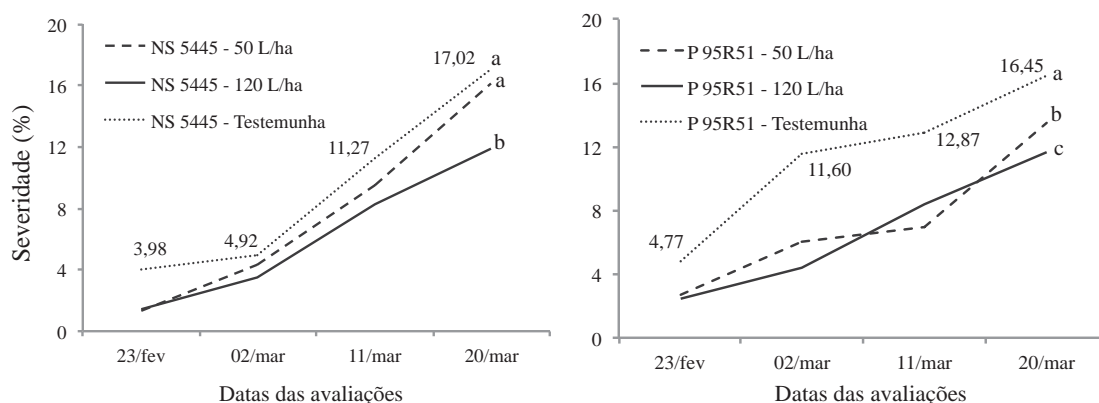
Nota: linhas seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05). Coeficiente de variação: 8,02%.

Apesar da cultivar NS 5445 ter apresentado maiores IAF nos momentos da primeira e da segunda aplicação, a estatura média e a distribuição do IAF/terço das plantas foram muito semelhantes (Figura 1 e Quadro 2). Dessa forma, esperava-se a



mesma resposta entre as cultivares à aplicação fungicida. No entanto, devido ao desenvolvimento mais lento da FAS na cultivar NS 5445 na safra 2015/2016, não houve diferenças entre os volumes de calda fungicida comparados. Já na safra 2016/2017, houve diferença significativa na evolução da FAS para a cultivar NS 5445 quando submetida à aplicações com os diferentes volumes de calda fungicida, sendo que o tratamento 50 L/ha não se diferenciou estatisticamente da Testemunha sem aplicação, a qual apresentou severidade média final de 17,02%. Já para a cultivar P 95R51, apesar da Testemunha apresentar severidade média final de 16,45%, parcelas tratadas com 50 L/ha de calda fungicida apresentaram menor severidade da doença. Entretanto, aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha resultaram em menor severidade final que plantas pulverizadas com volume de 50 L/ha (Figura 4).

Figura 4 - Evolução da severidade da ferrugem-asiática nas cultivares de soja NS 5445 e P 95R51 submetidas a duas aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha e suas testemunhas sem aplicação na safra 2016/2017. Passo Fundo – 2018



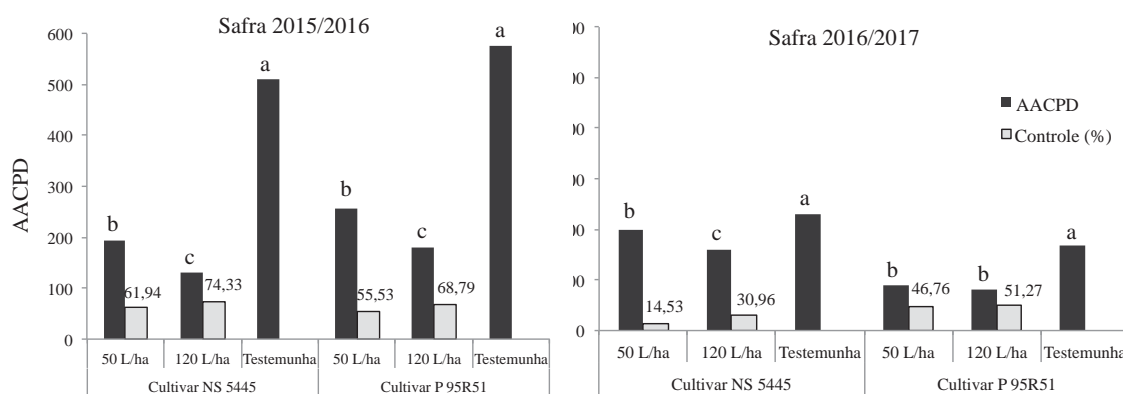
Nota: linhas seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05). Coeficiente de variação: 8,67%.

Para ambas as cultivares avaliadas, na safra de 2016/2017, aplicações realizadas com 120 L/ha resultaram em menor severidade final da FAS. Para a cultivar NS 5445, a severidade final da FAS nas parcelas tratadas com volume da calda fungicida de 50 L/ha foi de 16,2%, enquanto que, para as parcelas pulverizadas com 120 L/ha, a severidade foi de 11,8%. Essa diferença, representou um decréscimo de 26,7% na severidade final em relação à parcelas pulverizadas com 50 L/ha. Já para a cultivar P 95R51, o

decréscimo da severidade entre aplicações com os volumes de 50 e 120 L/ha, foi de 13,9% (severidade final de 13,5% para o tratamento 50 L/ha e 11,6% para o tratamento 120 L/ha). Os resultados corroboram com relatos de Prado et al., (2015), de que maiores volumes de calda por hectare na aplicação de fungicidas para o controle da FAS, resultam em maior controle da doença.

Também para avaliações da evolução da FAS por intervalo de tempo, determinando a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) na safra 2015/2016, aplicações com o volume de calda de 120 L/ha resultaram em menor AACPD e conseqüentemente, maior controle da doença em relação à Testemunha para ambas as cultivares avaliadas (Figura 5). Da mesma forma, Prado et al. (2015) comparando o controle da FAS em plantas de soja submetidas a aplicações de fungicidas com volumes de calda de 60, 110 e 160 L/ha com adição de surfactante, constataram que a utilização de 160 L/ha, resultou em uma redução de 40,1% da AACPD em relação à aplicações de fungicidas realizadas com volume de calda de 60 L/ha.

Figura 5 - Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e controle da ferrugem-asiática nas cultivares de soja NS 5445 e P 95R51, submetidas a aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha, em relação à Testemunha sem aplicação, nas safras 2015/2016<sup>(1)</sup> e 2016/2017<sup>(2)</sup>. Passo Fundo - 2018



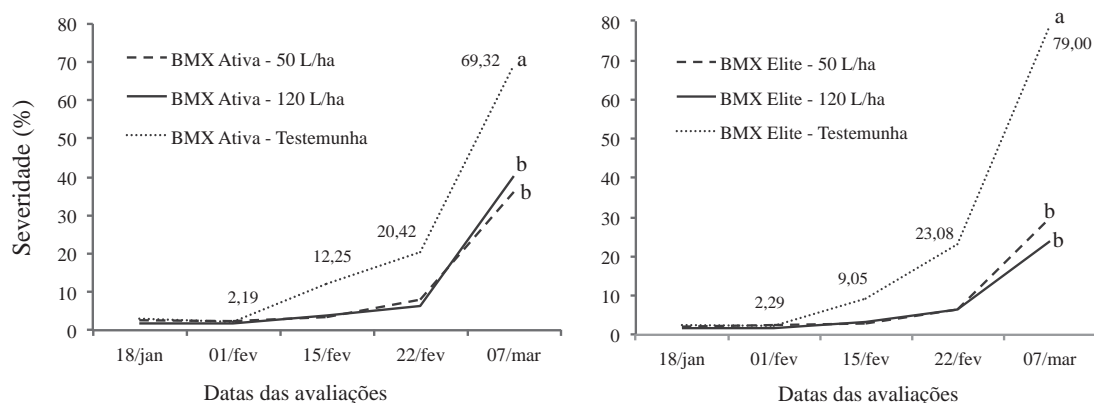
Nota: letras iguais sobre as barras, para cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si (Tukey < 0,05).

<sup>(1)</sup> Realização de três aplicações dos fungicidas. <sup>(2)</sup> Realização de duas aplicações dos fungicidas.

Na safra 2016/2017, para a cultivar P 95R51, não foram observadas diferenças significativas entre as AACPD para aplicações realizadas com os volumes de 50 e 120 L/ha da calda fungicida (Figura 5). Essa semelhança entre os tratamentos, pode ser justificada pelos elevados IAF nos terços superior (67%) e médio (23%) no momento da segunda aplicação (Figura 2), dificultando a penetração das gotas da calda fungicida distribuídas por pontas de jato-plano simples no terço inferior das plantas. Ou seja, devido à barreira física imposta pelo dossel superior das plantas, mesmo se trabalhando com maior volume de calda, houve maior dificuldade de penetração das gotas distribuídas por pontas de jato-plano, não apresentando diferenças significativas na AACPD em relação às parcelas submetidas à aplicações com 50 L/ha de calda, distribuídos por pontas de pulverização de jato-cônico vazio.

Para as avaliações da severidade da FAS durante a estação de cultivo nas cultivares de ciclo precoce BMX Ativa e BMX Elite na safra 2015/2016, não foram observadas diferenças significativas entre aplicações realizadas com volumes de calda fungicida de 50 e 120 L/ha. Os tratamentos 50 e 120 L/ha somente se diferenciaram da sua Testemunha sem aplicação (Figura 6).

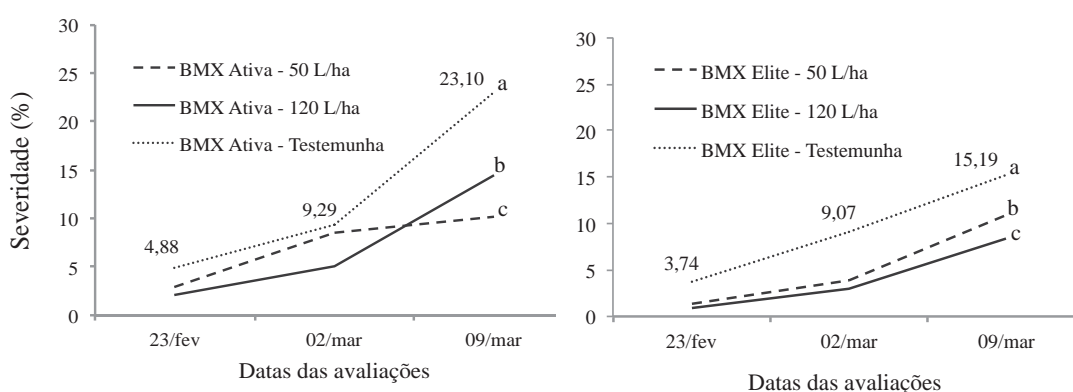
Figura 6 - Evolução da severidade da ferrugem-asiática nas cultivares de soja BMX Ativa e BMX Elite submetidas a três aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha e suas testemunhas sem aplicação na safra 2015/2016. Passo Fundo – 2018



Nota: linhas seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05). Coeficiente de variação: 7,73%

Já na safra 2016/2017, foram observadas diferenças entre os tratamentos para as duas cultivares. Para a BMX Ativa houve melhor resposta à aplicações com o volume de calda de 50 L/ha em relação à aplicações com 120 L/ha, resultando em menor severidade final da FAS. Parcelas que receberam aplicações com o volume de calda de 50 L/ha apresentaram severidade média final de 10,2%, representando 55,7% de controle em relação à Testemunha. Já para as parcelas tratadas com 120 L/ha, a severidade média final foi de 14,5%, representando somente 37,1% de controle em relação à Testemunha (Figura 7).

Figura 7 - Evolução da severidade da ferrugem-asiática nas cultivares de soja BMX Ativa e BMX Elite submetidas a duas aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha e suas testemunhas sem aplicação na safra 2016/2017. Passo Fundo - 2018



Nota: linhas seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05). Coeficiente de variação: 9,73 %.

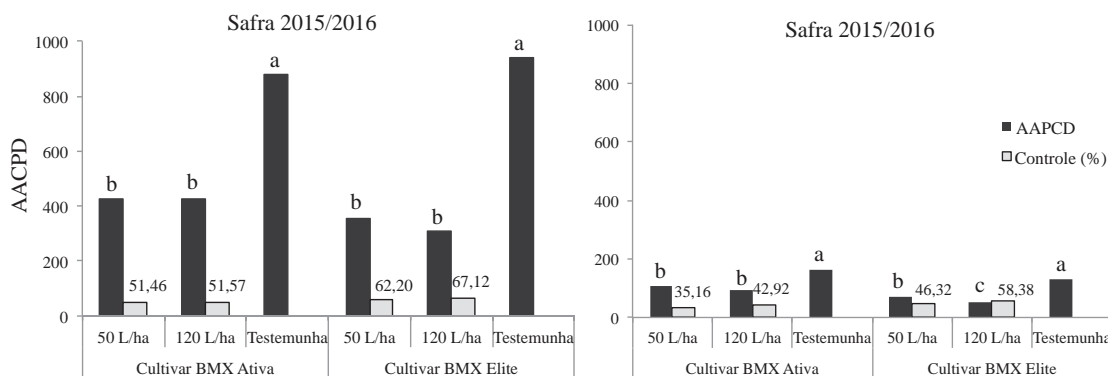
Essa resposta positiva ao tratamento 50 L/ha, deve-se ao fato de que, diferentemente da safra 2015/2016, a cultivar BMX Ativa apresentou maiores IAF em relação à BMX Elite no momento das aplicações (Figura 2). Além das diferenças de IAF e de se tratar de uma cultivar com baixa ramificação, BMX Ativa apresentou menor estatura de plantas no momento da primeira e da segunda aplicações (0,58 e 0,89 m, respectivamente) que a cultivar BMX Elite (0,65 e 0,94 m, respectivamente) (Quadro 2).

Os dados concordam com o relato de Cunha et al. (2008), de que pontas de pulverização de jato cônico-vazio proporcionam maior deposição de gotas no terço inferior das plantas em situações de elevados IAF. Também, o fato de produzirem gotas de menor espectro em relação à pontas de jato-plano, facilitam a penetração e proporcionam maior cobertura do alvo (ANTUNIASSI, 2012). Ainda, as condições ambientais no momento das duas aplicações de fungicidas na safra 2016/2017 se mostraram favoráveis à pulverizações com menores volumes de calda por hectare (Quadro 1).

Diferentemente da cultivar BMX Ativa, para a BMX Elite aplicações com volume de calda de 120 L/ha resultaram em menor severidade final da FAS que aplicações realizadas com 50 L/ha, as quais foram de 8,4 e 10,9%, respectivamente. Devido a maior estatura média das plantas, gotas da pulverização produzidas por pontas de jato-cônico-vazio podem ter se perdido, mesmo antes de se depositarem no terço inferior das plantas (Figura 7).

Para a determinação da AACPD na safra 2015/2016, assim como nas avaliações de severidade, não foram observadas diferenças significativas entre aplicações de fungicidas com os volumes de calda de 50 e 120 L/ha para ambas as cultivares. Os tratamentos 50 L/ha e 120 L/ha só se diferenciaram da Testemunha sem aplicação. Já na safra 2016/2017, assim como para a evolução da severidade da FAS, aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha resultaram menor AACPD em relação à aplicações com volume de 50 L/ha para a cultivar BMX Elite, resultando em 58,4% de controle em relação à Testemunha (Figura 8).

Figura 8 - Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e controle da ferrugem-asiática nas cultivares de soja BMX Ativa e BMX Elite submetidas a aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha em relação à Testemunha sem aplicação, nas safras 2015/2016<sup>(1)</sup> e 2016/2017<sup>(2)</sup>. Passo Fundo – 2018

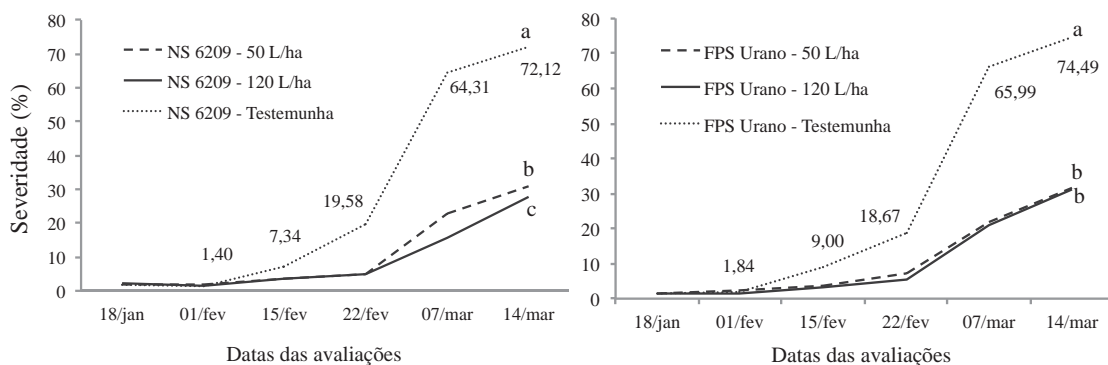


Nota: letras iguais sobre as barras, para cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05).

<sup>(1)</sup> Realização de três aplicações dos fungicidas. <sup>(2)</sup> Realização de duas aplicações dos fungicidas.

Para as cultivares de ciclo mais tardio, na safra 2015/2016, somente a NS 6209 apresentou diferenças de severidade da FAS quando submetida a aplicações com os diferentes volumes de calda fungicida. Plantas que receberam quatro aplicações com volume de calda de 50 L/ha apresentaram severidade média final de 30,7%, enquanto que as plantas tratadas com volume de calda de 120 L/ha, apresentaram severidade média final de 27,7% (Figura 9).

Figura 9 - Evolução da severidade da ferrugem-asiática nas cultivares de soja NS 6209 e FPS Urano submetidas a quatro aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha e suas testemunhas sem aplicação na safra 2015/2016. Passo Fundo – 2018

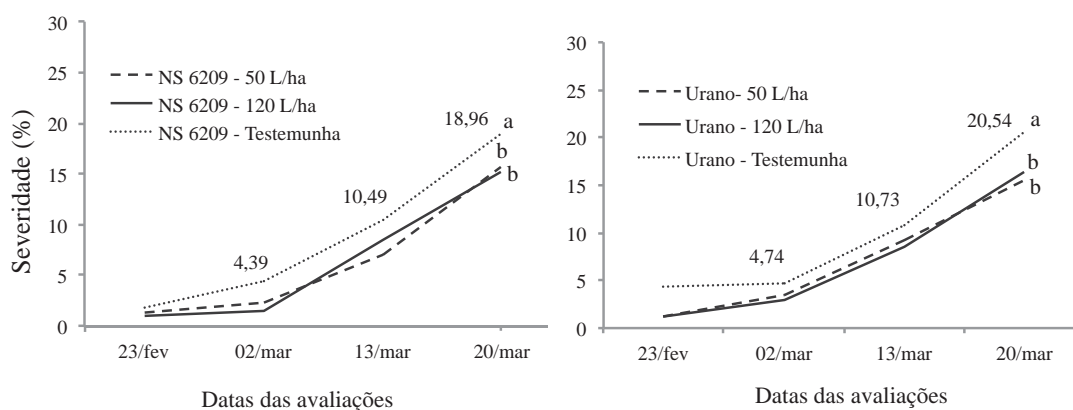


Nota: linhas seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05). Coeficiente de variação: 6,23 %.

A quarta avaliação da severidade foi realizada dez dias após a terceira aplicação, em 05/03/2016, quando a estatura média das plantas da cultivar NS 6209 era de 0,83 m e da cultivar FPS Urano de apenas 0,59 m (Quadro 2). Sob condições de velocidade do vento acima de 5 km/ha e temperatura do ar próxima aos 29 °C (Quadro 1), há uma maior probabilidade de que gotas de espectro mais fino, distribuídas por pontas de pulverização de jato-cônico vazio, se percam por deriva ou evaporem mesmo antes de atingirem dossel inferior das plantas, que no caso da cultivar NS 6209, ficou mais distante da barra de pulverização, que para a cultivar FPS Urano.

Já na safra 2016/2017, não foram observadas diferenças significativas de severidade da FAS em plantas de soja das cultivares NS 6209 e FPS Urano submetidas a aplicações de fungicidas com diferentes volumes de calda. Contudo, tanto aplicações realizadas com 50 L/ha, quanto com 120 L/ha apresentaram menor severidade da doença que suas Testemunhas (Figura 10).

Figura 10 - Evolução da severidade da ferrugem-asiática nas cultivares de soja NS 6209 e FPS Urano submetidas a três aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha e suas testemunhas sem aplicação na safra 2016/2017. Passo Fundo – 2018

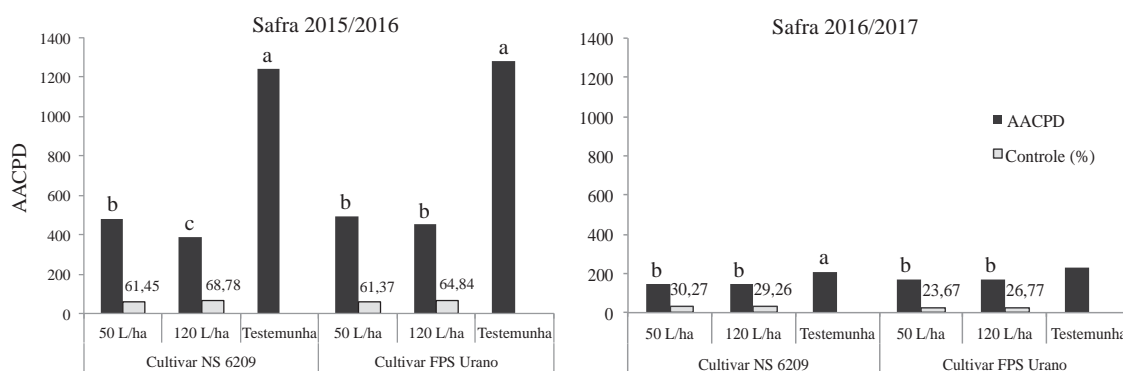


Nota: linhas seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05). Coeficiente de variação: 5,24 %.

Também na determinação da AACPD das cultivares NS 6209 e FPS Urano, foram mantidos os mesmos resultados observados nas avaliações da severidade da doença. Na safra 2015/2016, para a cultivar NS 6209, foi observada uma maior AACPD nas parcelas tratadas com 50 L/ha da calda fungicida em relação às parcelas tratadas

com 120 L/ha. Parcelas tratadas 50 L/ha demonstraram redução de 61,4% na AACPD em relação à Testemunha, enquanto para a parcelas tratadas com 120 L/ha, a redução foi de 68,8%. Já para a cultivar FPS Urano, não foram observadas diferenças significativas entre aplicações realizadas com volume de 50 e 120 L/ha (Figura 11). Já na safra 2016/2017, ano de menor pressão da FAS na região de condução do experimento, não houve diferenças significativas entre aplicações realizadas com volume da calda fungicida de 50 e 120 L/ha para ambas as cultivares. Nas duas safras, os dois tratamentos se diferenciaram da Testemunha.

Figura 11 - Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e controle da ferrugem-asiática nas cultivares de soja NS 6209 e FPS 6209 submetidas a aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha em relação à Testemunha sem aplicação, nas safras 2015/2016<sup>(1)</sup> e 2016/2017<sup>(2)</sup>. Passo Fundo - 2018



Nota: letras iguais sobre as barras, para cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05).

<sup>(1)</sup> Realização de três aplicações dos fungicidas. <sup>(2)</sup> Realização de duas aplicações dos fungicidas.

Com relação a área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPD) na safra 2015/2016, as cultivares NS 5445, NS 6209 e P 95R51 apresentaram menor AACPD quando submetidas à aplicações de fungicidas com o volume de calda de 120 L/ha em relação à aplicações com volume de 50 L/ha. No caso da P 95R51, parcelas tratadas com volume de calda de 120 L/ha, demonstraram AACPD 23,8% inferior às parcelas tratadas com volume de 50 L/ha. Entretanto, para as cultivares BMX Ativa, BMX Elite e FPS Urano, não houve diferenças significativas da AACPD entre as parcelas submetidas à aplicações fungicidas com os diferentes volumes de calda (Tabela 2).



Tabela 2 - Área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPDR) e controle em relação à Testemunha<sup>(1)</sup>, com base nas avaliações da severidade da ferrugem-asiática em cultivares de soja submetidas à aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha durante o período da epidemia. Passo Fundo – 2018

Safra 2015/2016					
Cultivar	Testemunha <sup>(1)</sup>	50 L/ha	Controle (%)	120 L/ha	Controle (%)
BMX Ativa	18,35 c A	8,91 a B	51,44	8,89 a B	51,55
BMX Elite	19,58 b A	7,40 b B	62,21	6,44 c B	67,11
NS 5445	12,46 e A	4,74 d B	61,93	3,20 e C	74,30
NS 6209	22,57 a A	8,70 a B	61,45	7,05 bc C	68,76
P 95R51	14,04 d A	6,24 c B	55,56	4,38 d C	68,80
Urano RR	23,27 a A	8,99 a B	61,37	8,18 ab B	64,85
MÉDIA	18,38	7,50	58,99	6,36	65,90
C.V. (%)	6,39				
Safra 2016/2017					
BMX Ativa	11,64 a A	7,55 a B	35,14	6,65 a C	42,87
BMX Elite	9,26 b A	4,97 b B	46,33	3,86 b C	58,32
NS 5445	9,64 b A	8,24 a B	14,52	6,65 a C	31,02
NS 6209	8,60 b A	6,00 b B	30,23	6,08 a B	29,30
P 95R51	6,97 c A	3,71 c B	46,78	3,40 b B	51,22
Urano RR	9,42 b A	7,19 a B	23,67	6,90 a B	26,75
MÉDIA	9,25	6,28	32,78	5,59	39,91
C.V. (%)	8,94				

Nota: médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05). \* Valores de informados em gramas (g), com unidade dos grãos corrigida à 13%.

<sup>(1)</sup> Representa a Testemunha isenta da aplicação de fungicidas.

Ainda em um comparativo entre as seis cultivares, as testemunhas das cultivares NS 6209 e FPS Urano apresentaram as maiores AACPDR. Apesar disso, ambas as cultivares, quando submetidas à aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 L/ha, não se diferenciaram da BMX Ativa. Já a cultivar NS 6209, quando tratada com o volume de 120 L/ha, apresentou menor AACPDR que a BMX Ativa, demonstrando resposta positiva à aplicações de fungicidas para o controle da FAS com maior volume

de calda (Tabela 2). Esses resultados concordam com relatos anteriores de Debortoli et al. (2012), de que cultivares de soja que com maiores IAF e índice de ramificação, necessitam de maior cobertura de gotas, o que é obtido com a utilização de maiores volumes da calda de pulverização.

Já na safra 2016/2017, diferentemente da safra anterior, as cultivares BMX Ativa e BMX Elite apresentaram menor AACPDOR quando submetidas à aplicações de fungicidas com o maior volume de calda em relação à aplicações com volume de 50 L/ha. Também para a cultivar NS 5445, da mesma forma que na safra 2015/2016, parcelas tratadas com volume de 120 L/ha de calda fungicida, resultaram em menor AACPDOR que parcelas tratadas com volume de 50 L/ha (Tabela 2). O maior controle observado foi apresentado pela cultivar BMX Elite quando submetida à aplicações com o volume de calda de 120 L/ha. Tal resultado corrobora com relatos de Chechi (2016), de que em cultivares de soja com elevado IAF, a adoção de maiores volumes de calda na aplicação de fungicidas para o controle da FAS, promove maior penetração e cobertura das folhas em todo o dossel das plantas, melhorando a eficácia de controle da doença. Todos os tratamentos se diferenciaram da Testemunha sem aplicação (Tabela 2).

Apesar das cultivares NS 5445, NS 6209 e P 95R51, quando tratadas com volume de calda de 50 L/ha na safra 2015/2016 terem apresentado as maiores AACPDOR em relação às parcelas tratadas com volume de 120 L/ha, para a avaliação PMS na mesma safra, somente a cultivar NS 6209 apresentou diferenças significativas quando submetida à aplicações de fungicidas com os diferentes volumes de calda. Para a cultivar NS 6209, aplicações com o volume de calda de 120 L/ha resultaram em um ganho de 40,2% em relação à sua Testemunha, enquanto que para a aplicações com o volume de 50 L/ha, esse ganho foi de 33,7% (Tabela 3). Ainda na safra 2015/2016, a cultivar NS 5445 foi aquela que apresentou os maiores PMS, tanto para as parcelas não tratadas, quanto para as parcelas que receberam três aplicações de fungicidas com os volumes de 50 e 120 L/ha. Todas as cultivares que receberam aplicações de fungicidas, se diferenciaram estatisticamente da sua Testemunha (Tabela 3).

Tabela 3 - Peso de mil sementes (PMS) e percentual de ganho em relação à Testemunha sem aplicação, de cultivares soja submetidas à aplicações de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática com volumes de calda de 50 e 120 L/ha. Passo Fundo – 2018

Safrá 2015/2016					
Cultivar	Testemunha	50 L/ha	Ganho (%)	120L/ha	Ganho (%)
BMX Ativa	113,63 c B	147,37 c A	29,69	145,54 c A	28,08
BMX Elite	131,27 b B	158,73 b A	20,92	153,73 b A	17,11
NS 5445	151,47 a B	172,95 a A	14,18	176,04 a A	16,22
NS 6209	108,34 c C	144,84 c B	33,69	151,88 bc A	40,19
P 95R51	132,60 b B	150,10 c A	13,20	147,11 bc A	10,94
FPS Urano	113,38 c B	146,03 c A	28,80	148,34 bc A	30,83
MÉDIA	125,11	153,33	22,56	153,77	23,89
C.V. (%)	2,74				
Safrá 2016/2017					
BMX Ativa	152,67 c B	170,02 c A	11,36	165,30 b A	8,27
BMX Elite	165,60 b B	169,35 c B	2,26	187,19 a A	13,04
NS 5445	170,00 b B	197,25 a A	16,03	195,38 a A	14,93
NS 6209	135,56 d B	149,86 d A	10,55	151,68 c A	11,89
P 95R51	181,58 a B	186,32 b AB	2,61	191,48 a A	5,45
FPS Urano	149,01 c A	152,47 d A	2,32	153,51 c A	3,02
MÉDIA	159,07	170,88	7,52	174,09	9,44
C.V. (%)	3,38				

Nota: médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05).

Valores informados em gramas (g), com umidade dos grãos corrigida à 13%.

Na safra 2016/2017, das cultivares não tratadas, P 95R51 apresentou o maior PMS. No entanto, para as parcelas submetidas a aplicações com volume de calda de 50 e 120 L/ha, o PMS da NS 5445 foi superior às demais cultivares. Já para as aplicações realizadas com volume de calda de 120 L/ha, tanto P 95R51 quanto NS 5445, superaram as demais cultivares. Somente a BMX Elite apresentou diferenças significativas no PMS quando submetida à aplicações com os diferentes volumes de calda, sendo que

aplicações com o volume de calda de 120 L/ha proporcionaram um aumento no PMS de 13,0% em relação à Testemunha, enquanto que para o volume de 50 L/ha, esse aumento foi de apenas 2,3% (Tabela 3).

Para as cultivares BMX Elite e P 95P51, as quais apresentaram baixa severidade da FAS na safra 2016/217, o PMS das parcelas submetidas a aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 L/ha não se diferenciou de suas testemunhas. Para a cultivar FPS Urano, não foram observadas diferenças significativas no PMS entre as parcelas tratadas e sua Testemunha (Tabela 3).

Para o rendimento de grãos na safra 2105/2016, as cultivares BMX Elite e NS 5445 foram aquelas que apresentaram os maiores valores nas parcelas não tratadas (testemunhas), apresentando rendimentos de 4.345 e 4.175 kg/ha, respectivamente. No entanto, para as parcelas que receberam aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 L/ha, BMX Elite e NS 5445 não se diferenciaram significativamente da BMX Ativa e NS 6209. Apesar de não se diferenciarem significativamente, o rendimento de grãos da BMX Elite superou a cultivar NS 6209 em 270 kg/ha. Já para as parcelas que receberam aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha, a cultivar NS 6209 apresentou o maior valor absoluto, com rendimento de 5.107 kg/ha, demonstrando resposta favorável à aplicações de fungicidas para o controle da FAS com o maior volume de calda. Apesar do maior rendimento, NS 6209 não se diferenciou significativamente das cultivares BMX Ativa e BMX Elite (Tabela 4).

Ainda para os dados de rendimento na safra 2015/2016, as parcelas não tratadas das cultivares BMX Ativa, NS 6209 e FPS Urano apresentaram os menores valores. Apesar disso, a cultivar BMX Ativa, quando submetida a três aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha, apresentou aumento no rendimento final de 1.491 e 1.502 kg/ha, respectivamente, em comparação à Testemunha. Para todas as cultivares testadas, não houve diferenças significativas no rendimento entre parcelas que receberam aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 e 120 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização de jato-cônico vazio e de jato-plano simples, respectivamente. Esses resultados concordam com relatos de Román et al. (2009), de

que sob condições ambientais adequadas à aplicação, a utilização de diferentes volumes de calda fungicida distribuídos por pontas de pulverização distintas, não interfere no controle da FAS e, conseqüentemente, no rendimento de grãos.

Tabela 4 - Rendimento de grãos e ganho em relação à Testemunha sem aplicação, de cultivares de soja submetidas a aplicações de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática com volumes de calda de 50 e 120 L/ha. Passo Fundo – 2018

Safrá 2015/2016					
Cultivar	Testemunha	50 L/ha	Ganho	120L/ha	Ganho
BMX Ativa	3484 c B	4978 ab A	1494	4986 abc A	1502
BMX Elite	4345 a B	5122 a A	777	5053 ab A	708
NS 5445	4175 ab B	4865 ab A	690	4673 cd A	498
NS 6209	3498 c B	4852 ab A	1354	5107 a A	1609
P 95R51	3975 b B	4403 c A	428	4593 d A	618
FPS Urano	3479 c B	4693 bc A	1214	4760 bcd A	1281
MÉDIA	3826	4819	993	4862	1036
C.V. (%)	4,49				
Safrá 2016/2017					
BMX Ativa	5203 a C	6175 a A	972	5772 a B	569
BMX Elite	5299 a B	5143 b B	-156	5797 a A	498
NS 5445	4771 b B	5508 b A	737	5574 a A	803
NS 6209	4244 c B	5152 b A	908	5048 bc A	804
P 95R51	4966 ab B	5476 b A	510	5392 ab A	426
FPS Urano	4274 c B	4680 c A	406	4884 c A	610
MÉDIA	4793	5355	563	5411	618
C.V. (%)	4,65				

Nota: médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si (Tukey<0,05).

Valores informados em kg/ha com umidade dos grãos corrigida à 13%.

Na safra 2015/2016, todos os tratamentos se diferenciaram da Testemunha sem aplicação. Para os dados de rendimento da safra 2016/2017, das parcelas não tratadas,

BMX Ativa, BMX Elite e P 95R51 apresentaram os maiores rendimentos (5.203, 5.299 e 4.966 kg/ha, respectivamente). Já quando submetidas à aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 L/ha, a cultivar BMX Ativa apresentou o maior rendimento de grãos (6.175 kg/ha) em relação às outras cultivares, enquanto BMX Elite (5.143 kg/ha) não se diferenciou da sua Testemunha sem aplicação. Para aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha, as cultivares BMX Ativa, BMX Elite, NS 5445 e P 95R51 demonstraram os maiores valores. Apesar disso, P 95R51 não se diferenciou estatisticamente de NS 6209 (Tabela 4).

Na safra 2016/2017, BMX Ativa apresentou maior rendimento quando submetida a duas aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 L/ha, superando em 7,0% o rendimento de grãos das parcelas submetidas a duas aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha. Já a cultivar BMX Elite apresentou maior rendimento de grãos quando submetida a duas aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha, confirmando os resultados obtidos nas avaliações da evolução da severidade da FAS, em que BMX Ativa demonstrou menor severidade final quando submetida a aplicações com volume de calda de 50 L/ha e BMX Elite, a menor severidade quando submetida à aplicações com volume 120 L/ha (Figura 7).

### 3.5 Conclusões

Para as cultivares hiperprecoce NS 5445 e P 95R51 e a cultivar mais tardia NS 6209, em safra de alta intensidade da FAS, aplicações de fungicidas com pontas de pulverização de jato-plano XR 110015® e volume de calda de 120 L/ha proporcionam maior controle da FAS que aplicações com volume de 50 L/ha distribuídos por pontas de pulverização de jato-cônico JA-1®.

Sob condições ambientais adequadas, a utilização de pontas de pulverização de jato-cônico vazio JA-1® em aplicações de fungicidas para o controle da FAS, proporciona controle similar à aplicações com pontas de pulverização de jato-plano simples XR 110015®.

A utilização de pontas de pulverização de jato-plano simples XR 110015® e volume de 120 L/ha na aplicação de fungicidas para o controle da FAS em cultivares de soja com elevada estatura de plantas, proporciona maior controle da doença que aplicações com pontas de pulverização de jato-cônico vazio JA-1® e volume de 50 L/ha.

Com exceção das cultivares BMX Ativa e BMX Elite na safra 2016/2017, não há diferenças no rendimento de grãos para as cultivares de soja testadas, quando submetidas à aplicações de fungicidas para o controle da FAS com volumes de calda de 50 L/ha distribuídos por pontas de pulverização de jato-cônico vazio JA-1® e de 120 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização de jato-plano simples XR 110015®.

## 4 CAPÍTULO II

Deposição e cobertura da calda fungicida para o controle da ferrugem-asiática da soja em função do volume e da ponta de pulverização

### 4.1 Resumo

Uma forma de maximizar a autonomia operacional dos pulverizadores na aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja (FAS), é a adoção de baixos volumes de calda por hectare. Contudo, a aplicação fitossanitária com baixos volumes, além de aumentar o risco de perdas por deriva e evaporação, pode comprometer a deposição do produto sobre o alvo biológico. Dessa forma, o trabalho objetivou comparar o controle da FAS e a produtividade em função da deposição e cobertura da calda fungicida aplicada em dois volumes com pontas de pulverização distintas. No campo experimental da FAMV/UPF, em delineamento inteiramente casualizado com seis repetições, três cultivares de soja receberam os seguintes tratamentos: aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 L/ha com pontas de pulverização de jato-cônico vazio, aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha com pontas de jato-plano simples e plantas sem aplicação (testemunhas). Na terceira aplicação, adicionou-se um marcador fluorescente à calda para a determinação da deposição e cobertura da calda no interior do dossel das plantas. Dez dias após a primeira aplicação, avaliou-se periodicamente a severidade da FAS até o final da maturação fisiológica, obtendo-se a severidade e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). A aplicação fungicida com volume de calda de 120 L/ha proporciona maior cobertura nos dosséis superior e médio das plantas, o que é revertido em controle da doença 18,6% superior em relação às aplicações com volume de 50 L/ha. Não há diferenças significativas entre os volumes aplicados quanto a deposição da calda e rendimento de grãos para as cultivares testadas. A cultivar P 95R51 é mais responsiva às aplicações com volume de 120 L/ha, a qual supera o controle da FAS em 27,8% em relação às aplicações com volume de 50 L/ha.

Palavras-chave: 1. *Phakopsora pachyrhizi*. 2. Baixo volume. 3. Qualidade da aplicação. 4. Marcador fluorescente.

### 4.2 Introdução

Um dos principais desafios em aplicações de fungicidas na cultura da soja é proporcionar a deposição e cobertura das gotas da calda de pulverização sobre os sítios de infecção da doença. Em estádios fenológicos reprodutivos, quando as plantas



atingem o máximo do seu desenvolvimento, ocorrendo o fechamento das entrelinhas, há uma maior dificuldade de penetração das gotas da calda pulverizada, principalmente nas folhas do dossel inferior. No caso da ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow, 1914), doença cujo início da infecção ocorre, na maior parte das vezes, nas folhas do terço inferior em estádios fenológicos próximos ao florescimento, além dos elevados índices de área foliar, as folhas do terço superior agem como uma barreira física contra a penetração das gotas da calda fungicida no interior do dossel da cultura.

O êxito de uma aplicação fitossanitária só é possível quando utilizados os princípios de tecnologia de aplicação. Para tal, faz-se necessário o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto ativo sobre o alvo de forma racional. Dessa forma, o sucesso de uma pulverização depende da deposição e distribuição do produto biologicamente ativo no alvo, na quantidade e momento corretos, de forma econômica, sem causar impactos ao meio-ambiente e evitando a contaminação de áreas vizinhas (MATUO, 1990). Portanto, a escolha do tratamento fitossanitário eficaz, da ponta de pulverização e volume de calda adequados, e do momento oportuno, são fatores primordiais para a obtenção de níveis desejáveis no controle da doença.

Além da quantidade do ingrediente ativo depositado no alvo biológico, a uniformidade da cobertura é fator indispensável a ser considerado em uma aplicação. Nesse contexto, a determinação do volume da calda e a escolha da ponta de pulverização, são as variáveis de maior importância em uma pulverização.

Outro fator a ser considerado na determinação do volume de calda por hectare é a arquitetura das plantas de soja. Para culturas que apresentam elevados índices de área foliar (IAF), há necessidade da adoção de maiores volumes de calda por hectare, garantindo a cobertura almejada. Cultivares de soja com hábito de crescimento determinado não ramificam após o florescimento, produzindo menor número de ramos por planta. Apresentam folhas grandes e o tamanho das folhas do terço superior é semelhante ao tamanho das folhas presentes nos outros terços da planta. Já cultivares de hábito de crescimento indeterminado, crescem e se ramificam mesmo após o

florescimento, produzindo maior número de ramos, porém com folhas menores, assumindo muitas vezes formato cônico. Esse formato cônico, pode facilitar a deposição de maior volume da calda pulverizada nas porções inferiores das plantas, em comparação com cultivares de hábito determinado.

O mercado oferece fungicidas eficazes para o controle da ferrugem-asiática da soja, os quais são recomendados na sua grande maioria, quando em aplicações terrestres, diluídos em volume de calda de 200 L/ha produzidos por pontas de pulverização produtoras de gotas de espectro médio. No entanto, com o intuito de aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores reduzindo o custo das aplicações, existe uma tendência de redução do volume de aplicação (BOLLER; MACHRY, 2007), chegando-se à situações da adoção de volumes de calda inferiores a 50 L/ha, especialmente quando se trata da aplicação de herbicidas.

Como as variáveis volume de calda por hectare e espectro de gotas são diretamente proporcionais, em pulverizações hidráulicas com baixo volume de calda, deve-se utilizar pontas que produzem gotas de espectro fino a muito-fino. As gotas de espectro fino, além de terem maior facilidade de penetração no interior do dossel das plantas, fornecem maior cobertura do alvo (CUNHA et al., 2008). No entanto, em condições de temperatura elevada, baixa umidade relativa do ar e velocidade do vento abaixo de 3,0 km/h, essas gotas podem ser perdidas por evaporação mesmo antes de atingirem o alvo biológico (VITÓRIA; LEITE, 2014). Ou ainda, sob condições ambientais adversas e velocidade do vento acima de 10 km/h, as gotas de espectro fino são mais suscetíveis a perdas por deriva.

Dessa forma, o presente trabalho objetivou comparar a deposição e a distribuição das gotas da calda fungicida no interior do dossel de três cultivares de soja com hábito de crescimento indeterminado, submetidas à aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização de jato-cônico vazio e de jato-plano simples, respectivamente. Bem como, avaliar o controle da ferrugem-asiática e o rendimento de grãos em função dessas variáveis.

### 4.3 Material e Métodos

O ensaio foi conduzido no campo experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS na safra 2015/2016. A área está situada na altitude de 687 m acima do nível do mar, latitude 28° 23' S e longitude 52° 38' O. A região apresenta clima subtropical úmido, com chuvas em todos os meses do ano, sendo a média total anual de 1.788 mm. A média de temperatura nos meses mais frios é de 12 °C, enquanto nos meses mais quentes, é de 22 °C (EMBRAPA TRIGO, 2016).

Em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições por tratamento, o ensaio foi estabelecido em arranjo bifatorial 3 x 2 + 1 (três cultivares de soja com hábito de crescimento indeterminado e dois volumes de calda fungicida + uma Testemunha sem aplicação). Os volumes da calda fungicida aplicados foram: 50 L/ha, com pontas de pulverização modelo JA-1® (jato-cônico vazio) e 120 L/ha, com o modelo XR110015® (jato-plano simples de faixa ampliada). As cultivares foram BMX Elite IPRO, NS 5445 IPRO e P 95R51.

A cultivar BMX Elite IPRO é de ciclo precoce pertencente ao grupo de maturação 5.5, apresentando ramificação média (BRASMAX GENÉTICA, 2016). Já as cultivares NS 5445 IPRO e Pioneer 95R51, são hiperprecoces com elevada capacidade de ramificação. NS 5445 pertence ao grupo de maturação 5.4 (NIDERA SEMENTES, 2016) e Pioneer 95R5, ao grupo de maturação 5.1 (PIONEER SEMENTES, 2016).

A soja foi estabelecida no dia 09/11/2015 com densidade de semeadura regulada para 300.000 plantas/ha e adubação de 300 kg/ha do fertilizante 2-30-15 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). As parcelas experimentais foram estabelecidas com seis fileiras de plantas, medindo 10,0 m de comprimento e espaçadas a 0,45 m entre si, perfazendo uma área de 27,0 m<sup>2</sup>/parcela. A primeira e a sexta linhas foram utilizadas como bordaduras, a segunda e quinta linhas para a análise da quantidade e distribuição dos depósitos da calda, e as quatro linhas centrais foram utilizadas para as avaliações da severidade da doença e do rendimento final.

Em 21 de dezembro de 2015 foi realizada uma pulverização, antes da aplicação dos tratamentos, em área total visando o fornecimento de micronutrientes, bem como, o controle de plantas daninhas, oídio (*Erysiphe diffusa* Cooke & Peck) e das lagartas falsa-medideira (*Pseudoplusia includens* Walker) e da soja (*Anticarsia gemmatalis* Hübner). Em volume de 100 L/ha, a calda fitossanitária foi composta por 100 mL/ha do fertilizante foliar CoMol (1,0% de cobalto + 10,0% de mobilidênio), em mistura com 2,5 L/ha do herbicida glifosato (360 g/L), 200 g/ha do inseticida fisiológico diflubenzurom (250 g/kg) e 500 mL/ha do fungicida piraclostrobina (133 g/L) + epoxiconazol (50 g/L), acrescidos de 500 mL/ha de adjuvante à base de óleo mineral (756 g/L).

A aplicação dos tratamentos teve início em 08/01/2016, quando detectado 5% de incidência foliar da FAS no dossel inferior das plantas presentes no ensaio. Nesse momento, as cultivares BMX Elite e NS 5445 estavam no estágio fenológico R2 e P 95R51 em R3 (FEHR; CAVINESS, 1977). Na primeira aplicação, a calda foi composta por 400 mL/ha do fungicida trifloxistrobina (150 g/L) + protioconazol (175 g/L) acrescido do adjuvante éster metílico de óleo de soja (720 g/L) na concentração de 0,25% do volume da calda. A segunda e terceira aplicações foram realizadas nos dias 22/01 e 05/02, respectivamente, sendo ambas compostas por 200 g/ha do fungicida azoxistrobina (300 g/kg) + benzovindiflupir (150 g/kg) acrescido de 600 mL/ha de adjuvante à base de óleo mineral (428 g/L).

Para o tratamento 50 L/ha da calda fungicida distribuída por pontas de pulverização JA-1®, as quais produziram gotas de espectro muito-fino a fino (ASABE, 2009) sob pressão de trabalho de 4,0 bar, o conjunto trator-pulverizador movimentou-se à velocidade de 7,8 km/h. Já para o tratamento 120 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização XR110015®, as quais produziram gotas de espectro fino sob pressão de trabalho de 3,0 bar, o conjunto trator-pulverizador movimentou-se à velocidade de 6,0 km/h. No momento das aplicações, as condições ambientais foram monitoradas através de um termo higrô anemômetro portátil modelo AVM-40 (Kestrel® 3000), registrando a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar (Tabela 1).

Tabela 1 - Variações das condições ambientais nos momentos das aplicações dos tratamentos fungicidas. Passo Fundo – 2018

Data	Horários <sup>(1)</sup> (início e término)	$\Delta$ <sup>(2)</sup> Temperatura (°C)	$\Delta$ Velocidade do vento (km/h)	$\Delta$ Umidade relativa do ar (%)
08/01/2016	16:40 - 17:35	28,60 – 31,30	3,52 – 6,56	53,80 – 66,30
22/01/2016	11:15 - 12:15	26,80 – 30,00	1,92 – 3,68	74,60 – 78,00
05/02/2016	13:34 – 14:45	27,00 – 32,40	2,24 – 8,90	66,60 – 82,20

<sup>1</sup> Refere-se aos horários de início e término da aplicação dos tratamentos.

<sup>2</sup>  $\Delta$  refere-se a variação (valor mínimo e máximo registrados) no período das aplicações.

Um dia antes da primeira e segunda aplicações, foram removidas dez plantas de cada cultivar para a determinação da estatura e do índice de área foliar (IAF) presente em cada terço das plantas (Tabela 2). Para a obtenção do IAF/terço, plantas foram divididas em três partes iguais (terço inferior, médio e superior) e suas folhas foram destacadas. Através do medidor de área foliar de bancada LI-3100C® foi determinada a área total (cm<sup>2</sup>) das folhas destacadas de cada terço. Multiplicando-se a quantidade de plantas presentes em cada metro quadrado de solo pelo somatório da área foliar obtida por planta (valor corrigido para m<sup>2</sup>) determinou-se o IAF.

Tabela 2 - Estádio fenológico, estatura média, índice de área foliar (IAF) e percentual do IAF por terço das plantas no momento das aplicações dos tratamentos. Passo Fundo – 2018

Primeira aplicação – 08 de janeiro de 2016						
Cultivar	Estádio fenológico	Estatura (m)	IAF <sup>(1)</sup>	% IAF Superior	% IAF Médio	% IAF Inferior
BMX Elite	R2	0,50	5,31	51	28	21
NS 5445	R2	0,54	6,50	50	30	20
P 95R51	R3	0,55	4,07	53	27	20
Segunda aplicação – 22 de janeiro de 2016						
BMX Elite	R4	0,79	9,44	65	23	12
NS 5445	R5	0,73	9,24	60	27	13
P 95R51	R 5.1	0,76	7,21	60	25	15

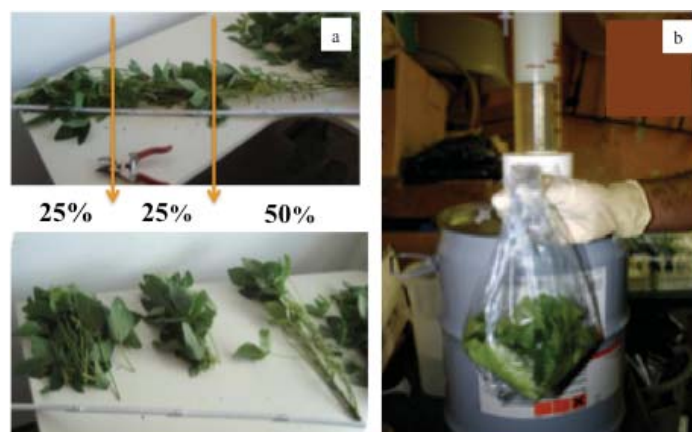
<sup>1</sup> Representa a quantidade de área foliar por área de solo (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>).

Na terceira aplicação, acrescentou-se o marcador fluorescente Helios SC 500™ (Syngenta), na concentração de 0,1% (v/v) da calda de pulverização, para a

quantificação da deposição e cobertura em cada porção das plantas. Trinta minutos após a aplicação, foram amostradas aleatoriamente 30 plantas de cada tratamento, presentes na segunda e quinta fileiras de plantio. As plantas foram levadas para o laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas da FAMV/UPF, onde foram separadas em três porções do dossel: inferior, médio e superior. O dossel inferior correspondeu a 50% da estatura total da planta, e os dosséis médio e superior a 25% cada porção (Figura 1a), de acordo com a metodologia utilizada pela Equipe Global de Aplicação da Syngenta Crop®.

Os legumes foram removidos, utilizando-se as folhas destacadas e hastes para a determinação da massa (g) e do IAF de cada porção do dossel. Após a determinação da massa e do IAF, para cada uma das porções, 15 das 30 repetições foram acomodadas em sacos plásticos, onde receberam 0,25 L do solvente orgânico isopropanol e foram submetidas a agitação manual por 30 segundos, para a remoção do marcador Helios SC 500™ (Figura 1b).

Figura 1 - Divisão das plantas em dosséis superior, médio e inferior (a). Adição de isopropanol em amostras de plantas para a remoção do marcador por agitação manual (b). Passo Fundo - 2018



Fonte: Stefan Wolf, 2016.

As suspensões foram filtradas e utilizadas para a determinação da concentração do marcador por fluorimetria com comprimento de onda de 365 nm. A partir da curva

de calibração, obtida pela diferença entre a concentração do marcador amostrado no início e no final da pulverização, foram determinados os valores da concentração de Helios SC 500™ através da Equação 1:

$$\text{Equação 1: } V_i = \frac{C_f \times V_f}{C_i}$$

Onde:  $V_i$  é o volume de depósito

$C_f$  é a concentração do marcador detectada no espectrofotômetro (mg/L)

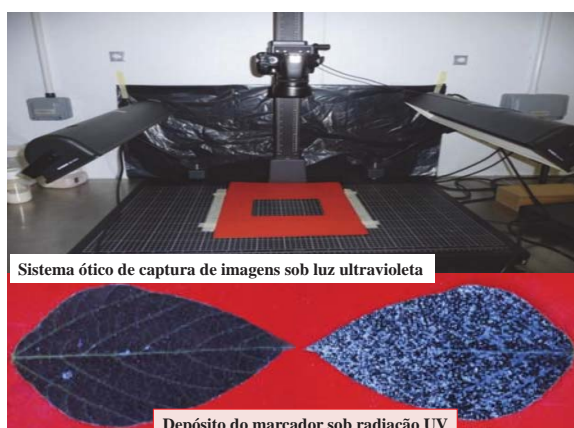
$V_f$  é o volume da diluição (0,25 L)

$C_i$  é a concentração do traçador na calda (0,1% v/v).

De posse dos valores das quantidades de depósitos obtidos e IAF, foram calculados os volumes de depósitos em  $\text{ng/cm}^2$  em razão da massa de folhas amostrada por hectare (g/ha).

Dez trifólios de cada porção do dossel foram destacados para serem utilizados na avaliação do percentual de cobertura foliolar nas faces adaxial e abaxial. Através da captura de imagens em câmara escura provida de luz ultravioleta (Figura 2), as imagens foram utilizadas para a determinação da cobertura pelo software FluorSoft®.

Figura 2 - Processo de captura de imagens da deposição do marcador Helios SC 500™ nas faces adaxial e abaxial de folhas de soja. Passo Fundo – 2018



Fonte: Stefan Wolf, 2016.

Os dados de deposição e cobertura da calda obtidos foram submetidos à análise de variância a 99% de significância ( $p < 0,01$ ). Havendo diferenças entre as médias, essas foram comparadas pelo teste de Tukey, também a 99% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

Dez dias após cada aplicação, foram amostrados dez trifólios dos terços médio e inferior das plantas presentes na segunda, terceira, quarta e quinta fileiras. Os trifólios foram destacados e utilizados na avaliação da severidade, seguindo a escala diagramática da ferrugem-asiática da soja desenvolvida por Godoy et al., 2006. Os dados de severidade foram utilizados para a determinação do controle da FAS em relação à Testemunha e na construção da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), conforme metodologia proposta por Campbell e Madden (1990).

No final do ciclo de cada uma das cultivares, três fileiras de plantas – segunda, terceira e quarta de acordo com o sentido da passagem da barra do pulverizador, foram colhidas para a determinação do rendimento com os teores de umidade corrigidos para 13%.

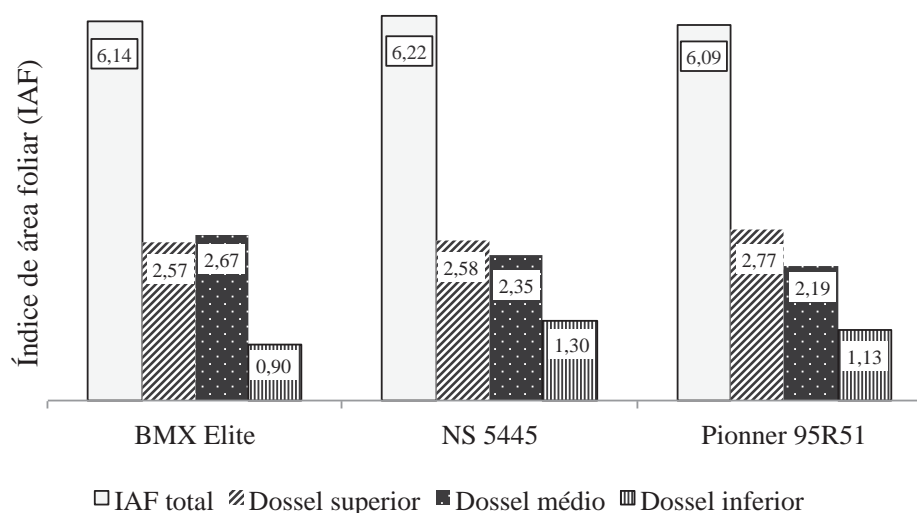
Procedeu-se a análise de variância (ANOVA) para os dados de controle da FAS, AACPD e rendimento de grãos (F-Teste a 5% de probabilidade de erro), verificando dessa forma a existência ou não de diferenças entre os tratamentos. Havendo diferenças significativas entre as médias, essas foram confrontadas pelo teste de comparação de médias de Tukey, também a 5% de probabilidade de erro.



#### 4.4 Resultados e Discussão

Na avaliação do IAF realizada no momento da terceira aplicação, quando a cultivar BMX Elite estava no estágio fenológico R5, NS 5445 em R5.2 e P 95R51 em R5.4, não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares tanto para o IAF total, quanto para a distribuição dessa variável entre as três porções do dossel (Figura 3). Apesar das diferenças na estatura média das plantas entre as cultivares (BMX Elite com 0,94 m, NS 5445 com 0,84 m e P 95R51 com 0,87), os três materiais apresentaram distribuição do IAF/porção muito similares, com maior concentração da área foliar nos dosséis superior e médio da plantas.

Figura 3 - Índices de área foliar (IAF) e distribuição nos dosséis superior, médio e inferior de diferentes cultivares de soja na safra 2015/2016. Passo Fundo – 2018

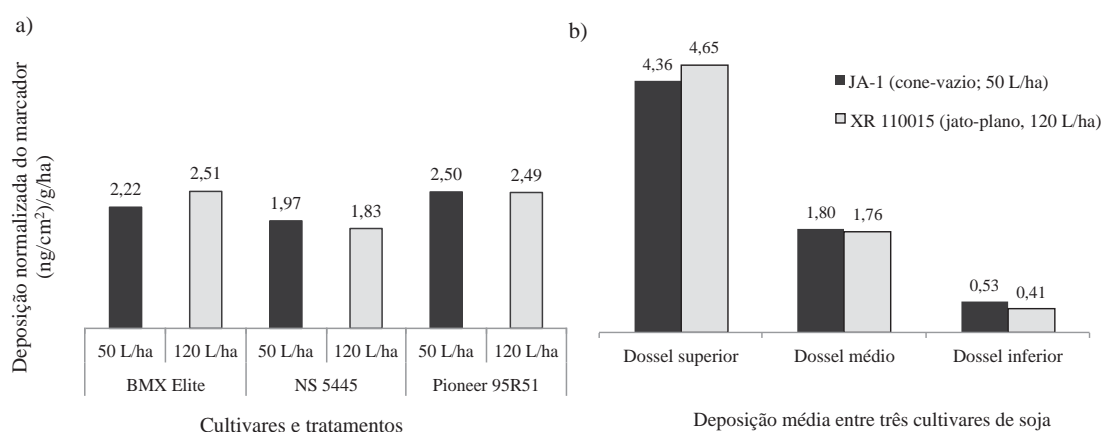


Fonte: dados do autor.

Da mesma forma, na determinação da média de deposição da calda fungicida entre as três porções do dossel, representada pelo marcador fluorescente, para cada uma das cultivares, não foram observadas diferenças significativas entre aplicações realizadas com volume de calda de 50 e 120 L/ha. Apesar disso, para a cultivar BMX Elite, a aplicação da calda fungicida com volume de 120 L/ha demonstrou deposição 13% superior à aplicação com volume de calda de 50 L/ha (Figura 4a).

Também para a média da deposição da calda fungicida nos dosséis superior, médio e inferior para as três cultivares, não houve diferenças significativas entre aplicações com volume de 50 e 120 L/ha, representadas por níveis de depósito total de 6,69 e 6,82 (ng/cm<sup>2</sup>)/(g/ha), respectivamente. Para a aplicação de 50 L/ha, 65,2% de deposição da calda se concentrou no dossel superior, 26,9% no dossel médio e 7,9% no inferior. Enquanto que para a aplicação com volume de 120 L/ha, 68,2% da deposição se concentrou no dossel superior, 25,8% no dossel médio e 6,0% no inferior (Figura 4b). Apesar de não se diferenciarem estatisticamente em valores absolutos, a aplicação com volume de 120 L/ha resultou em maior deposição na porção superior, enquanto que a aplicação com volume de 50 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização de jato-cônico vazio, demonstrou maior deposição no dossel inferior (Figura 4b).

Figura 4 - Deposição média do marcador nas três porções do dossel em diferentes cultivares de soja (a); Distribuição da deposição do marcador nos dosséis superior, médio e inferior de plantas de soja (b). Passo Fundo - 2018

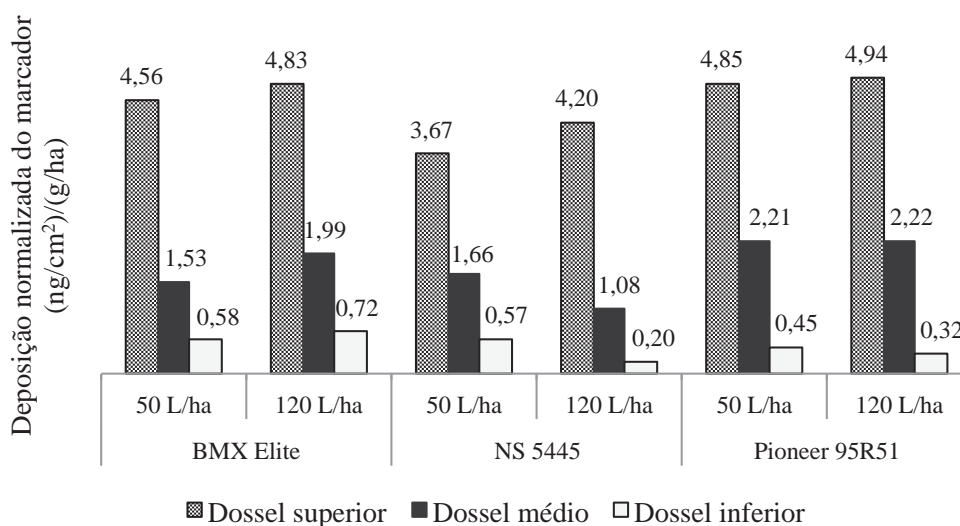


Tais resultados corroboram com relatos de Cunha et al. (2008) de que gotas de espectro mais fino, distribuídas por pontas de pulverização de jato-cônico, tendem a proporcionar uma maior deposição de gotas no dossel inferior das plantas de soja.

Para os dados de deposição total da calda fungicida em cada porção do dossel das plantas, para cada uma das cultivares avaliadas, não foram observadas diferenças

significativas entre aplicação com 50 e 120 L de calda fungicida por hectare (Figura 5). No entanto, para as três cultivares, aplicação com 120 L/ha apresentou maior deposição no dossel superior das plantas. Em trabalhos anteriores, Prado et al. (2015) comparando a deposição da calda em plantas de soja, nas safras 2009/2010 e 2010/2011, submetidas a aplicação de fungicida com volumes de calda de 60, 110 e 160 L/ha, com e sem a adição de surfactante siliconado, observaram não haver diferenças significativas de deposição nos dosséis médio e inferior, independentemente do volume e da utilização ou não do surfactante.

Figura 5 - Distribuição da deposição do marcador Helios SC 500® nos dosséis superior, médio e inferior de três cultivares de soja. Passo Fundo – 2018

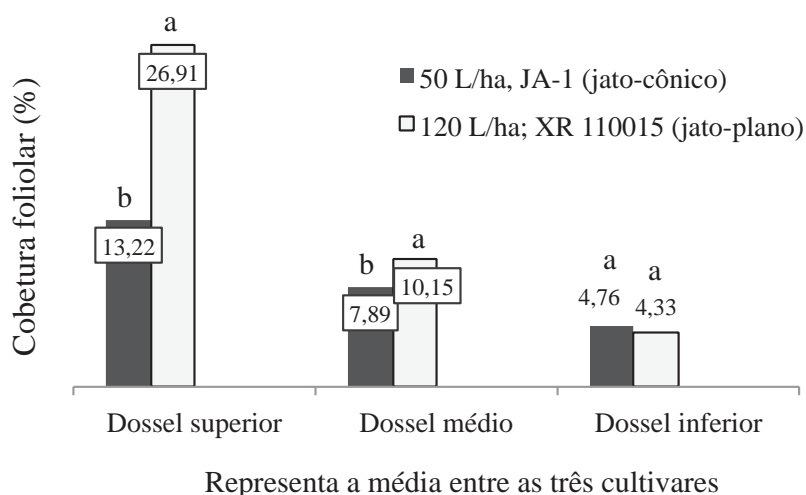


Para as cultivares NS 5445 e P 95R51, a aplicação com volume de calda 50 L/ha resultou em um aumento de 185 e 40%, respectivamente, da deposição no dossel inferior em relação à aplicação com 120 L/ha. Enquanto que para a cultivar BMX Elite, a aplicação com volume de 50 L/ha resultou em deposição 19% menor no dossel inferior em comparação à aplicação com volume de 120 L/ha (Figura 5). Esse menor nível de depósito da calda fungicida, pode ser explicado pela maior estatura média das plantas da cultivar BMX Elite no momento da aplicação. Enquanto as cultivares NS 5445 e P 95R51 apresentaram estatura média de plantas de 0,84 e 0,87 m

respectivamente, a estatura média da BMX Elite foi de 0,94, o que pode ter proporcionado perdas por evaporação ou deriva das gotas pulverizadas, antes mesmo das mesmas se depositarem nas folhas do dossel inferior.

Na avaliação da cobertura média foliolar, obtida pela análise de imagens, foram observadas diferenças significativas no percentual de cobertura somente nos dosséis superior e médio das plantas submetidas à aplicação com diferentes volumes de calda (Figura 6).

Figura 6 - Percentual da cobertura média foliolar da calda fungicida representada pelo marcador Helios SC 500™ nos dosséis superior, médio e inferior em cultivares de soja. Passo Fundo – 2018



Nota: letras iguais sobre barras de cores diferentes, para cada porção do dossel, não diferem entre si (Tukey<0,01).

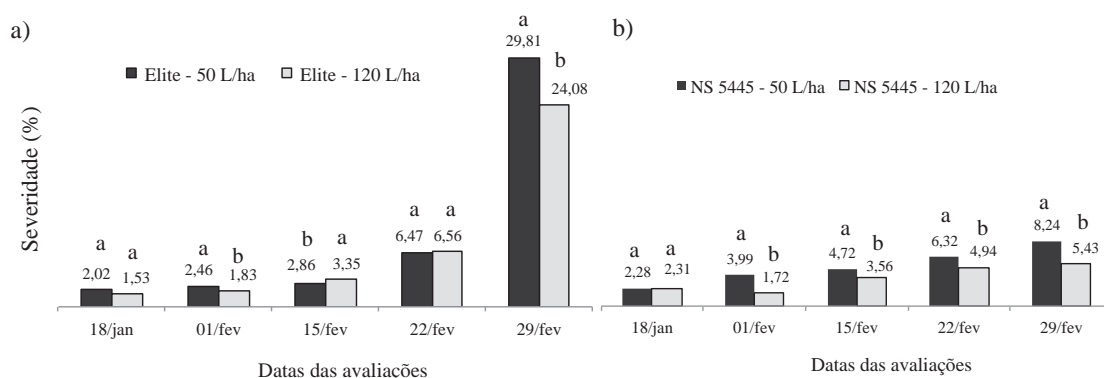
Os dados de cobertura obtidos concordam com resultados apresentados por Barbosa, Griffin e Hollier (2009), que avaliando os níveis de depósito do marcador tartazine (FD & C Yellow #5) em plantas de soja submetidas à aplicações com volumes de calda de 46,7; 93,4 e 140 L/ha, observaram que os volumes de 93,4 e 140 L/ha proporcionaram maior deposição nos dosséis médio e superior, enquanto que para o dossel inferior, não houve diferenças significativas na deposição do marcador entre os volumes de calda testados.



terceira aplicação, pontas de pulverização produtoras de gotas de espectro fino proporcionaram a maior cobertura no dossel médio das plantas. Enquanto a cultivar Fcep 53 RR apresentou estatura média de plantas de 0,75 m, média de 3,1 ramos/planta e IAF de 3,3 no momento da terceira aplicação, a média da estatura das plantas para as cultivares BMX Apollo RR, NA 7636 RR e TMG 4001RR foi de 0,88 m, as média de ramos/planta foi de 5,3 e, o IAF médio foi de 4,1 (DEBORTOLI et al., 2012).

Assim como para os dados do percentual de cobertura, para as avaliações da severidade da FAS das cultivares BMX Elite e NS 5445, foram observadas diferenças significativas entre plantas tratadas com volume de calda fungicida de 50 e 120 L/ha (Figura 8).

Figura 8 - Severidade da ferrugem-asiática para as cultivares de soja BMX Elite (a) e NS 5445 (b) em avaliações realizadas ao longo do período da epidemia da doença. Passo Fundo – 2018



Notas: para cada avaliação, letras iguais sobre barras de cores diferentes, não diferem entre si (Tukey<0,05).

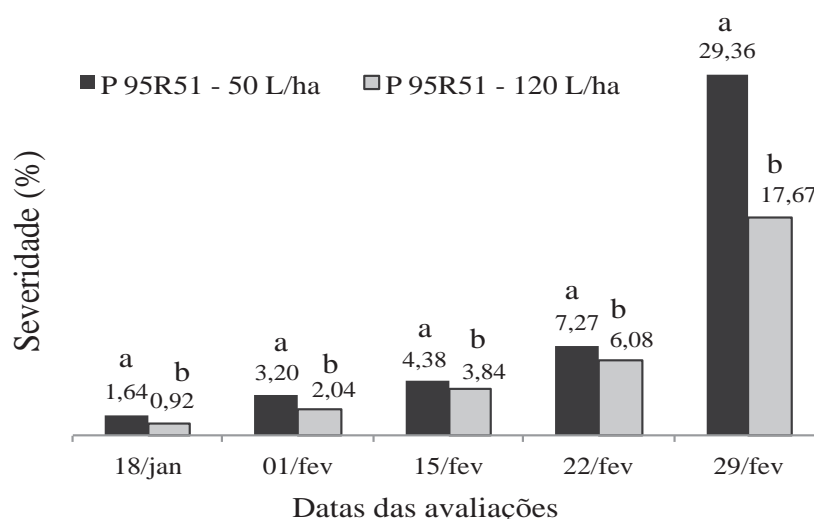
C.V. (%): 18/jan = 24,75; 01/fev = 13,68; 15/fev = 7,85; 22/fev = 13,21; 29/fev = 16,18.

Para a cultivar BMX Elite, que apresentou o menor desenvolvimento da doença no início do ciclo, seguido de maior desenvolvimento final, a severidade da FAS nos dias 01 e 29/02 em plantas tratadas 120 L/ha da calda fungicida, mostraram-se inferiores à severidade de plantas que receberam aplicações com volume de 50 L/ha. Em contrapartida, na avaliação realizada 45 dias após o início das aplicações (15/02), a severidade de plantas tratadas com 50 L/ha da calda foi inferior a severidade de plantas

que receberam aplicações com volume de 120 L/ha. Já para a NS 5445, cultivar que apresentou o maior IAF, a exceção da primeira avaliação, realizada em 18/01, a severidade em plantas tratadas com 50 L/ha da calda fungicida, foi superior à de plantas que receberam aplicações com o volume de 120 L/ha (Figura 8).

Para os dados de severidade da P 95R51, cultivar que apresentou maior cobertura na face abaxial das folhas na aplicação com volume de calda 120 L/ha (Figura 7), aplicações de fungicidas com o volume de 120 L/ha, resultaram em menor severidade da doença em relação à aplicações com volume de 50 L/ha em todas as avaliações realizadas (Figura 9).

Figura 9 - Severidade da ferrugem-asiática da soja em avaliações realizadas ao longo do período da epidemia da doença. Cultivar P 95R51, Passo Fundo – 2018



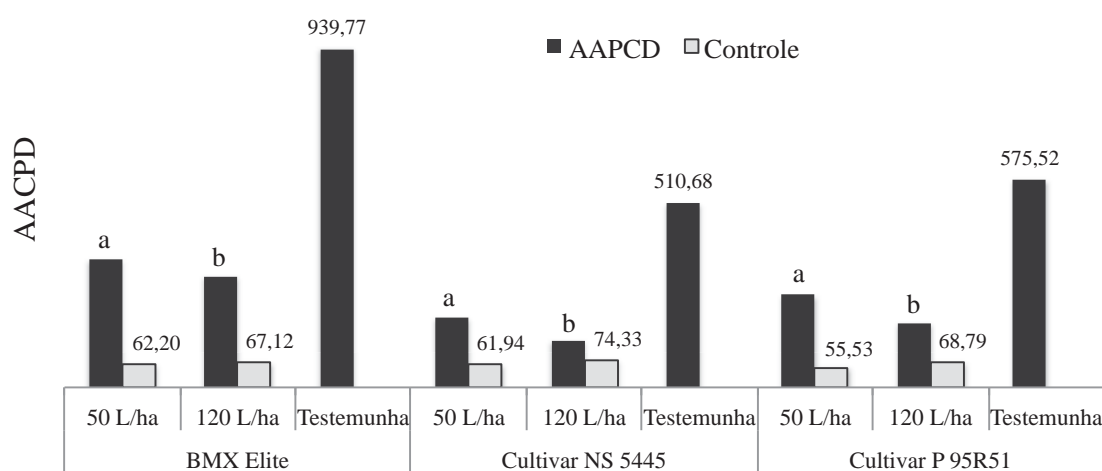
Notas: para cada avaliação, letras iguais sobre barras de cores diferentes, não diferem entre si (Tukey<0,05).

C.V. (%): 18/jan = 24,75; 01/fev = 13,68; 15/fev = 7,85; 22/fev = 13,21; 29/fev = 16,18.

Assim como para as avaliações da severidade da FAS, plantas de soja das três cultivares testadas, submetidas à aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha distribuídos por pontas de jato-plano, apresentaram menor AACPD que aquelas submetidas à aplicações com volume de 50 L/ha distribuídos por pontas de jato-cônico.

Esses valores foram revertidos em maiores percentuais de controle da doença em relação à Testemunha sem aplicação (Figura 10).

Figura 10 - Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e controle da ferrugem-asiática em relação à Testemunha sem aplicação, de três cultivares de soja submetidas a aplicações de fungicidas com volumes de calda de 50 e 120 L/ha. Passo Fundo – 2018



Notas: letras iguais sobre barras de mesma cor, dentro de cada cultivar, não diferem entre si (Tukey<0,05). C.V. (%) = 4,55.

Prado et al. (2015), comparando a AACPD da ferrugem-asiática em plantas de soja submetidas à aplicações de fungicidas com volumes de calda de 60, 110 e 160 L/ha, com ou sem adição de surfactante, observaram que somente em uma das duas safras avaliadas, aplicações de fungicidas com volume de 160 L/ha com adição de surfactante siliconado, resultou em menor AACPD.

Para os valores de rendimento de grãos, não houve diferenças significativas entre plantas de soja submetidas à aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 e 120 L/ha. Apesar de não se diferenciar significativamente, assim como para as avaliações da deposição e cobertura da calda e de severidade da FAS, a cultivar P 95R51 apresentou



rendimento superior quando submetida à aplicações com volume de calda de 120 L/ha. Todas os tratamentos se diferenciaram da testemunha sem aplicação (Tabela 3).

Tabela 3 - Rendimento de grãos em kg/ha de três cultivares de soja submetidas a aplicações de fungicidas com os volumes de calda de 50 e 120 L/ha e suas respectivas testemunhas. Passo Fundo – 2018

Cultivar	Rendimento		
	Testemunha	50 L/ha	120 L/ha
BMX Elite	4344 a ns*	5122 a	5053 a
NS 54455	4175 ab	4856 b	4673 b
P 95R51	3975 b	4403 b	4593 b
C.V. (%)	4,61		

Notas: \* ns representa não significância entre volumes de calda.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (Tukey<0,05). C.V. (%) = 4,61.

De modo geral, a cultivar P 95R51, a qual apresentou o menor IAF em todas as aplicações, foi a mais responsiva à aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha distribuídos por pontas de pulverização de jato-plano em relação à aplicações com volume de 50 L/ha. Para essa cultivar, aplicações com 120 L/ha resultaram em um controle 27,8% superior em relação à aplicação com baixo volume de calda, o que resultou em ganho 190 kg/ha de no rendimento de grãos em relação ao tratamento 50 L/ha.

#### 4.5 Conclusões

Não existem diferenças na deposição da calda fungicida no interior do dossel da plantas entre aplicações realizadas com pontas de jato-cônico vazio (JA-1®) e volume de calda de 50 L/ha e pontas de jato-plano simples (XR 110015®) e volume de calda de 120 L/ha.

As três cultivares testadas concentram o maior IAF no dossel superior das plantas, seguido do dossel médio. Dessa forma, a maior deposição da calda fungicida incide nos dosséis superior e médio, respectivamente, com baixa deposição no dossel inferior.

Para as três cultivares avaliadas, a aplicação fungicida com pontas de jato-plano simples (XR 110015®) e volume de calda de 120 L/ha propicia maior cobertura foliolar nos dosséis superior e médio das plantas.

Aplicações com pontas de jato-plano simples (XR 110015®) e volume de 120 L/ha da calda fungicida, proporcionam maior controle da FAS em relação à aplicações realizadas com pontas de jato cônico vazio (JA-1®) e volume de 50 L/ha.

Não há diferença significativa no rendimento de grãos entre parcelas tratadas com volumes da calda fungicida de 50 L/ha distribuídos por pontas de jato-cônico vazio (JA-1®) e 120 L/ha distribuídos por pontas de jato-plano simples (XR 110015®).

## 5 CAPÍTULO III

### Sensibilidade de isolados de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas

#### 5.1 Resumo

A aplicação de fungicidas em órgãos aéreos de plantas é a prática mais utilizada na manutenção da intensidade da ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) abaixo do limiar de dano econômico. Apesar disso, nas últimas safras, uma redução na eficiência dos fungicidas tem sido observada. Dessa forma, o trabalho objetivou avaliar a fungitoxicidade, através da determinação da concentração inibitória (CI<sub>50</sub>) *in vitro* de três misturas de fungicidas a 14 isolados de *P. pachyrhizi* de regiões brasileiras produtoras de soja. Também para o isolado de Passo Fundo - RS, foi determinada a CI<sub>50</sub> dos ingredientes ativos presentes nas misturas de forma isolada e de uma mistura tripla recém-lançada no mercado. Em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento, os fungicidas foram incorporados em substrato ágar-água (2%) em placas de Petri. Em cada placa, foi adicionado 0,75 mL da suspensão de uredosporos de *P. pachyrhizi* para posterior contagem dos uredosporos viáveis. O fungicida composto da mistura azoxistrobina + benzovindiflupir é altamente fungitóxico para nove dos 14 isolados utilizados. Ambas as misturas triplas bixafem + protioconazol + trifloxistrobina e epoxiconazol + fluxapirroxade + piraclostrobina são altamente fungitóxicas para 12 dos 14 isolados. O isolado proveniente de Passo Fundo apresenta maior sensibilidade aos fungicidas isolados azoxistrobina, epoxiconazol, piraclostrobina e trifloxistrobina e a mistura dupla piraclostrobina + fluxapirroxade em relação a trabalhos anteriores. Há alterações, tanto na sensibilidade entre isolados aos ingredientes ativos testados, quanto em relação a valores da CI<sub>50</sub> obtidos em trabalhos anteriores.

Palavras-chave: 1. CI<sub>50</sub>. 2. Fungitoxicidade. 3. Ferrugem-asiática. 4. Alterações da sensibilidade.

#### 5.2 Introdução

No Brasil, segundo maior produtor mundial de soja [*Glycine max* (Merrill) L.] a ferrugem-asiática (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow (1914), ganha destaque como a principal doença da cultura. Altamente agressiva, a FAS causa desfolha prematura comprometendo a formação e o enchimento de grãos, o que gera danos que podem superar 80% da produtividade.

A primeira detecção da presença de FAS no Brasil data do ano de 2002, e desde então, diante dos relatos anteriores da agressividade da doença nos países de sua ocorrência, iniciou-se a aplicação de fungicidas em órgãos aéreos das plantas em todos os estados brasileiros onde se cultivava soja (YORINORI et al., 2005). Essas aplicações eram realizadas, em sua grande maioria, com fungicidas do grupo químico triazol (IDM), os quais apresentavam elevada eficiência no controle da doença devido a ação erradicante e curativa. Além dos IDM, alguns fungicidas do grupo químico estrobilurina (IQe), de forma isolada ou em mistura com IDM, foram utilizados com menor frequência em aplicações para o controle da doença (REIS et al., 2015a, p. 15).

Os fungicidas do grupo químico triazol foram os primeiros inibidores da desmetilação do esterol (IDM). Com ação sítio-específica, os IDM removem um grupo metila (C14) do 24-metilenodihidrolanosterol impedindo a biossíntese do ergosterol. Por se tratar de um componente da parede celular dos fungos, a ausência do ergosterol compromete a permeabilidade da membrana, levando à morte celular pela perda de seus elementos. Quanto ao mecanismo de ação do grupo químico estrobilurina, esse se processa através da inibição da quinona externa da mitocôndria (IQe), bloqueando a transferência de elétrons do citocromo b para o citocromo c1, o que resulta na paralisação da produção de ATP. Assim com os IDM, o grupo químico estrobilurina, o único grupo com ação no sítio Qe, possui ação sítio-específica.

A utilização repetitiva de fungicidas sítio-específicos resulta no aumento da população do fungo resistente, o que gera redução da eficiência no controle do patógeno (FERNÁNDEZ-ORTUÑO et al., 2010). Dessa forma, apenas uma década após a confirmação da FAS no Brasil, já havia relatos de redução da sensibilidade da *P. pachyrhizi* aos IDM, IQe e fungicidas compostos pela mistura de ingredientes ativos com os dois mecanismos de ação. Diante desses relatos, no ano de 2013 foi lançado comercialmente o primeiro fungicida composto pela mistura de estrobilurina e carboxamida (IQe + ISDH) com registro para o controle da FAS.

O grupo químico carboxamida (ISDH) age no complexo II da cadeia de elétrons na mitocôndria (gene *SDH*), paralisando a respiração através da inibição da oxidação da

succinato desidrogenase. Assim como os IDM e IQe, os ISDH são fungicidas sítio-específicos, de forma que já na safra 2015/2016, isolados de *P. pachyrhizi* apresentaram uma mutação pontual no gene *SDH*, resultando na redução da sensibilidade aos ISDH.

O monitoramento da sensibilidade de um fungo a fungicidas é uma ferramenta indispensável na manutenção do controle eficiente do patógeno. No caso da FAS, esse monitoramento pode ser realizado através de ensaios de campo, que avaliam a eficácia do controle baseado na severidade da doença, análises moleculares para a detecção de mutações nos sítios de ação dos fungicidas, testes bioquímicos para a detecção do desenvolvimento de mecanismos de resistência alternativos, ensaios *in vivo* para a determinação da dose efetiva do produto que reduz 50% da severidade ou número de urédias/cm<sup>2</sup> (DE<sub>50</sub>) e ensaios *in vitro*, que determinam a concentração do produto que inibe 50% da germinação dos esporos (CI<sub>50</sub>). Das formas de monitoramento mencionadas, a realização de ensaios *in vitro* para a determinação da CI<sub>50</sub>, se destaca por apresentar resultados rápidos e a baixo custo.

De acordo com a classificação proposta por Edgington e Klew (1971), para que uma substância seja considerada fungicida, essa deve ter valor da concentração capaz de inibir a sobrevivência de 50% da população do patógeno (CI<sub>50</sub>) inferior a 50 mg/L (50 ppm). Já para um fungicida ser considerado altamente tóxico, o valor de sua CI<sub>50</sub> não deve ultrapassar 1,0 mg/L (1,0 ppm) e, para aqueles considerados moderados, a CI<sub>50</sub> deve estar no intervalo de 1,0 a 50 mg/L (1,0 a 50 ppm).

A CI<sub>50</sub> pode sofrer alterações ao longo do tempo. Essas mudanças não estão ligadas ao fungicida em si, mas às mutações genéticas do patógeno. Através da determinação do fator de redução da sensibilidade (FRS) é possível quantificar o grau de alteração da sensibilidade. O FRS é calculado como função da CI<sub>50</sub> da linhagem atual em relação à linhagem sensível (sensibilidade de referência). Portanto, se o FRS for superior a 1,0, indica em houve redução de sensibilidade do patógeno à molécula

O mercado brasileiro dispõe de 48 fungicidas com registro para o controle da FAS (AGROFIT, 2018). Desses, 62,5% contém IDM de forma isolada ou em mistura

em sua composição; 62,5% contém IQe e 47,9% contém tanto IDM quanto IQe em mistura. Quanto aos ISDH, apesar do lançamento recente no mercado, 18,7% dos fungicidas comerciais contém o grupo químico em mistura a outro grupo. Essa distribuição de grande parte dos fungicidas representados por apenas três ações sítio-específico, pode ocasionar redução na sensibilidade do patógeno às moléculas, bem como, favorecer o desenvolvimento de resistência múltipla de *P. pachyrhizi* a esses grupos químicos.

Diante da situação apresentada, o objetivo desse trabalho foi avaliar a sensibilidade de 14 isolados de *P. pachyrhizi* oriundos de regiões sojícolas do Brasil através da determinação da  $CI_{50}$  *in vitro*, para três fungicidas de uso comercial: um composto pela mistura de IQe + ISDH e dois compostos pelas misturas triplas IQe + ISDH + IDM. Para o isolado de Passo Fundo - RS, além dos fungicidas testados, determinou-se a fungitoxicidade de três IDM de forma isolada, três IQe isolados, um ISDH isolado, dois fungicidas compostos pela mistura IDM + IQe e uma mistura tripla IQe + ISDH + IDM.

### 5.3 Material e Métodos

Isolados de *P. pachyrhizi* foram obtidos a partir de plantas naturalmente infectadas, coletadas a campo, nas safras 2015/2016 e 2016/2017 (Tabela 1) e multiplicados em plantas de soja cultivadas em vasos. Com relação ao isolado proveniente de Paulínia-SP, esse foi considerado isolado de referência com maior sensibilidade, pois diferentemente dos demais, o isolado foi mantido e multiplicado em plantas cultivadas em vasos por mais de cinco anos, sem nenhum contato a fungicidas.

A manutenção e multiplicação dos isolados foi realizada através de inoculação artificial de plantas saudáveis de soja, cultivar BMX Ponta IPRO®, no estágio fenológico V4 - terceira folha trifoliada completamente desenvolvida (FEHR; CAVINESS, 1977). Para a inoculação, foi aspergida uma suspensão de uredosporos de *P. pachyrhizi*, com

concentração ajustada para  $3,0 \times 10^4$  uredosporos/mL, em água destilada e o surfactante Tween 20®, sobre as plantas cultivadas em vasos.

Tabela 1 - Local da coleta, colaborador e instituição responsáveis pelo fornecimento de isolados de *Phakopsora pachyrhizi*. Passo Fundo – 2018

Safrá 2015/2016		Safrá 2016/2017	
Código/Localidade	Coletado por:	Código/Localidade	Coletado por:
1 - Castro, PR	Alan Cordeiro Vaz, Fundação ABC	8 - Ibirubá, RS	Gislene Nicolodi, Planta-conhecimento/ha
2 - Dilermando de Aguiar, RS	Ricardo Brustolin, Rb Assessoria	9 - Itaberá, SP	Alan Cordeiro Vaz, Fundação ABC
3 - Ipiranga do Sul, RS	Walter Boller, UPF	10 - Passo Fundo, RS	Bianca de Moura, UPF
4 - Itararé, SP	Alan Cordeiro Vaz, Fundação ABC	11 - Quatro Irmãos, RS	Carlos A. Forcelini, UPF
5 - Paulínia, SP <sup>(1)</sup>	Lucimara J. Koga, DuPont do Brasil	12 - Santa Maria, RS	Thiago C. Almeida, Biomonte
6 - São Domingos do Sul, RS	Walter Boller, UPF	13 - Sapezal, MT	Renato Vargas, Agricor
7 - Tibagi, PR	Alan Cordeiro Vaz, Fundação ABC	14 - Sertão, RS	Amanda Chechi, UPF

<sup>(1)</sup> Sensibilidade de referência.

Após inoculação, os vasos foram mantidos por 48 horas em câmara de inoculação sob temperatura de  $23 \pm 2$  °C, ausência de luz e molhamento foliar contínuo. Transcorridas 48 horas, os vasos contendo plantas foram mantidos em câmara de crescimento de forma isolada, evitando dessa forma que houvesse contaminação entre uredosporos de diferentes localidades. As plantas mantidas na câmara de crescimento foram submetidas à condições de temperatura variando de  $23 \pm 2$  °C e fotoperíodo de 12 horas, garantindo dessa forma a manutenção dos isolados a serem posteriormente utilizados nos ensaios para a determinação da CI<sub>50</sub>.

Em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento, em placas de Petri descartáveis (60 x 15 mm) contendo o meio de cultura esterilizado ágar-água a 2%, foram preparadas as suspensões dos fungicidas testados (Tabela 2) nas concentrações de 0; 0,01; 0,1; 1; 10; 20; 40 e 50 mg/L, seguindo a metodologia descrita por Blum e Reis (2013).

Tabela 2 - Fungicidas utilizados na determinação da concentração inibitória (CI<sub>50</sub>) de 14 isolados de *Phakopsora pachyrhizi* provenientes de regiões produtoras de soja no Brasil. Passo Fundo – 2018

Ingrediente ativo	Nome comercial	Concentração <sup>(1)</sup>	Formulação	Modo de ação
Azoxistrobina + Benzovindiflupir	Elatus®	300 + 150	Granulado dispersível	IQe + ISDH
Bixafem + protioconazol + trifloxistrobina	Fox XPRO®	125 + 175 + 150	Suspensão concentrada	ISDH + IDM + IQe
Epoconazol + fluxapiroxade + piraclostrobin	Ativum®	50 + 50 + 81	Concentrado emulsionável	IDM + ISDH + IQe

<sup>(1)</sup> Refere-se a concentração do ingrediente ativo em g/L ou g/kg.

Para o isolado de Passo Fundo – RS foram testadas as fungitoxicidades através da determinação da CI<sub>50</sub> de cada um dos fungicidas presente nas duas misturas triplas (IDM + IQe + ISDH) e na mistura dupla (IQe + ISDH), de acordo com a disponibilidade de fornecimento do ingrediente ativo isolado pelo fabricante. Também foi determinada a CI<sub>50</sub> de uma mistura tripla em fase de lançamento (azoxistrobina + difenoconazol + benzovindiflupir) e seu IDM (difenoconazol) de forma isolada (Tabela 3).



Tabela 3 - Fungicidas utilizados da determinação da concentração inibitória (CI<sub>50</sub>) para o isolado de *Phakopsora pachyrhizi* proveniente de Passo Fundo - RS. Passo Fundo – 2018

Ingrediente ativo	Nome Comercial	Concentração	Formulação (1)	Modo de ação
Azoxistrobina	Priori®	250	SC	IQe
Piraclostrobina	Comet®	250	EC	IQe
Trifloxistrobina	Flint®	500	WG	IQe
Difenoconazol	Score®	250	EC	IDM
Epoxiconazol	Soprano®	125	SC	IDM
Protioconazol	-	250	EC	IDM
Fluxapiroxade	-	250	EC	ISDH
Piraclostrobina + fluxapiroxade	Orchestra®	333 + 167	SC	IQe + ISDH
Azoxistrobina + difenoconazol + benzovindiflupir	Elatus Trio®	180 + 225 + 90	WG	IQe + IDM + ISDH
Trifloxistrobina + protioconazol	Fox®	150 + 175	SC	IQe + IDM

(1) Refere-se a concentração do ingrediente ativo em g/L ou g/kg.

(2) SC – Suspensão concentrada; EC – Concentrado emulsionável; WG – Granulado dispersível.

- Produto comercial não disponível.

A esterilização do meio de cultura ágar-água foi realizada por autoclavagem. Após a esterilização, o meio de cultura ainda líquido e em temperatura que permitisse seu manuseio, foi misturado às soluções de fungicidas nas diferentes concentrações (0; 0,01; 0,1; 1; 10; 20; 40 e 50 mg/L). Preparados os substratos contendo meio de cultura com as diferentes concentrações de cada fungicida, os mesmos foram vertidos em placa de Petri, as quais após a solidificação do meio, foram mantidas por 24 horas dentro da câmara de fluxo laminar, até receberem a suspensão de uredosporos.

As suspensões de uredosporos foram obtidas através da agitação manual de trifólios infectados em solução de água destilada com surfactante Tween 20® (2 gotas/L de água), sendo a quantidade de uredosporos ajustada para  $3,0 \times 10^4$  uredosporos/mL. Em seguida, com uma pipeta automática, adicionou-se 0,75 mL da suspensão em cada placa contendo o substrato com as diferentes concentrações do fungicidas. Após preparadas, as placas foram incubadas por seis horas em câmara incubadora tipo BOD, sob temperatura de 23 °C e ausência de luz. Passado esse período, paralisou-se o crescimento do tubo germinativo, pela adição de 0,3 mL/placa da solução de acetona 100% + corante azul de algodão para posterior avaliação.

A determinação da  $CI_{50}$ , que define a fungitoxicidade para cada um dos fungicidas testados, foi obtida através da contagem de 100 uredosporos por placa de Petri, obtendo o percentual de esporos viáveis de *P. pachyrhizi*. Foi considerado viável, ou germinado, o uredosporo cujo comprimento do tubo germinativo fosse maior que o menor diâmetro do uredosporo, e como não germinado, ou inviável, aquele em que não houve emissão do tubo germinativo, ou o comprimento do mesmo foi inferior ao menor diâmetro do uredosporo.

Os dados foram expressos em percentual de inibição da germinação em relação à Testemunha sem adição de fungicida no substrato (concentração de 0 mg/L), sendo submetidos a análise regressão do Probit (SAS INSTITUTE INC. 2013), a 95% de significância, através do software estatístico SAS, versão 9.4.

Foi determinado o FRS de cada fungicida em função da  $CI_{50}$  do isolado de Paulínia-SP (sensibilidade de referência). Sendo considerados como estáveis, valores do FRS iguais ou próximos a 1,0. Valores de  $FRS > 1,0$  acusaram redução da sensibilidade e  $FRS < 1,0$ , o aumento da sensibilidade.

#### **5.4 Resultados e Discussão**

Com relação ao controle dos 14 isolados de *P. pachyrhizi* pelo fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir nas safras 2015/2016 e 2016/2017, verificou-se uma elevação no percentual de controle em função do aumento da concentração testada, porém sem seguir uma tendência de estabilização de controle. Na safra 2015/2016, não foi atingido 100% de inibição da germinação de uredosporos para nenhum dos isolados nas doses testadas. Apesar disso, para o isolado 5 (referência), concentrações a partir de 1,0 mg/L inibiram a germinação de mais de 97,80% dos uredosporos (Apêndice I). Já na safra 2016/2017, os isolados 8 e 11 sofreram 100% de inibição da germinação na concentração mais elevada (50 mg/L). Também os isolados 9 e 10, sofreram inibição da germinação em 99,1 e 98,3% quando submetidos às concentrações de 50 e 40 mg/L, respectivamente (Apêndice II).

De acordo com a classificação da fungitoxicidade de substâncias proposta por Edgington e Klew (1971), o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir mostrou-se altamente fungitóxico a nove dos 14 isolados de *P. pachyrhizi* testados, apresentando valores de  $CI_{50}$  inferiores a 1,0 mg/L. Somente para os isolados de 6, 10, 12, 13 e 14 os valores da  $CI_{50}$  os classificaram como moderadamente fungitóxico (Tabela 4). Em trabalho anterior, testando a fungitoxicidade desse mesmo fungicida ao isolado de Passo Fundo – RS (safra 2013/2014), Moura (2015) encontrou valor que o classificou como altamente fungitóxico em teste *in vitro* utilizando o meio de cultura ágar-água. No entanto, em meio de cultura ágar-extrato de folhas de soja (BUZZERIO, 2006), a  $CI_{50}$  para o isolado de Passo Fundo (safra 2013/2014) foi de 1,38 mg/L, classificando-o como moderadamente fungitóxico (MOURA; BOLLER; DEUNER, 2016).

Tabela 4 - Concentração inibitória ( $CI_{50}$ ) do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir em mg/L e fator de redução da sensibilidade (FRS) para isolados de *Phakopsora pachyrhizi*. Passo Fundo – 2018

Código/Localidade	$CI_{50}$ <sup>(2)</sup>	Intervalo de confiança		FRS
1 - Castro, PR	0,299	0,239	0,369	3,602
2 - Dilermando de Aguiar, RS	0,239	0,180	0,310	2,879
3 - Ipiranga do Sul, RS	0,357	0,280	0,450	4,301
4 - Itararé, SP	0,675	0,552	0,818	8,132
5 - Paulínia, SP <sup>(1)</sup>	0,083	0,071	0,097	-
6 - São Domingos do Sul, RS	2,129	1,680	2,674	25,650
7 - Tibagi, PR	0,299	0,228	0,385	3,602
8 - Ibirubá, RS	0,625	0,495	0,780	7,530
9 - Itaberá, SP	0,831	0,666	1,026	10,012
10 - Passo Fundo, RS	1,080	0,894	1,294	13,012
11 - Quatro Irmãos, RS	0,448	0,348	0,567	5,397
12 - Santa Maria, RS	2,567	2,081	3,147	30,927
13 – Sapezal, MT	2,361	1,743	3,173	28,445
14 – Sertão, RS	1,134	0,920	1,385	13,662
MÉDIA	0,938	0,741	1,177	12,088
Valor máximo	2,567	2,081	3,147	30,927
Valor mínimo	0,083	0,071	0,097	2,879

<sup>(1)</sup> Sensibilidade de referência. <sup>(2)</sup> Valores obtidos através de regressão do Probit com intervalo de confiança de 95%.

Com relação aos FRS, todos os isolados apresentaram  $FRS > 1,0$ , confirmando redução da sensibilidade em relação ao isolado de referência (isolado 5). Os isolados 12, 13 e 6 apresentaram respectivamente, os maiores FRS, sendo o FRS do isolado 12 superior a 30 unidades (Tabela 4).

Juliatti et al. (2017) em ensaios *in vivo* (severidade da FAS em folhas destacadas) e *in vitro* (teste de germinação de uredosporos), observaram redução significativa na sensibilidade do isolado de *P. pachyrhizi* proveniente de Chapadão do Sul – MT ao fungicida benzovindiflupir. Enquanto que, em ensaios anteriores para a determinação da fungitoxicidade das carboxamidas ao isolado 5, o fungicida benzovindiflupir de forma isolada, demonstrou a maior fungitoxicidade dentre todos os ISDH testados (KOGA, 2017<sup>1</sup>), justificando a baixa  $CI_{50}$  apresentada pelo isolado de referência (Tabela 4).

Comparando os resultados de Juliatti et al (2017) e Koga (2017), é verossímil a afirmativa de Klappach (2017), de que mutações confirmadas em isolados de *P. pachyrhizi* (safras 2015/2016 e 2016/2017) na subunidade C, códon I86F, podem resultar em redução da sensibilidade aos ISDH. Da mesma forma, trabalhos de Klosowski et al. (2016) confirmaram 100% de mutações no gene *CYTB*, códon F129L, aos isolados de *P. pachyrhizi* (safra 2013/14) do Mato Grosso e 95% de mutações para os isolados do Paraná. Tais alterações determinam redução da sensibilidade aos fungicidas IQe, cujo modo de ação, aparece em um dos componentes da mistura fungicida (Tabela 4).

---

<sup>1</sup> Informação Pessoal - Lucimara Junko Koga, Fitopatologista da DuPont do Brasil, 2017.

Para o fungicida bixafem + protioconazol + trifloxistrobina foi observada a estabilização do controle, próximo a 100% de inibição na germinação de uredosporos, a partir da concentração de 10 mg/L para todos os isolados testados da safra 2015/2016 (Apêndice III). Já para a safra 2016/2017, safra de menor incidência da doença, os isolados 8, 10, 11 e 12, só demonstraram valores próximos a 100% de inibição quando submetidos à concentração de 50 mg/L. Para o isolado 14, o controle da germinação não ultrapassou 94,5% (Apêndice IV). Quanto a fungitoxicidade do fungicida, esse se mostrou altamente fungitóxico a 12 dos 14 isolados testados (Tabela 5).

Tabela 5 - Concentração inibitória (CI<sub>50</sub>) do fungicida bixafem + protioconazol + trifloxistrobina em mg/L e fator de redução da sensibilidade (FRS) para isolados de *Phakopsora pachyrhizi*. Passo Fundo – 2018

Código/Localidade	CI <sub>50</sub> <sup>(2)</sup>	Intervalo de confiança		FRS
1 - Castro, PR	0,419	0,357	0,489	1,644
2 - Dilermando de Aguiar, RS	0,277	0,235	0,326	1,087
3 - Ipiranga do Sul, RS	0,365	0,313	0,425	1,289
4 - Itararé, SP	0,426	0,362	0,498	1,670
5 - Paulínia, SP <sup>(1)</sup>	0,255	0,215	0,301	-
6 - São Domingos do Sul, RS	0,266	0,225	0,313	1,043
7 - Tibagi, PR	0,399	0,343	0,463	1,567
8 - Ibirubá, RS	0,329	0,259	0,411	1,289
9 - Itaberá, SP	0,185	0,137	0,245	0,727
10 - Passo Fundo, RS	0,609	0,498	0,739	2,391
11 - Quatro Irmãos, RS	0,124	0,096	0,158	0,487
12 - Santa Maria, RS	1,936	1,596	2,329	7,597
13 - Sapezal, MT	0,565	0,472	0,670	2,216
14 - Sertão, RS	1,561	1,303	1,855	6,123
MÉDIA	0,555	0,458	0,959	2,241
Valor máximo	1,936	1,596	2,329	0,487
Valor mínimo	0,124	0,096	0,158	7,597

<sup>(1)</sup> Sensibilidade de referência. <sup>(2)</sup> Valores obtidos através de regressão do Probit com intervalo de confiança de 95%.

Apesar da média da CI<sub>50</sub> para o fungicida bixafem + protioconazol + trifloxistrobina ser de 0,555, para os isolados 12 e 14, o fungicida se mostrou

moderadamente fungitóxico, com valores da  $CI_{50}$  de 1,936 e 1,561 respectivamente, demonstrando maior virulência dos isolados dessas localidades (Tabela 5).

Com relação à FRS, nove dos 13 isolados apresentaram redução da sensibilidade em relação ao isolado de referência. Os isolados 2 e 6, ambos provenientes do RS, não demonstraram alteração da sensibilidade, apresentando FRS próximos a 1,0. Já os isolados 9 e 11, se mostraram mais sensíveis ao fungicida bixafem + protioconazol + trifloxistrobina, comprovando a ocorrência de variações na  $CI_{50}$  entre isolados, mesmo quando oriundos de lavouras comerciais dentro de uma mesma região, como é o caso do isolado 11, em relação aos isolados 2 e 6 (Tabela 5).

Com relação ao controle do fungicida epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina para os sete isolados obtidos na safra 2015/2016, houve estabilização do controle a partir da concentração de 10 mg/L para os isolados 2, 3, 5, 6 e 7. Para o isolado 1, o controle de 100% da germinação foi obtido com a concentração de 50 mg/L. Já para o isolado de 4, 50 mg/L controlou 97,4% da germinação (Apêndice V). Para os isolados obtidos na safra 2016/2017, a estabilização do controle foi observada em concentrações a partir de 20 mg/L para os isolados de 8, 9, 13 e 14 e 10 mg/L para o isolado 11. Já para os isolados 10 e 12, foi observada a estabilização do controle, que foi de 100%, em concentrações a partir de 40 mg/L (Apêndice VI).

Assim como para o fungicida bixafem + protioconazol + trifloxistrobina, os valores da  $CI_{50}$  para o fungicida epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina, o classificaram como altamente fungitóxico para 12 dos 14 isolados testados (Tabela 6). Sendo classificado como moderadamente fungitóxico somente para os isolados 13 e 14.

Tabela 6 - Concentração inibitória (CI<sub>50</sub>) do fungicida epoxiconazol + fluxapirroxade + piraclostrobina em mg/L e fator de redução da sensibilidade (FRS) para isolados de *Phakopsora pachyrhizi*. Passo Fundo – 2018

Código/Localidade	CI <sub>50</sub> <sup>(2)</sup>	Intervalo de confiança		FRS
1 - Castro, PR	0,383	0,313	0,465	2,660
2 - Dilermando de Aguiar, RS	0,190	0,169	0,216	1,319
3 - Ipiranga do Sul, RS	0,226	0,188	0,271	1,569
4 - Itararé, SP	0,548	0,455	0,656	3,806
5 - Paulínia, SP <sup>(1)</sup>	0,144	0,122	0,170	-
6 - São Domingos do Sul, RS	0,793	0,657	0,951	5,507
7 - Tibagi, PR	0,538	0,450	0,638	0,678
8 - Ibirubá, RS	0,175	0,144	0,210	1,215
9 - Itaberá, SP	0,262	0,215	0,316	1,819
10 - Passo Fundo, RS	0,485	0,397	0,588	3,368
11 - Quatro Irmãos, RS	0,127	0,102	0,157	0,882
12 - Santa Maria, RS	0,186	0,149	0,231	1,292
13 - Sapezal, MT	1,324	1,158	1,508	9,194
14 - Sertão, RS	1,410	1,252	1,583	9,792
MÉDIA	0,478	0,405	0,561	3,316
Valor máximo	1,324	1,158	1,508	9,792
Valor mínimo	0,090	0,069	0,116	0,882

<sup>(1)</sup> Sensibilidade de referência. <sup>(2)</sup> Valores obtidos através de regressão do Probit com intervalo de confiança de 95%.

No caso do isolado 13, o valor mais elevado da CI<sub>50</sub> deve-se ao fato de que na região de Sapezal, desde a safra 2013/2014, tem-se realizado duas aplicações, por ciclo da cultura da soja, utilizando os fungicidas piraclostrobina e fluxapirroxade. Já na safra 2015/2016, passou-se a utilizar a mistura dupla piraclostrobina + fluxapirroxade na primeira aplicação e a mistura tripla epoxiconazol + fluxapirroxade + piraclostrobina na segunda aplicação (VARGAS, 2018<sup>2</sup>). Essa utilização frequente dos mesmos

<sup>2</sup> Informação pessoal - Renato Vagas, Eng. Agr. Da Agrícola Comércio e Representação Agropecuárias Ltda, 2018.

fungicidas, com os mesmos mecanismos de ação nas últimas quatro safras, pode ter favorecido a ocorrência de mutações no sítio-alvo tanto do IQe piraclostrobina, quanto do ISDH fluxapiróxade. De acordo com Reis e colaboradores (2015a, p. 36 ), o uso contínuo do mesmo fungicida permite o aumento da população do fungo resistente, o que gera perda de eficiência no controle do patógeno, sendo que esse processo é acentuado com o uso constante do mesmo fungicida.

Já em relação ao isolado 14, esse se mostrou altamente virulento à todos os fungicidas testados, classificando todas as misturas testadas como moderadamente fungitóxicas. Quanto ao FRS, 11 dos 13 fungicidas apresentaram redução de sensibilidade em relação ao isolado de referência. Somente os isolados 7 e 11 se apresentaram mais sensíveis à mistura epoxiconazol + fluxapiróxade + piraclostrobina (Tabela 6).

De modo geral, dos 13 isolados utilizados, oito apresentam redução de sensibilidade para os três fungicidas testados. Tais resultados sugerem a ocorrência de resistência múltipla, uma vez que além das confirmações de mutações dos genes *CYTB* e *SDH* (KLOSOWSKI et al., 2016; KLAPPACH, 2017) as quais conferem resistência aos IQe e ISDH respectivamente, já na safra 2009/2010, isolados de *P. pachyrhizi* apresentaram mutações no gene *CYP51*, demonstrando redução da sensibilidade aos IDM (SCHMITZ; MEDEIROS; CRAIG, 2014).

Na avaliação da inibição da germinação de uredosporos de *P. pachyrhizi* proveniente de Passo Fundo – RS (isolado 10) com os fungicidas isolados e duas misturas duplas (IQe + ISDH) e uma mistura tripla (IQe + IDM + ISDH ), os fungicidas azoxistrobina e azoxistrobina + difenoconazol + benzovindiflupir inibiram 100% da germinação quando utilizados na concentração mais elevada (50 mg/L). Já para o fungicida protioconazol, a concentração de 10 mg/L inibiu 100% da germinação. Para os fungicidas fluxapiróxade + piraclostrobina e trifloxistrobina + protioconazol e piraclostrobina, 100% da inibição foi obtida com a concentração de 40 mg/L. Na concentração máxima testada (50 mg/L), os fungicidas isolados difenoconazol,



epoxiconazol, fluxapirroxade e trifloxistrobina inibiram 90,60; 87,90; 76,80 e 86,50% da germinação de uredosporos, respectivamente (Apêndice VII).

Quanto a avaliação da fungitoxicidade, determinada através da  $CI_{50}$ , os fungicidas piraclostrobina, piraclostrobina + fluxapirroxade, protioconazol e trifloxistrobina + protioconazol foram classificados com altamente fungitóxicos ao isolado de Passo Fundo - RS (Tabela 7).

Tabela 7 - Concentração inibitória ( $CI_{50}$ ) de fungicidas em mg/L e fator de redução da sensibilidade (FRS) para o isolado de *Phakopsora pachyrhizi* proveniente de Passo Fundo, RS. Passo Fundo – 2018

Fungicida	$CI_{50}^{(1)}$	Intervalo de confiança		$CI_{50}$ ref. <sup>(2)</sup>	FRS
Azoxistrobina	3,362	2,800	4,008	0,07	48,028
Azoxistrobina + difenoconazol + benzovindiflupir	1,137	0,950	1,352	-	-
Difenoconazol	6,826	5,668	8,203	-	-
Epoxiconazol	1,383	1,064	1,777	0,450	3,073
Fluxapirroxade	7,674	6,156	9,609	-	-
Piraclostrobina	0,405	0,326	0,500	0,075	5,400
Piraclostrobina + fluxapirroxade	0,143	0,109	0,184	-	-
Protioconazol	0,009	0,007	0,010	-	-
Trifloxistrobina	1,145	0,927	1,400	0,015	76,333
Trifloxistrobina + protioconazol	0,538	0,448	0,642	-	-

<sup>1</sup> Valores obtidos através de regressão do Probit com intervalo de confiança de 95%. <sup>2</sup> Refere-se a sensibilidade de referência (BLUM; REIS, 2013).

- Dado numérico não disponível.

Ainda, de acordo com a classificação de Edgington e Klew (1971), os fungicidas azoxistrobina, azoxistrobina + difenoconazol + benzovindiflupir, difenoconazol, epoxiconazol, fluxapirroxade e trifloxistrobina foram classificados com moderadamente fungitóxicos para o isolado de Passo Fundo. O fungicida isolado protioconazol, única triazolintiona disponível no mercado, apresentou-se como o mais fungitóxico para esse isolado (Tabela 7).

Para o isolado de Passo Fundo, o fungicida azoxistrobina (300 g/kg) + benzovindiflupir (150 g/kg) apresentou menor  $CI_{50}$  (Tabela 4) que a mistura tripla azoxistrobina (180 g/L) + difenoconazol (225 g/L) + benzovindiflupir (90 g/L) (Tabela 7). Essa leve diferença na sensibilidade, provavelmente deve-se às menores concentrações da azoxistrobina e benzovindiflupir devido ao acréscimo do difenoconazol na mistura tripla, uma vez que esse último, demonstrou menor fungitoxicidade que a azoxistrobina ao isolado de Passo Fundo. Já a mistura tripla bixafem (125 g/L) + protioconazol (175 g/L) + trifloxistrobina (150 g/L) apresentou  $CI_{50}$  de 0,609 (Tabela 5), enquanto que para a mistura dupla trifloxistrobina (150 g/L) + protioconazol (175 g/L), o valor foi de 0,538 (Tabela 7). No entanto, diferentemente da mistura tripla azoxistrobina + difenoconazol + benzovindiflupir, para essa mistura tripla, não houve diferenças nas concentrações dos ativos presentes na mistura dupla. Apesar dessas leves alterações da  $CI_{50}$  mencionadas, em nenhuma das situações houve significância entre as fungitoxicidades ( $p < 0,05$ ).

Em trabalho anterior para a determinação da  $CI_{50}$  de fungicidas de uso comercial ao isolado de *P. pachyrhizi* de Passo Fundo (safra 2013/2014), a  $CI_{50}$  da azoxistrobina foi de 32,98 mg/L. Também os fungicidas epoxiconazol, piraclostrobina, piraclostrobina + fluxapiroxade e trifloxistrobina, apresentaram  $CI_{50}$  de 11,42; 0,69; 12,86 e 15,63 mg/L respectivamente (MOURA; BOLLER; DEUNER, 2016). Em comparação com esses resultados, é possível observar o aumento da sensibilidade do isolado de Passo fundo a esses fungicidas, caracterizado pela redução de  $CI_{50}$  entre as safras 2013/2014 e 2016/2017. Esse aumento na sensibilidade pode ser justificado como resposta à redução, ou até mesmo o desuso, das aplicações desses fungicidas de forma isolada. Contudo, em relação ao isolado de referência (BLUM; REIS, 2013), todos apresentaram redução da sensibilidade, sendo que para a azoxistrobina o FRS superou 48 unidades e para a trifloxistrobina, 76 unidades (Tabela 7).

Já em trabalho realizado por Reis e colaboradores (2015b), utilizando um isolado de Passo Fundo, as  $CI_{50}$  da piraclostrobina, trifloxistrobina e epoxiconazol, foram de 0,19; 0,12 e 0,54 mg/L respectivamente, apresentando valores intermediários entre as

sensibilidades de referência e os valores apresentados pelo isolado de Passo Fundo - safra 2016/2017.

Diferente dos demais fungicidas, ainda em trabalho anterior realizado por Moura, Boller e Deuner (2016), a  $CI_{50}$  do protioconazol + trifloxistrobina para o isolado de Passo Fundo (safra 2013/2014) foi de 0,29 mg/L, enquanto que para a safra 2016/2017, esse valor foi de 0,538 mg/L (Tabela 7). Essa redução na sensibilidade, pode ser relacionada ao aumento no número de aplicações com esse fungicida no norte do Rio Grande do Sul.

Para o fungicida protioconazol, que apresentou  $CI_{50}$  de 0,009, sendo classificado como altamente fungitóxico, em outro trabalho realizado por Xavier e colaboradores (2015), testando a fungitoxicidade da molécula *in vivo* através da determinação da  $DE_{50}$  a 38 isolados de *P. pachyrhizi* de diversas regiões produtoras de soja do Brasil, o protioconazol foi altamente fungitóxico para todos os isolados, apresentando valores da  $DE_{50}$  inferiores aos IDM tebuconazol, ciproconazol e metconazol. Essa manutenção da fungitoxicidade do fungicida protioconazol, mesmo oito safras após o lançamento da molécula no mercado, comprova a importância da utilização de fungicidas compostos por misturas de ingredientes ativos com diferentes mecanismos de ação, como estratégia de manejo da resistência à doenças, uma vez que o protioconazol nunca foi utilizado comercialmente de maneira isolada.

## 5.5 Conclusões

A mistura dupla azoxistrobina + benzovindiflupir é altamente fungitóxica a nove dos 14 isolados de *P. pachyrhizi*. Para cinco isolados, a mistura classifica-se como moderadamente fungitóxica, apresentando valores de  $CI_{50}$  inferiores a 3,0 mg/L.

Ambas as misturas triplas bixafem + protioconazol + trifloxistrobina e epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina apresentam valores da  $CI_{50}$  inferiores a 1,0 mg/L, sendo classificadas como altamente fungitóxicas para 12 dos 14 isolados testados.

Os fungicidas azoxistrobina, epoxiconazol, piraclostrobina e trifloxistrobina e a mistura dupla piraclostrobina + fluxapiroxade apresentam redução da  $CI_{50}$  para o isolado de *P. pachyrhizi* proveniente de Passo Fundo – RS.

Há alterações, tanto na sensibilidade entre isolados aos ingredientes ativos testados, quanto em relação a valores da  $CI_{50}$  obtidos em trabalhos anteriores.

## 6 CONCLUSÃO

Sob condições ambientais adequadas, a aplicação de fungicidas para o controle da FAS com volume de calda de 50 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização jato-cônico vazio JA-1®, proporciona controle da FAS similar à aplicações com o volume de calda de 120 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização de jato-plano simples XR 110015®, em cultivares de soja com ramificação e estatura média de plantas medianas.

Em cultivares de soja com elevada ramificação e estatura média de plantas, aplicações de fungicidas com volume de calda de 120 L/ha, distribuídos por pontas de pulverização jato-plano simples XR 110015®, proporcionam maior controle da doença em relação à aplicações realizadas com volume de 50 L/ha de calda fungicida, distribuídos por pontas de pulverização de jato-cônico vazio JA-1®.

Aplicações de fungicidas com volume de calda de 50 e 120 L/ha, em cultivares de soja de crescimento indeterminado, não apresentam diferenças quanto a deposição de calda no interior do dossel das plantas. Contudo, a aplicação com volume de 120 L/ha, distribuído por pontas de pulverização de jato-plano simples XR 110015®, proporciona maior cobertura foliolar nos dosséis superior e médio de plantas.

Com exceção das cultivares BMX Ativa e BMX Elite na safra 2016/2017, não há diferenças no rendimento final de grãos para as cultivares de soja utilizadas quando submetidas à aplicações de fungicidas para o controle da FAS com diferentes volumes de calda.

O fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir é altamente fungitóxico a nove dos 14 isolados de *P. pachyrhizi* testados. Para cinco isolados, a mistura classifica-se como moderadamente fungitóxica, apresentando valores de  $CI_{50}$  inferiores a 3,0 mg/L. Ambas as misturas triplas bixafem + protioconazol + trifloxistrobina e epoxiconazol + fluxapiraxade + piraclostrobina apresentam valores da  $CI_{50}$  inferiores a 1,0 mg/L, sendo classificadas como altamente fungitóxicas a 12 dos 14 isolados.

Os fungicidas azoxistrobina, epoxiconazol, piraclostrobina e trifloxistrobina e a mistura dupla piraclostrobina + fluxapiraxade apresentam redução da  $CI_{50}$  para o isolado de *P. pachyrhizi* proveniente de Passo Fundo – RS.

Há alterações, tanto na sensibilidade entre isolados aos ingredientes ativos testados, quanto em relação a valores da  $CI_{50}$  obtidos em trabalhos anteriores.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante da agressividade da FAS, há necessidade do aprimoramento na aplicação de fungicidas, proporcionando a deposição e cobertura do tratamento fitossanitário adequado, na quantidade e momento corretos, sobre todo o dossel das plantas, com especial atenção ao dossel inferior das plantas.

Em cada aplicação de fungicidas para o controle da FAS, faz-se necessária a escolha do volume de calda e das pontas de pulverização adequados, de acordo com a arquitetura das plantas, do estágio fenológico e principalmente das condições atmosféricas, garantindo dessa forma, a eficácia da pulverização, evitando a contaminação de áreas vizinhas.

A adoção de baixos volumes de calda por hectare aparece como uma alternativa positiva no aumento da autonomia das máquinas aplicadoras e na redução dos custos da aplicação. No entanto, é indispensável a avaliação de cada caso em específico, de forma a diminuir o risco de perdas.

A utilização de estratégias antirresistência, como semeadura no início da época recomendada, escolha de cultivares de ciclo precoce, adoção de vazio sanitário, remoção da soja guaxa e de hospedeiros secundários, plantio de cultivares com resistência à ferrugem e aplicação de fungicidas de forma preventiva ou no início do desenvolvimento da doença, se fazem indispensáveis nas regiões brasileiras produtoras de soja.

Aplicações sequenciais com fungicidas do mesmo grupo químico, mistura de fungicidas que possuem o mesmo mecanismo de ação, uso de doses e intervalos de aplicação em desacordo com as recomendações do detentor da molécula e emprego do

controle químico após a completa infecção da doença, contribuem para o desenvolvimento de isolados de *P. pachyrhizi* mais virulentos.

A rotina de aplicação de fungicidas de cada região exerce influência na sensibilidade do isolado de *P. pachyrhizi* aos fungicidas. A redução da  $CI_{50}$  de fungicidas em relação a trabalhos anteriores, é uma provável resposta à utilização de misturas de ingredientes ativos com diferentes modos de ação, aplicações em caráter preventivo e adição de fungicidas multissítio como reforço em aplicações visando o controle da FAS.

O monitoramento da sensibilidade de *P. pachyrhizi* aos fungicidas é uma ferramenta indispensável na manutenção da eficiência do controle químico no manejo da FAS. Dessa forma, espera-se que, mesmo em situações de baixa pressão da doença, esse monitoramento seja contínuo.



## REFERÊNCIAS

- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. MAPA. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 25 jan. 2018.
- ANTUNIASSI, U. R. **Tecnologia de aplicação:** conceitos básicos, inovações e tendências. Apostila preparada para os curso de graduação e pós-graduação em agronomia. FCA/UNESP: Botucatu/SP, 2012.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURE AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE, S572.1. **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra**. St. Joseph: ASABE, 2009.
- AVENOT, H.; MICHAILIDES, T. J. Resistance to boscalid fungicide in *Alternaria alternata* isolates from pistachio in California. **Plant Disease**, v. 91, n. 10, p. 1345-1350, 2007.
- BARBOSA, R. N.; GRIFFIN, J. L.; HOLLIER, C. A. Effect of spray rate and method of application in spray deposition. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 2, p. 181-184, 2009.
- BLUM, M. M. C. **Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2009. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.
- BLUM, M. M. C.; REIS, E. M. *Phakopsora pachyrhizi* *in vitro* sensitivity to fungicides. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 3, p. 215-216, 2013.
- BOLLER, W.; MACHRY, M. Efeito da pressão de trabalho e de modelos de pontas de pulverização sobre a eficiência de herbicida de contato em soja. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 722-727, 2007.
- BOLLER, W.; FERREIRA, C. M.; COSTA, I. D. Condições do ar e angulação das folhas influenciam a qualidade das pulverizações na cultura da soja. **Revista plantio direto**, n. 121, p. 33, 2011.
- BRASMAX GENÉTICA. Disponível em: <<http://brasmxgenetica.com.br>>. Acesso em: 23 jan. 2018.
- BRENT, K. J.; HOLLomon, D. **Fungicide resistance in crop pathogens:** how can it be managed? In: FRAC MONOGRAPH, n. 2. Brussels: Fungicide Resistance Action Committee, 2007.
- BUZZERIO, N. F. **Strobilurin fungicide *in vitro* agar plate test for *Phakopsora pachyrhizi***. FRAC Protocol. Holambra: Syngenta Field Station, 3 p. 2006.

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

CHECHI, A. **Interações entre área foliar, volumes de calda e doses de fungicidas na persistência e no controle de doenças em soja**. 2016. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Manual Shell de máquinas e técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Shell, 1992.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. Produtos e informações. Conheça a ferrugem. Custo ferrugem asiática da soja. Disponível em: <  
<http://www.consorcioantiferrugem.net/#/conteudos/view/5>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; YORINORI, J. P. Perda de rendimento em grãos de soja causada pela ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 100, 2002.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. (Ed.) **Fungicide: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1967. p. 239-86.

CUNHA, J. P. A. R.; MOURA, E. A. C.; SILVA JÚNIOR J. L.; ZAGO, F. A.; JULIATTI, F. C. Efeito de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 283-291, 2008.

CUNHA, J. P. A. R.; PERES, T. C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum**, v. 32, n. 4, p. 597-602, 2010.

DALLA FAVERA, D. **Pontas de pulverização e taxas de aplicação sobre o controle da ferrugem asiática em cultivares de soja com diferentes arquiteturas de planta**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

DEBORTOLI, M. P.; TORMEN, R. N.; BALARDIN, R. S.; FAVERA, D. D.; STEFANELLO, M. T.; PINTO, F. F.; UEBEL, J. D. Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem-asiática-da-soja em cultivares com diferentes arquiteturas de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 920-927, 2012.

EDGINGTON, L. V.; KLEW, K. L. Fungitoxicity spectrum of benzimidazole compounds. **Phytopathology**, n. 61, p. 42-44, 1971.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Sistemas de Produção, 16, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA TRIGO. **Áreas de pesquisa, Agrometeorologia**. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

FARIA, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Árvore do crescimento - Soja**. Brasília: EMBRAPA DF, 2011.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. (Special Report, 80).

FERNÁNDEZ-ORTUÑO, D.; TORES, J. A.; VICENTE, A.; PÉREZ-GARCÍA, A. The QoI fungicides, the rise and fall of a successful class of agricultural fungicides. In: CARISSE, O. (Org.). **Fungicides**. Intechopen, 2010. p. 203-220.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. Data. **Crops and livestock products**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/beta/en/?#data/TP>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

FUNGICIDE RESISTENCE ACTION COMMITTEE BRASIL – FRAC-BRASIL. s.d. **Resistência a fungicidas**. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/download/resist\\_fung.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/download/resist_fung.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. 2017. Disponível em: <<http://www.frac.info/publications>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

GISI, U.; SIEROTZKI, H. Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. **Plant Pathology**, v. 122, p. 157-167, 2008.

GODOY, C. V.; KOGA L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.

GODOY, C. V.; SILVA, L. H. C. P.; UTIAMADA, C. M.; SIQUERI, F. V.; LOPES, I. O. N.; ROESE, A. D.; MACHADO, A. Q.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; NUNES, C. D. M.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; FORNAROLLI, D. A.; MIGUEL-WRUCK, D. S.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BORGES, E. P.; JULIATTI, F. C.; FEKSA, H. R.; CAMPOS, H. D.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, J. R. C.; COSTAMILAN, L. M.; CARNEIRO, L. C.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; ITO, M. A.; IAMAMOTO, M. M.; ITO, M. F.; MEYER, M. C.; COSTA, M. J. N.; DIAS, M. D.; MARTINS, M. C.; LOPES, P. V. L.; SOUZA, P. I. M.; BARROS, R.; BALARDIN, R. S.; IGARASHI, S.; SILVA, S. A.; FURLAN, S. H.; CARLIN, V. J. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2008/09: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. (Circular Técnica 69).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; ROESE, A. D.; FORCELINI, C. A. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2011/12: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. (Circular Técnica 93).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FAVERO, F.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P. da; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; VOLF, M. R.; DEBORTOLI, M. P.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MADALOSSO, T.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2015/16: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina: Embrapa Soja, 2016. (Circular Técnica 119).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. O. N.; FORCELINI, C. A. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina: Embrapa Soja, 2017. (Circular Técnica 129).

HIRAKURI, M. H. **Avaliação econômica da produção de soja para a safra 2014/15.** Londrina: Embrapa Soja, 2014. (Circular Técnica, 107).

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economy Botanic.** University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois. v. 24, n. 4, p. 408-421, 1970.

JULIATTI, F. C.; POLLONI, L. C.; de MORAIS, T. P.; ZACARIAS, N. R. S.; SILVA, E. A.; JULIATTI, B. C. M. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* populations to dithiocarbamate, chloronitrile, triazole, strobilurin, and carboxamide fungicides. **Bioscience Journal.** v. 33, n. 4, p. 933-943, 2017.

KLAPPACH, K. **Informação sobre carboxamidas em ferrugem da soja.** Frac International, SDHI – Working group. Informativo 01/2017, 2017.

KLOSOWSKI, A. C.; DE MIO, L. L. M.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Manager Science.** v. 72, n. 6, p. 1211-1215, 2016.

LEIVA, P. D. **Concepto de calidad de aplicación en pulverización agrícola.** Pergamino, BA: INTA. 02477 – 15 - 6865 9 /439020. Diciembre, 2010.

LEROUX, P.; WALKER, A-S. Multiple mechanisms account for resistance to sterol 14  $\alpha$ -demethylation inhibitors in field isolated of *Mycosphaerella graminicola*. **Pest Management Science.** v. 67, n. 1, p. 44-59. 2011.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas.** 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1990.

MOREL, W. **Roya de la soja.** Itapúa: CRIA, 2001. (Comunicado técnico - Serie Fitopatológica n.1).

MOURA, B. **Deposição de fungicida em cultivares de soja com diferentes hábitos de crescimento, controle e sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas**. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

MOURA, B.; BOLLER, W.; DEUNER, C. C. In vitro determination of fungicide inhibitory concentration for *Phakopsora pachyrhizi* isolates. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 170-171, 2016.

MOURA, B.; DEUNER, C. C.; VISINTIN, G. L.; BOLLER, W. Usage of a canopy opener in fungicide applications to improve Asian soybean rust control. **Transactions of the ASABE**, v. 60, n. 6. p. 1819-1925, 2017.

NIDERA SEMENTES. Disponível em: <<http://www.niderasementes.com.br/#>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.

PRADO, E. P.; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; SAULO I. A.; COSTA, S. I. A.; CHRISTOVAM, R. S. Taxa de aplicação e uso de surfactante siliconado na deposição da pulverização e controle da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p. 514-527, 2015.

PIONEER SEMENTES. Soja. **Sementes de soja**. Saiba mais. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/soja/central-de-produtos/produtos/95r51>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

REINHARDT, D.; KUHLEMEIER, C. Plant architecture. **EMBO reports**, v.3, n. 9, p. 846-851, 2002.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; MICHEL, C. Ocorrência de epidemia de ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 198-199, 2002.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R.; CARMONA, M. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. 1 ed. Passo Fundo: UPF, 2006.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M. A. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas**. 6. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2010.

REIS, E. M.; CASA, R. T. Ferrugem asiática. In: REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M.; DANELLI, A. L. D. **Doenças da soja**. 1 ed. Passo Fundo: Berthier, 2012.

REIS, E. M.; SILVA, L. H. C. P.; SIQUEIRA, F. V.; SILVA, J. R. C. **Redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégias para recuperar a eficiência de controle.** 1 ed. Passo Fundo: Berthier, 2014.

\_\_\_\_\_. **Redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégia antirresistência.** 2 ed. Passo Fundo: Berthier, 2015a. 56 p.

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; CARMONA, M.; MENTEN, J. O. M. Relationship between IC<sub>50</sub> determined *in vitro/in vivo* and the fungicide rate used in the field. **Summa Phytopathologica.** v. 41, n. 1, p. 49-53, 2015b.

ROESE, A.D. **O melhor fungicida contra a ferrugem asiática da soja.** 2010. Disponível em: <[http://infobibos.com/Artigos/2011\\_1/fungicida/index.htm](http://infobibos.com/Artigos/2011_1/fungicida/index.htm)>. Acesso em: 26 fevereiro, 2018.

ROMÁN, R. A. A.; CORTEZ, J. W.; FERREIRA, M. da C.; DI OLIVEIRA, J. R. G. Cobertura da cultura da soja pela calda fungicida em função de pontas de pulverização e volumes de aplicação. **Scientia Agraria,** v. 10, n. 3, p. 223-232, 2009.

RUSSEL, P. E. **Sensitivity baseline in fungicide resistance research and management.** FRAC. Monograph, Cambridge, 2004.

\_\_\_\_\_. **Sensitivity baseline in fungicide resistance research and management.** FRAC. Monograph, Cambridge, 2005.

SALVADORI, J. R.; BACALTCHUK, B.; DEUNER, C. C.; LAMAS JUNIOR, G. L. C.; RIZZARDI, M. A.; LANGARO, N. C.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; BOLLER, W. (Orgs.). **Indicações Técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018.** Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2016.

SANTOS, O. S. **A cultura da soja.** 1 ed. Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Editora Globo, 1988.

SAS INSTITUTE INC. **User's guide.** SAS/STAT® 13.1. Cary NC: SAS Institute Inc. Copyright©, 2013. USA, United States of America.

SCHERB, C. T.; MEHL, A. **Tebuconazole and prothioconazole detached leaf test SBI fungicides, also suited for other fungicide classes, for *Phakopsora pachyrhizi*.** FRAC Protocol. Monheim: Bayer Crop Science, 2006.

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.



SCHMITZ, H. K.; MEDEIROS, C. A.; CRAIG, I. R. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-oxidoreductase-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest Management Science**, v. 3, n. 7, p. 378-388, 2014.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **World agricultural production**. Foreign Agricultural Service. Circular Series, WAP 2-18, February 2018.

VAKILI, N. G.; BROMFIELD, K. R. *Phakopsora* rust in soybeans and other legumes in Puerto Rico. **Plant Disease**, v. 60, p. 995-999, 1976.

VIDOR, C.; FONTOURA, J. U. G.; MACEDO, J. NAPOLEÃO, A. B.; MIN, T. Tecnologias de produção de soja na região central do Brasil 2004. In: **A soja no Brasil**. Embrapa soja: Sistema de produção n. 1, 2004.

VITÓRIA, E. L. da; LEITE, J. U. Q. Espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1551-1559, 2014.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. L.; GODOY, C. V.; NUNES-JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v. 89, n. 4, p. 675-677, 2005.

YORINORI, J. T.; YUYAMA, M. M.; SIQUERI, F. V. *Doenças da soja*. Boletim de Pesquisa de Soja 2010, vol.1, n.14. Mato Grosso: Fundação Mato Grosso, p. 218-274, 2010.

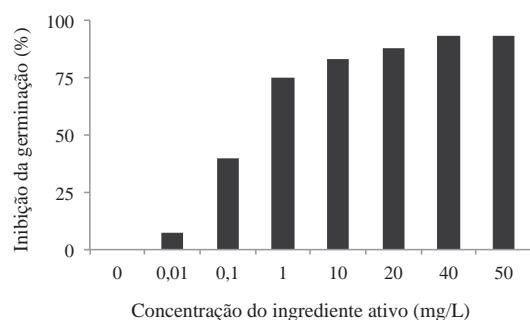
XAVIER, S. A.; KOGA, L. J.; BARROS, D. C. M.; CANTERI, M. G.; LOPES, I. O. N.; GODOY, C. V. Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 3, p. 191-196, 2015.

## **APÊNDICES**

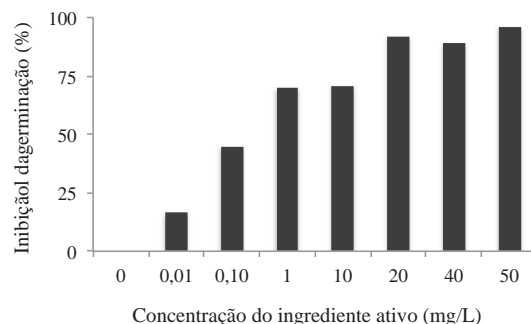
Apêndice I - Fungicida azoxistrobina (300 g/kg) + benzovindiflupir (150 g/L).  
Safra 2015/20



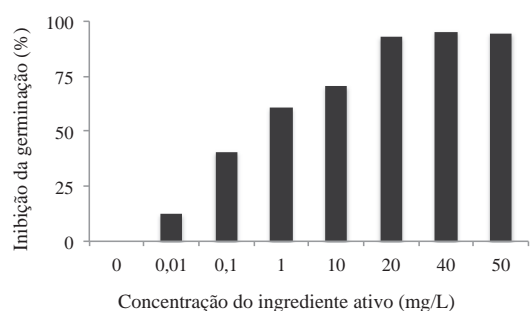
A) Castro – PR



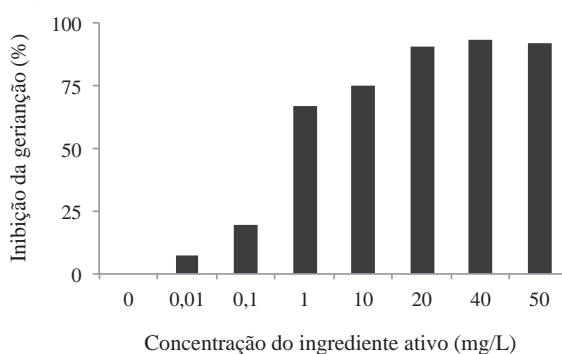
B) Dilermando de Aguiar – RS



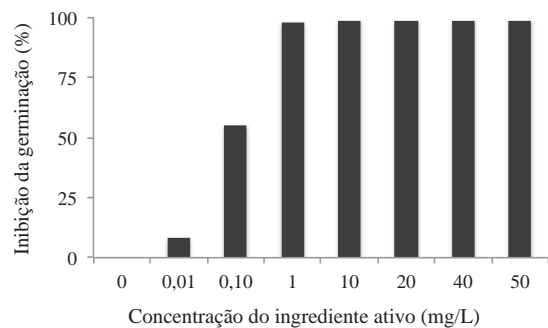
C) Ipiranga do Sul – RS



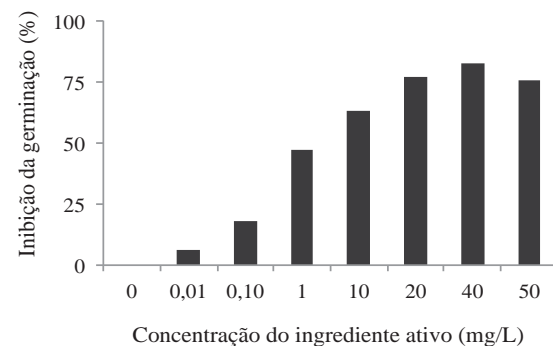
D) Itararé – SP



E) Paulínia – SP



F) São Domingos do Sul – RS



G) Tibagi – PR

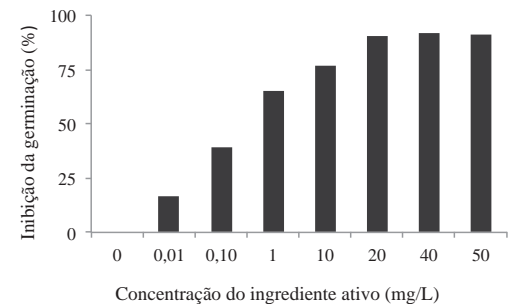
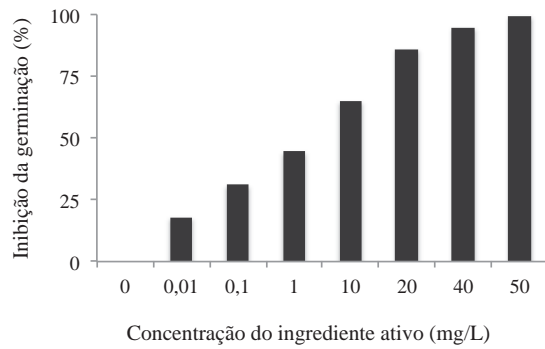


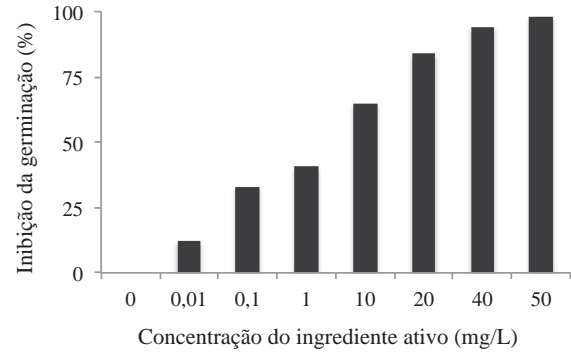
Figura 1 – Inibição da germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* (teste *in vitro*) com inóculos da safra 2015/2016 provenientes de sete localidades.

Apêndice II - Fungicida azoxistrobina (300 g/kg) + benzovindiflupir (150 g/L).  
Safrá 2016/2017

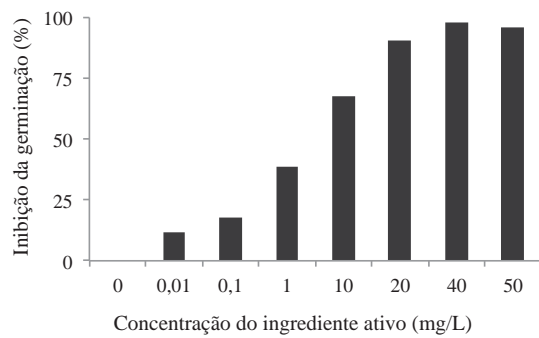
A) Ibirubá – RS



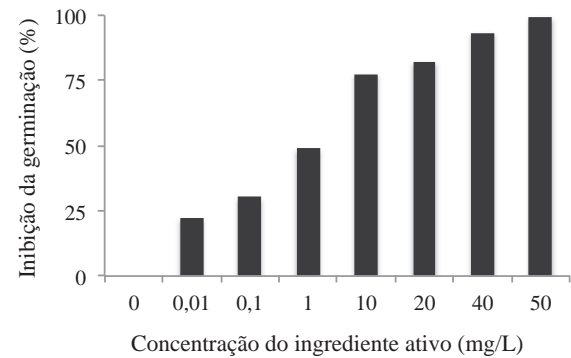
B) Itaberá – SP



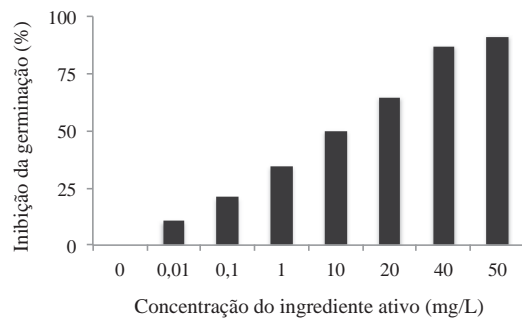
C) Passo Fundo – RS



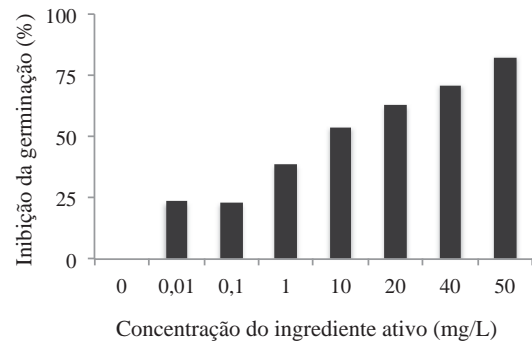
D) Quatro Irmãos – RS



E) Santa Maria – RS



F) Sapezal – MT



G) Sertão – RS

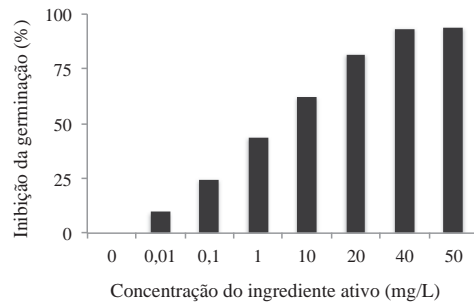
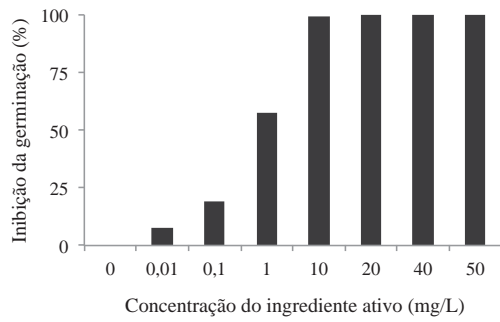


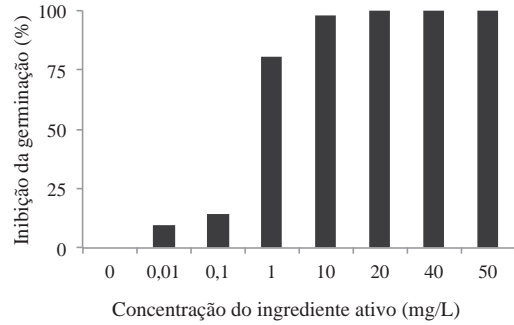
Figura 2 - Inibição da germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* (teste *in vitro*) com inóculos da safra 2016/2017 provenientes de sete localidades.

Apêndice III - Fungicida bixafem (125 g/L) + protioconazol (175 g/L) + trifloxistrobina (150 g/L). Safra 2015/2016

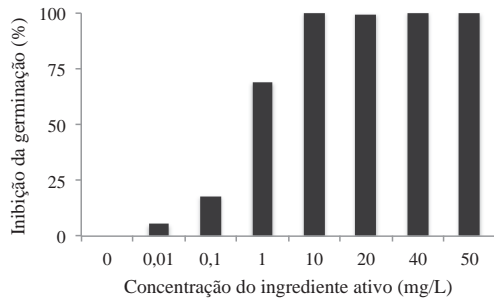
A) Castro – PR



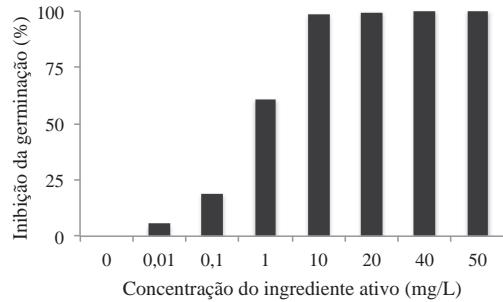
B) Dilermando de Aguiar – RS



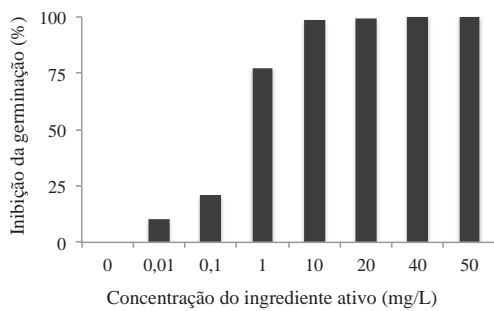
C) Ipiranga do Sul – RS



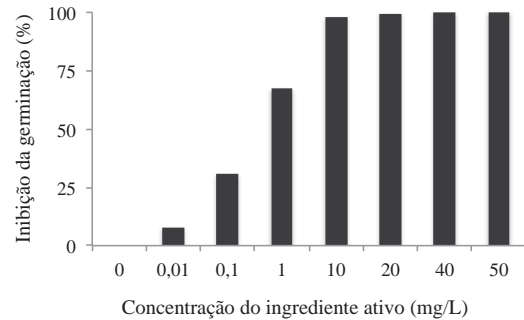
D) Itararé – SP



E) Paulínia – SP



F) São Domingos do Sul – RS



G) Tibagi – PR

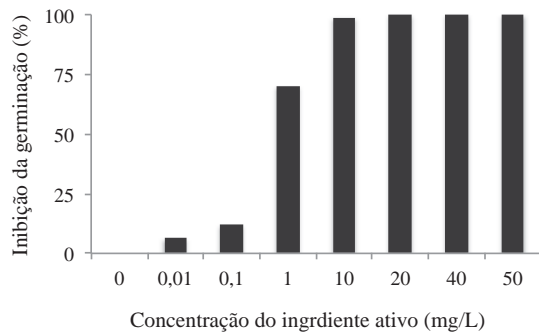
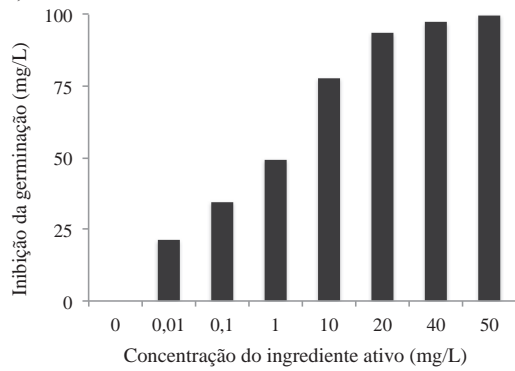


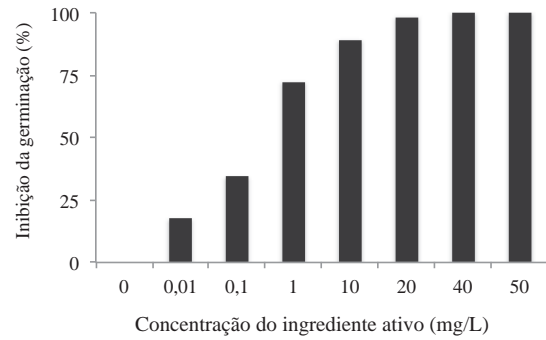
Figura 3 - Inibição da germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* (teste *in vitro*) com inóculos da safra 2015/2016 provenientes de sete localidades.

Apêndice IV - Fungicida bixafem (125 g/L) + protioconazol (175 g/L) +  
trifloxistrobina (150 g/L).  
Safra 2016/2017

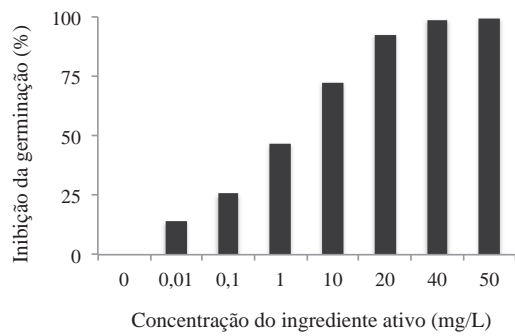
A) Ibirubá – RS



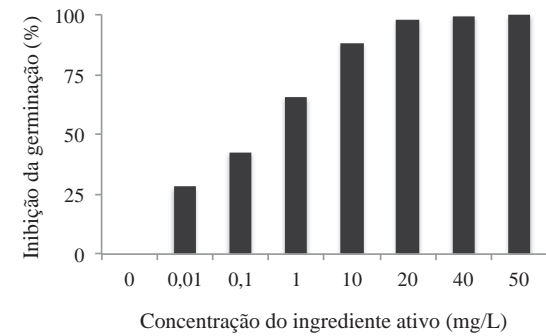
B) Itaberá – SP



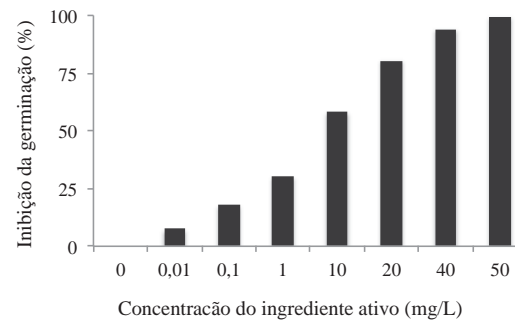
C) Passo Fundo - RS



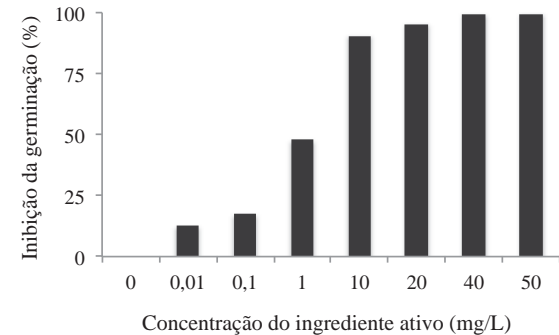
D) Quatro Irmãos – RS



E) Santa Maria – RS



F) Sapezal – MT



G) Sertão – RS

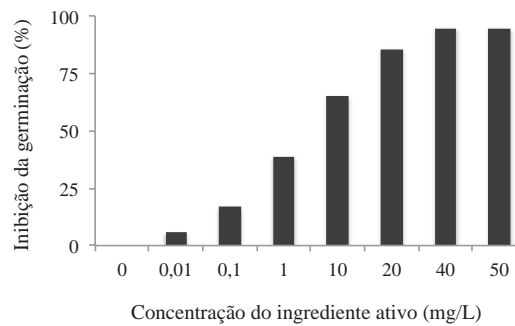
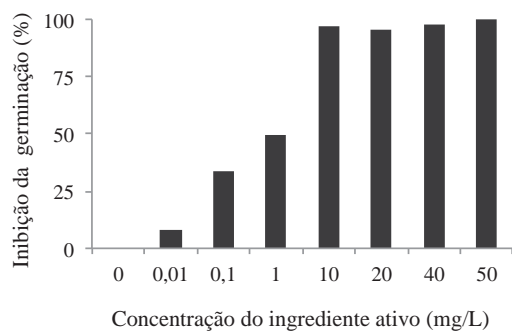


Figura 4 - Inibição da germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* (teste *in vitro*) com inóculos da safra 2016/2017 provenientes de sete localidades.

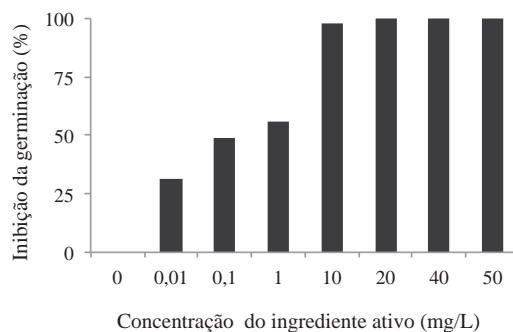
Apêndice V - Fungicida epoxiconazol (50 mg/L) + fluxapiraxade (50 g/L) +  
piraclostrobina (81 g/L).  
Safra 2015/2016



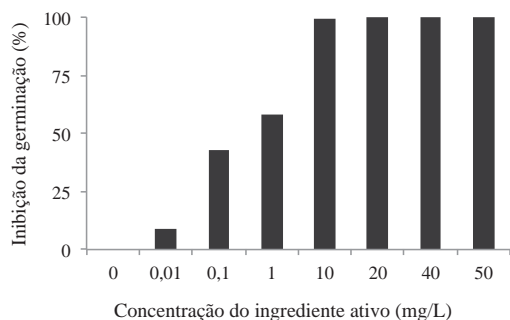
A) Castro – PR



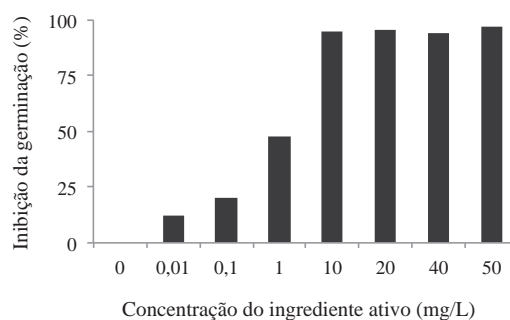
B) Dilermando de Aguiar – RS



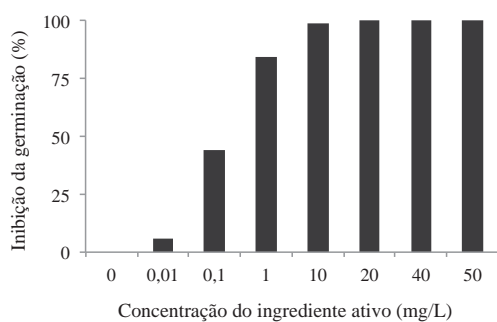
C) Ipiranga do Sul – RS



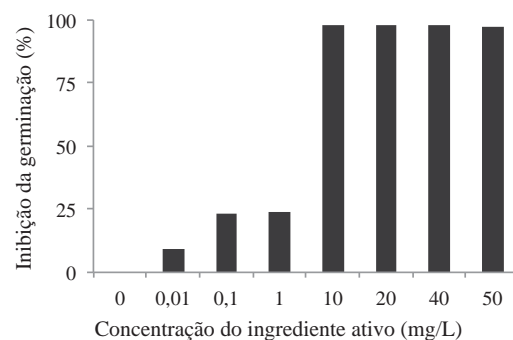
D) Itararé – SP



E) Paulínia – SP



F) São Domingos do Sul – RS



G) Tibagi – PR

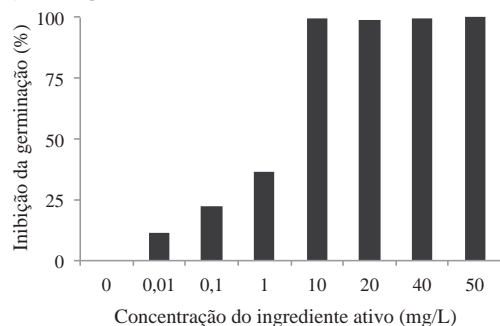
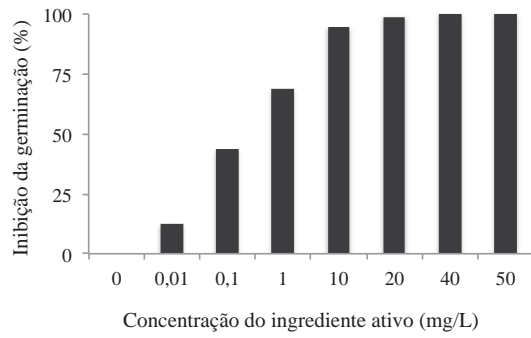


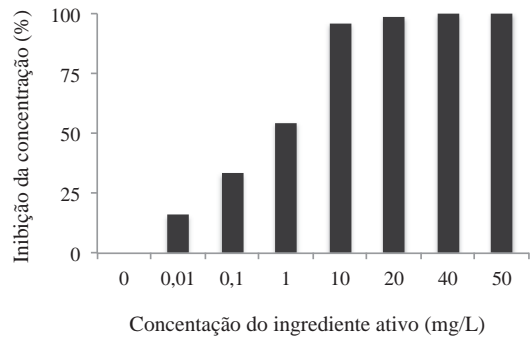
Figura 5 - Inibição da germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* (teste *in vitro*) com inóculos da safra 2015/2016 provenientes de sete localidades.

Apêndice VI - Fungicida epoxiconazol (50 mg/L) + fluxapiraxade (50 g/L) +  
piraclostrobina (81 g/L).  
Safra 2016/2017

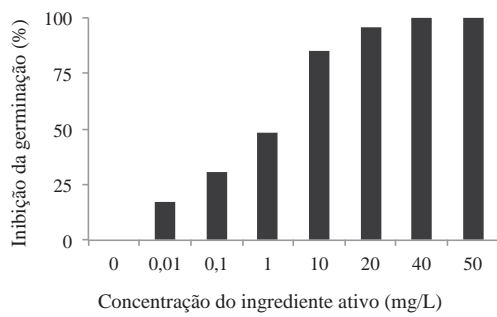
A) Ibirubá - RS



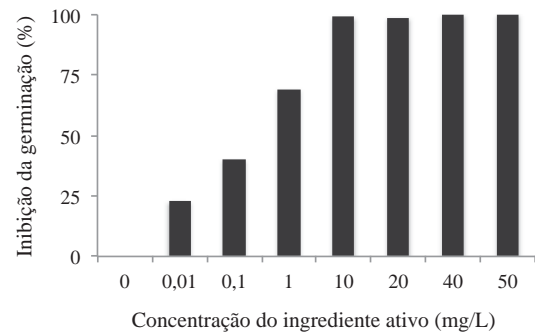
B) Itaberá – SP



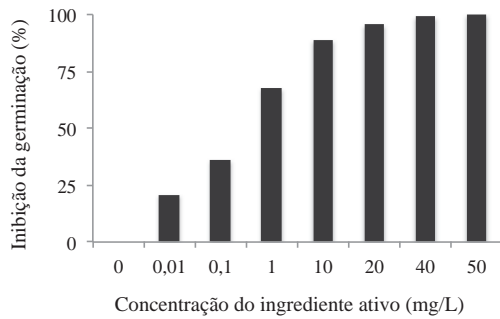
C) Passo Fundo – RS



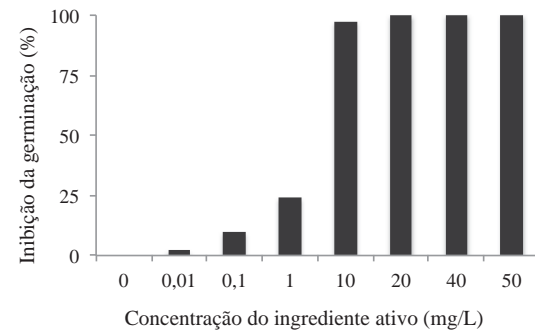
D) Quatro Irmãos – RS



E) Santa Maria – RS



F) Sapezal – MT



F) Sertão – RS

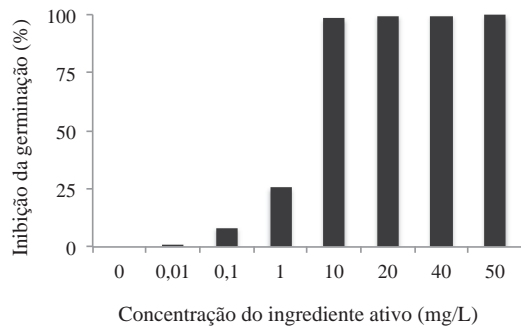
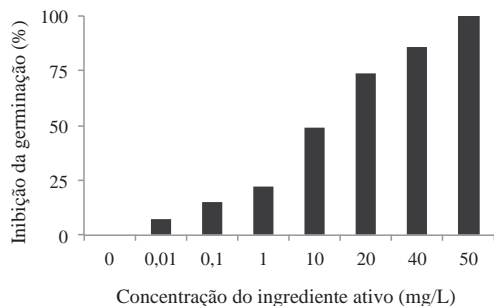


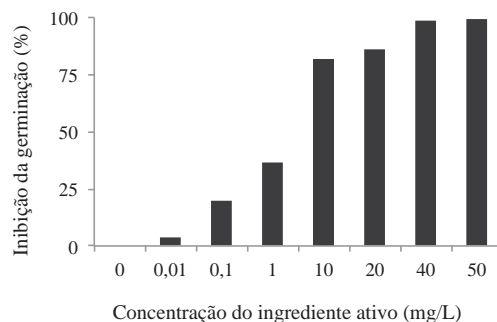
Figura 6 - Inibição da germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* (teste *in vitro*) com inóculos da safra 2016/2017 provenientes de sete localidades.

Apêndice VII - Inibição da germinação de uredosporos do isolado de *Phakopsora pachyrhizi* proveniente de Passo Fundo – RS, através de teste *in vitro* para dez fungicidas

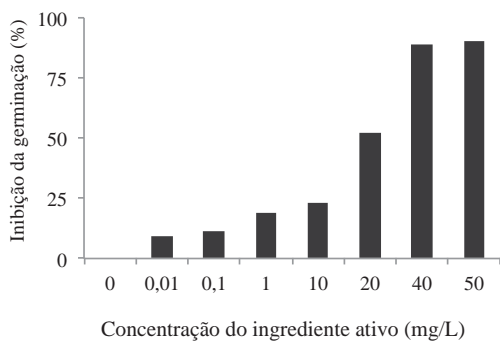
A) Azoxistrobina (250 g/L)



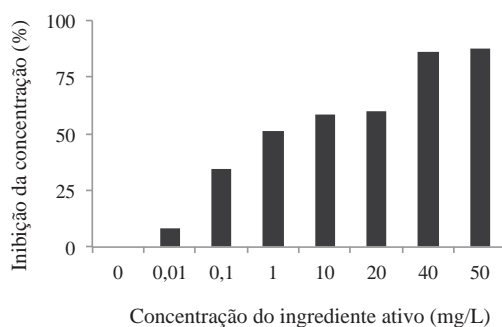
B) Azoxistrobina (180 g/L) + difenoconazol (225 g/L) + benzovindiflupir (90 g/L)



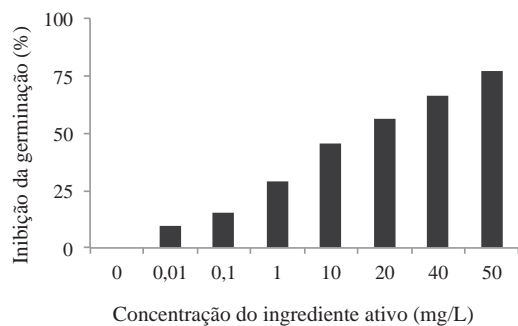
C) Difenoconazol (250 g/L)



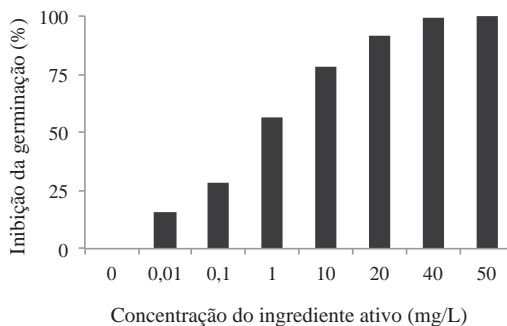
D) Epoxiconazol (125 g/L)



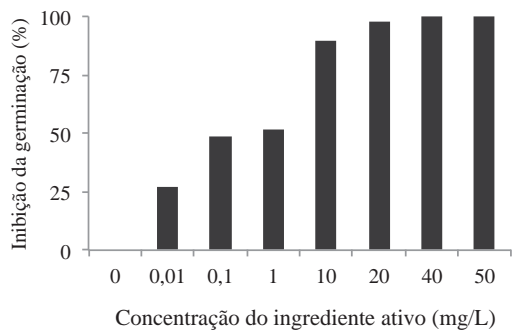
E) Fluxapiraxade (250 g/L)



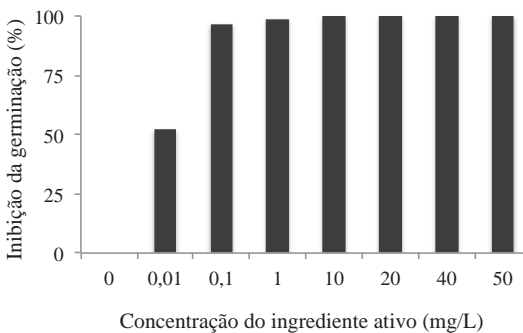
F) Piraclastrobina (250 g/L)



G) Fluxapiraxade (333 g/L) + piraclastrobina (167 g/L)



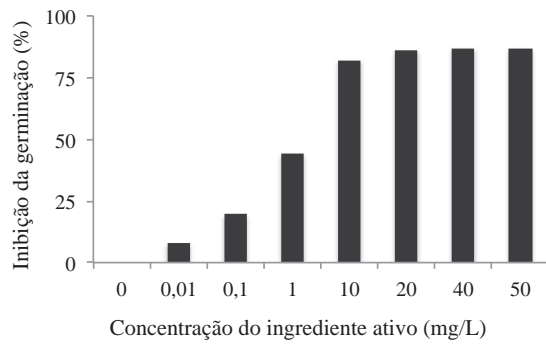
H) Protioconazol (250 g/L)



continua...

... continuação

I) Trifloxistrobina (500 g/kg)



J) Trifloxistrobina (150 g/L) +  
protioconazol (175 g/L)

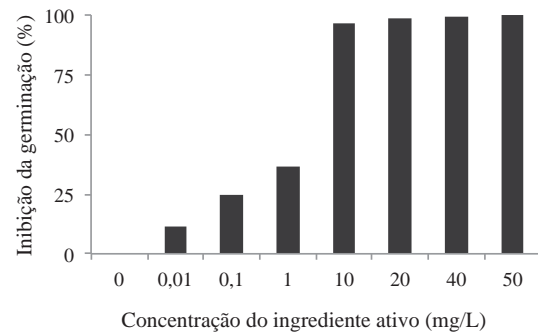


Figura 7 - Inibição da germinação de uredosporos do isolado de *Phakopsora pachyrhizi* proveniente de Passo Fundo – RS.



## **PPGAgro**

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

**Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV**