



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



MATHEUS MEREB NEGRISOLI

**OTIMIZAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO E CONTROLE DE *Phakopsora pachyrhizi* NA
CULTURA DA SOJA**

Botucatu

2018

MATHEUS MEREB NEGRISOLI

**OTIMIZAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO E CONTROLE DE *Phakopsora pachyrhizi* NA
CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à
Faculdade de Ciências Agronômicas
da Unesp Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Proteção de Plantas)

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gilberto
Raetano

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

N392o Negrisoli, Matheus Mereb, 1991-
Otimização da pulverização e controle de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja / Matheus Mereb Negrisoli.
- Botucatu: [s.n.], 2018
101 p.: fots. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Carlos Gilberto Raetano
Inclui bibliografia

1. Defensivos vegetais - Tecnologia de aplicação. 2. Pulverização. 3. Fungicidas. 4. Ferrugem da soja (Doença).
I. Raetano, Carlos Gilberto. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu).
Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

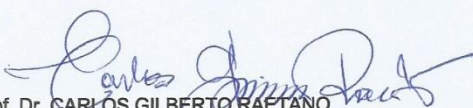
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "OTIMIZAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO E CONTROLE DE *Phakopsora pachyrhizi* NA CULTURA DA SOJA"

AUTOR: MATHEUS MEREB NEGRISOLI

ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PROTEÇÃO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO
Departamento de Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. EVANDRO PEREIRA PRADO
Departamento de Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena


Dr. MARCELO ROCHA CORRÊA
Matologia e Fitossanidade / TECHFIELD ASSESSORIA E CONSULTORIA EM AGRICULTURA LTDA

Botucatu, 30 de julho de 2018.

A minha família e a Deus,

dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as oportunidades, bênçãos, conquistas, coragem, força e saúde sempre;

Aos meus pais, Edson e Vanuza, por todo o amor, apoio, compreensão, paciência e suporte, sem eles eu não chegaria onde estou atualmente;

Aos meus irmãos, Raphael e Patrícia, também pelo apoio incondicional e companheirismo que fizeram toda a diferença na minha vida;

À minha namorada Ariani Garcia, por todo o suporte, amor, compreensão e carinho;

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas – Campus de Botucatu que abriram as portas para a realização desse projeto e que tanto contribuiu para minha formação;

Ao meu orientador e professor Dr. Carlos Gilberto Raetano, por toda orientação, conselhos, apoio, paciência, suporte e amizade oferecidos nos anos de trabalho juntos;

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Proteção de Plantas, funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) e Seção de Pós-Graduação por toda a orientação, ensino, oportunidade e convivência;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Dr. Marcelo da Costa Ferreira e equipe pela disponibilidade e auxílio nas atividades realizadas no Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA);

À professora Dra. Márcia Sartori pelo suporte nas análises estatísticas dos dados aqui apresentados;

As empresas Jacto® e HYPRO/PENTAIR pelo fornecimento dos materiais para execução desse projeto;

Aos companheiros de trabalho e amigos do Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, que batalharam da mesma forma para que esse projeto fosse realizado além de todo apoio, amizade e suporte;

Aos amigos de Botucatu e de República pela amizade e apoio durante esses anos;

À Tech Field e equipe por todo o apoio, ensino e suporte, sempre auxiliando no meu crescimento profissional e pessoal.

RESUMO

Para o controle da ferrugem asiática da soja (FAS) é necessário a otimização da tecnologia de aplicação de modo a promover incrementos na cobertura da pulverização na região do baixeiro da cultura e melhorar a distribuição das gotas no dossel. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de pontas de jato plano com diferentes inclinações e volumes de calda na otimização da pulverização de fungicidas na cultura da soja, no controle da FAS e sobre a produtividade da cultura. Para isso, foram conduzidos três experimentos durante as safras 2016/17 e 2017/18 em Botucatu, SP envolvendo três pontas de pulverização: jato plano (AXI), jato plano duplo (JGT) e jato plano inclinado (Defy3D) em dois volumes de calda (125 e 250 L ha⁻¹). No experimento 1 foi avaliado em mesa de distribuição volumétrica a uniformidade da distribuição volumétrica dos tratamentos e o espectro das gotas da pulverização pelo medidor de tamanho de partículas em tempo real. No experimento 2 foi realizado a análise quali-quantitativa da pulverização, por meio da deposição da calda na cultura com o marcador Azul Brilhante, e a cobertura da pulverização dos tratamentos em alvos artificiais e natural. Por fim, no experimento 3 foi avaliado a severidade e incidência da FAS, de modo a se determinar a eficácia de controle dos tratamentos, assim como seu efeito sobre a produtividade da cultura da soja. Em ambos os volumes de calda, a ponta JGT obteve menor coeficiente de variação e melhor distribuição da pulverização. Todas as pontas nos volumes de calda mantiveram valores de CV abaixo de 7%, considerado aceitável para os padrões internacionais. O DMV (μm), SPAN e porcentagem de gotas inferiores a 100 μm foram influenciados pela adição do fungicida associado ao adjuvante à calda. Independente da ponta de pulverização e volume de calda, a penetração das gotas da pulverização no dossel foi prejudicada em R2, com baixos valores de deposição e cobertura na parte inferior da planta. Todas as pontas e volumes avaliados promoveram controle eficaz da doença, não havendo incremento no controle com a utilização de um volume de calda maior ou inclinação do jato. Mesmo com redução significativa da deposição e cobertura na região inferior, os tratamentos foram eficazes na redução da severidade da doença. O nível de controle, apesar de parecer eficaz quanto ao número de pústulas e cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) pode não ser suficiente para assegurar maior produtividade. A correta definição do volume de calda, principalmente com relação

aos diferentes estádios fenológicos da cultura, influencia grandemente a deposição e cobertura da pulverização.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação. Pontas de pulverização. Volume de calda. Ferrugem asiática da soja. Fungicidas.

ABSTRACT

For the control of Asian soybean rust (SBR), an optimization of the application technology is necessary in order to improve spray coverage in the lower part of the crop as well as the spray drops distribution uniformity. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of flat fan nozzles with different inclinations and spray volumes on the optimization of fungicide spraying in the soybean crop, as well as on the ASR control and its effect on the crop yield. For this purpose, three experiments were conducted during 2016/17 and 2017/18 crop seasons in Botucatu, SP. Three spray nozzles were evaluated: flat fan (AXI), double flat fan (JGT) and inclined flat fan (Defy 3D) with two spray volumes (125 e 250 L ha⁻¹). In Experiment 1, the spray distribution uniformity of the treatments was evaluated in a patternator table and the spray droplet spectrum was assessed by a real-time particle size analyzer. In Experiment 2, a quali-quantitative analysis of the spraying was evaluated, assessing spray deposits on the crop with Brilliant Blue tracer, and the spray coverage of the treatments on artificial and natural targets. Lastly, in Experiment 3, ASR incidence and severity were evaluated, in order to determine the treatment control efficacy and its effect on the soybean yield. In both spray volumes, the JGT nozzle provided lowest variation coefficient and better spray distribution. All the spray nozzles and volumes kept CV values below 7%, considered acceptable by international standards. The VMD (μm), SPAN and percentage of droplets smaller than 100 μm were influenced by the addition of fungicide associated with adjuvant to the spray mixture. Irrespective of the spray nozzle and volume, the penetration of the spray droplets into the crop canopy was impaired at R2, with low deposition and coverage in the lower part of the plant. All the spray nozzles and volumes promoted effective control of the disease, with no increment in function of a larger spray volume or spray inclination. Even with significant reduction on deposition and spray coverage on the lower region, the treatments were efficient reducing the disease severity. The level of control, although it seems effective regarding pustules number and area under the disease progress curve calculation, might not be enough to ensure greater productivity. The correct spray volume definition, especially in respect to the different crop phenological stages influences greatly in the deposition and spray coverage.

Keywords: Application technology. Spray nozzles. Spray volume. Asian soybean rust. Fungicides.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	A cultura da soja	17
2.2	Ferrugem asiática da soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i> Sydow).....	18
2.3	Tecnologia de aplicação de fungicidas para o controle da FAS	20
2.3.1	Fungicidas utilizados no controle da FAS	21
2.4	Pontas de pulverização hidráulica.....	22
2.4.1	Espectro de gotas	25
2.4.2	Distribuição volumétrica	26
2.5	Volume de calda.....	27
2.6	Análise do depósito e cobertura da pulverização no controle de doenças .	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Experimento 1	32
3.1.1	Caracterização do espectro de gotas.....	32
3.1.2	Análise da distribuição volumétrica	35
3.2	Experimento 2	37
3.2.1	Safra 2016/17	37
3.2.2	Safra 2017/18	40
3.2.3	Delineamento experimental.....	40
3.2.4	Avaliação quantitativa da pulverização	42
3.2.5	Avaliação qualitativa da pulverização	44
3.3	Experimento 3.....	48
3.3.1	Severidade, incidência das doenças e nível de controle.....	49
3.3.2	Inoculação de <i>P. pachyrhizi</i>	50
3.3.3	Avaliação da produtividade.....	51
3.4	Análise de dados	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1	Experimento 1 – Caracterização do espectro de gotas e distribuição volumétrica das pontas de pulverização	54
4.1.1	Análise da distribuição volumétrica	54
4.2	Experimento 2 - Análise quali-quantitativa da pulverização na cultura da soja.....	63
4.2.1	Análise quantitativa da pulverização.....	63

4.2.2	Análise qualitativa da pulverização.....	72
4.2.3	Análise qualitativa com marcador fluorescente em alvo natural	81
4.3	Experimento 3 - Avaliação da severidade e nível de controle da FAS e o efeito sobre a produtividade da soja	83
4.3.1	Severidade da doença e eficácia de controle.....	84
5	CONCLUSÕES.....	92
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja (FAS), causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, é a principal doença da cultura e responsável por perdas significativas de produção desde sua introdução no país. Apesar da importância da doença existem atualmente poucas alternativas de manejo, sendo o uso de fungicidas a mais importante. Porém, o controle químico tem sido cada vez menos eficaz. A redução na eficiência está ligada ao mau uso dos fungicidas, selecionando populações resistentes, além da utilização inadequada da tecnologia de aplicação, com aplicação fora do período correto, sem alcance do alvo e com baixa uniformidade de distribuição do produto.

Para o controle químico da FAS é necessário que o fungicida atinja o interior do dossel e propicie cobertura e distribuição uniforme em todo perfil vertical da planta. Porém, no estágio de desenvolvimento em que é necessária a aplicação, o alcance do produto pode ser prejudicado devido à massa de folhas que servirá como barreira à cobertura uniforme da pulverização. Com isso, torna-se fundamental a escolha da ponta de pulverização e volume de calda adequado, de modo a promover boa cobertura e deposição da calda no dossel da cultura.

Diversos trabalhos apontam falhas na tecnologia de aplicação dos fungicidas, com baixa eficiência e assertividade do alvo, bem como a perda de produto. Há, ainda, divergências quanto as pontas de pulverização adequadas para a pulverização, tamanho das gotas, assim como o volume de calda necessário. As tecnologias convencionais empregadas não apresentaram grandes incrementos no controle da doença, que, aliado à tendência de redução no volume de calda vêm agravando a situação. Desta forma, apesar de haver produtos que possam controlar eficazmente a doença, a tecnologia de aplicação ainda constitui um dos principais entraves para que se obtenha sucesso no controle de modo a obter incremento da produção e aumento na geração de renda.

Dentre as alternativas para a otimização da pulverização e incremento na eficácia de controle há disponibilidade de novas tecnologias e parâmetros operacionais que auxiliem na melhor penetração da pulverização no dossel da cultura e distribuição uniforme do produto por toda área, elevando a cobertura do alvo e propiciando a dose adequada. Há a hipótese de que novas pontas de pulverização, com ângulos de inclinação diferentes das convencionais e diferentes direções dos jatos, seja ela por duplicação do jato ou alternância na barra, possam

promover incrementos significativos na pulverização, além de permitir a utilização de volumes menores de calda.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de pontas de jato plano com diferentes inclinações e volumes de calda na otimização da pulverização de fungicidas na cultura da soja, assim como no controle da ferrugem asiática da soja e sobre a produtividade da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* (L.) Merrill. Tem centro de origem na costa leste da Ásia, na China, arquitetura herbácea, ereta e flores autógamas (CHUNG; SINGH, 2008). Possui ciclo anual de 75 até 200 dias para total desenvolvimento, variando quanto ao tipo de cultivar precoce/super precoce e cultivares tardias, respectivamente.

Na agricultura, a soja foi inicialmente utilizada pelos Estados Unidos da América como uma planta forrageira, sem o conhecimento de seu potencial como cultura oleaginosa (CHUNG; SINGH, 2008). A soja, atualmente é a oleaginosa mais importante cultivada no mundo, principalmente devido ao alto teor proteico e utilização para alimentação, indústria e energia com a produção de farinha, farelo ou como proteína isolada (COSTA NETO; ROSSI, 2000).

Considerada a principal cultura agrícola no Brasil e de grande importância econômica para o país ocupa mais de 56% da área cultivada. O Brasil é o segundo maior produtor mundial do grão, com estimativa de produção de 114,075 milhões de toneladas na safra 2017/18, impulsionada principalmente pelos ganhos em área cultivada, alcançando nesta safra cerca de 33,9 milhões de hectares e produtividade de 3.258 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018). O estado do Mato Grosso é o maior produtor brasileiro, seguido por Paraná e Rio Grande do Sul.

No Brasil há inúmeros cultivares disponíveis os quais são selecionados para cada região de acordo com os grupos de maturidade, classificados quanto à sensibilidade da cultura ao fotoperíodo em cada latitude no país, determinando suas faixas limites de adaptação (EMBRAPA, 2010a). Além disso, na escolha dos cultivares são considerados os aspectos fitossanitários das áreas, com a possibilidade de uso de variedades resistentes a determinadas doenças. Outra característica importante é quanto ao hábito de crescimento, podendo ser determinado, semi-determinado e indeterminado. Apenas nos cultivares com crescimento determinado, após o início do estágio reprodutivo (R1), há uma paralisação do desenvolvimento vegetativo da planta (PEDERSEN et al., 2007).

O hábito de crescimento dos cultivares de soja é de grande importância no estudo da interação patógeno, hospedeiro e ambiente, assim como nas pulverizações fungicidas com caráter preventivo (PEDERSEN et al., 2007). Segundo os autores, devido ao contínuo crescimento foliar e de ramos em determinadas variedades, há necessidade de incrementar a proteção com fungicidas de novos ramos que possivelmente não foram previamente pulverizados. Mesmo com os fungicidas sistêmicos, a grande maioria possui sistemicidade acropetal (translocação pelo xilema da base para o topo), com pouca translocação para novos ramos e folhas (ANTUNIASSI, 2005).

Ainda há uma grande lacuna no potencial de produtividade da soja no país, tendo entraves como os problemas fitossanitários, climáticos e operacionais no manejo da cultura. Dentre estes fatores, as doenças são consideradas como uma das mais importantes, tendo mais de 40 identificadas no Brasil e com potencial de perda de produção variando entre 15 e 20%, podendo chegar a 100% dependendo do patógeno e das condições ambientais e de controle (EMBRAPA, 2010b). Como citado, a FAS é a principal doença na cultura da soja, seguida pelo mofo branco [*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.)] e as doenças de final de ciclo (GODOY et al., 2016). Além das doenças, a presença de lagartas desfolhadoras, como *Chrysodeixis includens* e *Anticarsia gemmatalis*, e o ataque de percevejos, *Euschistus heros*, *Piezodorus guildinii* e *Nezara viridula* também são responsáveis por perdas significativas (EMBRAPA, 2010b).

2.2 Ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow)

No Brasil, a FAS foi primeiramente identificada na região Sul no final da safra de 2000/01 (YORINORI et al., 2002). Até a safra de 2003/04 a doença já havia sido disseminada em mais de 90% das regiões produtoras e causado perdas da ordem de US\$ 2 bilhões, demonstrando a grande capacidade de dispersão e dano do patógeno (YORINORI et al., 2005). Estima-se que já foram gastos US\$ 15 bilhões no controle da doença nos últimos 10 anos e perda de 30% da produção até 2025 (IEAg/ABAG, 2015).

Os sintomas da FAS são normalmente visíveis nas folhas com formações de lesões amareladas e em forma de pústulas ou urédias de cor marrom ou bronzeada nas folhas do terço inferior da planta, principalmente na região abaxial da folha

(AZEVEDO et al., 2007; RUPE; SCONYERS, 2008). Com o progresso da doença, os sintomas são agravados com o aparecimento de mais urédias, evoluindo para desfolha intensa, redução da fotossíntese e perda de produtividade de 30 a 80% (RUPE; SCONYERS, 2008). A infecção por *P. pachyrhizi* ocorre normalmente no momento ou após a floração (R1), embora seja possível o aparecimento dos sintomas no estágio de desenvolvimento vegetativo sob condições favoráveis do ambiente.

Segundo Kumudini et al. (2008), o principal dano do patógeno na soja ocorre devido à redução nas taxas de troca de carbono pela redução da eficiência do fotossistema II (PSII), interferindo na interceptação e uso da radiação. A cor da lesão em forma de pústula indica uma reação de resistência ou suscetibilidade da variedade de soja, sendo de cor marrom-avermelhada (lesão RB) indicação de resistência parcial, isto é, apesar de haver a infecção no tecido vegetal, não ocorre esporulação; e de cor castanha (lesão TAN) indicação de suscetibilidade (GODOY et al., 2016a).

Rupe e Sconyers (2008) relatam que a severidade da doença depende tanto do momento em que ocorre a infestação, quanto da velocidade de progressão da doença, sendo de grande importância o momento em que é realizado o controle. Segundo os autores, o desenvolvimento da FAS dependerá também das condições climáticas, com temperatura ideal entre 16 e 25 °C e período de molhamento da folha por 6 a 12 horas.

Considerando a importância da doença, existem atualmente poucas alternativas de manejo da FAS. Devido à existência de uma ampla variabilidade genética do fungo (raças), torna-se difícil a introdução de cultivar totalmente resistente (ANDRADE e ANDRADE, 2006). Assim, além do controle químico com fungicidas, métodos alternativos como o vazio sanitário para redução do inóculo também são adotados (RUPE; SCONYERS, 2008; GODOY et al., 2016a). Contudo, o controle químico tem sido cada vez menos eficaz, decorrente da resistência do patógeno aos fungicidas (SCHERM et al., 2009; XAVIER et al., 2015; CHAIR; DERPMANN, s.d.) e baixa qualidade nas pulverizações.

2.3 Tecnologia de aplicação de fungicidas no controle da FAS

Na cultura da soja, a tecnologia de aplicação desempenha um papel de grande importância, para um manejo eficaz e responsável de diversos fatores que acometem a produção do grão, em especial no controle da FAS.

A forma mais tradicional de aplicação na cultura da soja no Brasil é a líquida por meio da pulverização terrestre e aérea (ANTUNIASSI, 2012). Dentre os componentes dessas máquinas, as pontas de pulverização são consideradas as mais importantes e são responsáveis pela fragmentação do líquido em gotas, distribuição uniforme e controle da vazão (BOLLER; RAETANO, 2011). Desta forma, para obter maior deposição no alvo desejado, fatores como produto fitossanitário utilizado, volume de aplicação, pressão de trabalho e o ângulo da ponta ou da barra de pulverização devem ser considerados e o uso deles pode variar com as estruturas anatômicas e da arquitetura das plantas.

Para o sucesso na escolha da tecnologia a ser utilizada é necessário a definição correta do alvo, sendo necessário o conhecimento biológico do agente a ser controlado, de modo a estabelecer o estado que o mesmo se encontra mais susceptível à ação do produto (BOLLER; RAETANO, 2011). Da mesma forma, deve-se levar em consideração o modo de ação e a capacidade de translocação do produto fitossanitário.

No caso dos fungicidas, a tecnologia empregada para os protetores e aqueles sem sistemicidade ou com sistemicidade limitada será diferenciada, uma vez que estes necessitam de cobertura maior por não haver absorção e/ou translocação na planta (MCGRATH, 2004). Por outro lado, os fungicidas sistêmicos ou curativos são capazes de se translocar na planta. Portanto, o modo de ação dos produtos fitossanitários irá influenciar na definição do tamanho das gotas, pontas de pulverização e volume de aplicação.

Da mesma forma, o momento de aplicação do fungicida pode influenciar diretamente na eficácia do produto. Como exposto por Lourenço Júnior, Balan e Igarash (2014), ao variar as épocas de aplicação, houve diferença significativa no controle da FAS com melhor eficácia nas aplicações realizadas sempre que a umidade relativa estivesse acima de 80% (total 4 pulverizações) e com aplicação no estágio reprodutivo R1, conforme recomendação da bula. Além disso, foi demonstrado que, quanto maior o tempo para pulverização do fungicida

(estrobilurina associado ao triazol) após o aparecimento das primeiras pústulas, menor a eficácia de controle.

Pela epidemiologia da doença, o patógeno inicia o processo de infecção nas folhas do terço inferior do dossel, região de difícil alcance pela pulverização. Cunha et al. (2014) observaram que, dentre as técnicas de aplicação, poucas são as opções que permitem uma melhor cobertura dessa região. Os autores concluíram que nenhuma das 13 pontas em teste promoveu cobertura satisfatória do dossel, necessitando pulverização prévia à máxima área foliar da cultura da soja. Porém, foi constatado melhor controle da FAS utilizando pontas que produzam gotas médias. Por fim, Cunha et al. (2014) concluíram também haver a possibilidade da utilização de volumes de calda mais reduzidos, como 130 L ha⁻¹ para o controle da doença.

Assim, torna-se necessário a realização de estudos que possibilitem melhor uso da tecnologia de modo a otimizar a pulverização desses fungicidas, principalmente quanto a capacidade de penetração no dossel da cultura. Novas pontas de pulverização, por exemplo, podem representar excelentes alternativas para isso, como as pontas de jato plano inclinado. Segundo o fabricante, o ângulo do jato proporcionado pela ponta pode contribuir para melhor cobertura e redução do volume de calda necessário, utilizando gotas com diâmetro mediano volumétrico (DMV) mais adequados (PENTAIR, s.d.; PRO OPERATOR, 2016), atendendo os princípios descritos para uma aplicação de fungicidas mais eficaz.

2.3.1 Fungicidas utilizados no controle da FAS

Os principais grupos químicos dos fungicidas utilizados no controle da FAS são os triazóis, estrobilurinas e as carboxamidas, seja de forma isolada ou em mistura (GODOY et al., 2015) e os fungicidas multissítio protetores (GODOY et al., 2017b). Os triazóis, conhecidos como fungicidas DMI (*DeMetilation Inhibitors*), atuam na inibição da biossíntese de esteróis na membrana com ação específica na inibição da demetilação do C14 (RODRIGUES, 2006; FRAC, 2017). Tanto as estrobilurinas quanto as carboxamidas atuam como inibidores da respiração do fungo, com sítio de ação na inibição do complexo II (succinato-desidrogenase) e no sítio de oxidação da ubiquinol, respectivamente (RODRIGUES, 2006; FRAC, 2017).

As estrobilurinas foram os primeiros fungicidas utilizados no controle da doença, seguidos pelo uso isolado ou em mistura dos triazóis, visto o rápido

surgimento de populações do fungo resistentes (GODOY et al., 2016b). Já as carboxamidas, conhecidas como Inibidores da Succinato Desidrogenase (ISDH ou SDHI, em inglês), fazem parte do grupo mais recente utilizado no controle químico da FAS, tendo o fungicida benzovindiflupir (pirazol-carboxamida) como o principal representante (GODOY et al., 2016b). Esses grupos químicos possuem alta fungitoxicidade a fungos Basidiomycetos, ação sistêmica ou de sistemicidade translaminar (estrobilurinas) e com ação preventiva e curativa (RODRIGUES, 2006).

Devido à abrangência de populações resistentes a esses grupos químicos por todo o Brasil, os resultados mais eficientes têm sido com a utilização de misturas de grupos, auxiliando também no manejo da resistência. Isto, com base nos resultados de trabalhos cooperativos realizados desde 2003 por todo o Brasil, durante as safras agrícolas da cultura da soja, avaliando as melhores opções de fungicidas e grupos químicos e fornecendo resultados importantes quanto à eficácia de controle e sensibilidade das populações do fungo aos fungicidas (GODOY et al., 2017a; GODOY et al., 2017b).

Além dos fungicidas sistêmicos, atualmente têm sido cada vez mais comum a utilização de fungicidas de ação multissítio protetores (mancozebe), com o objetivo de complementar a eficácia de controle dos fungicidas sítio-específicos (GODOY et al., 2017b). Como esse grupo atua em diversas enzimas do fungo, há menor risco de seleção de populações resistentes e perda da eficiência (MCGRATH, 2004). Contudo, são necessárias várias aplicações para garantir bom nível de controle de modo a fornecer um controle preventivo às novas folhas emitidas e devido à perda do produto por intempéries.

2.4 Pontas de pulverização hidráulica

As pontas de pulverização representam um dos componentes mais importantes tanto na pulverização terrestre como aérea (NEGRISOLI et al., 2017). Elas podem ser definidas como “dispositivos geradores de gotas” na qual a calda pulverizada é forçada a passar sob pressão pelo orifício da ponta, fracionando o líquido em gotas e produzindo o jato de pulverização. Além de gerar gotas, as pontas de pulverização são responsáveis pela distribuição do líquido e regulação da vazão (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER, 2016). As mais utilizadas são de energia hidráulica, além daquelas de energia centrífuga.

Diversos fatores são levados em consideração no momento da seleção da ponta de pulverização, uma vez que estas poderão influenciar na uniformidade de cobertura e penetração de gotas no dossel, afetando a qualidade da pulverização (BOLLER; RAETANO, 2011). Existe um modelo de ponta para cada situação específica no campo, dependendo do alvo da aplicação e necessidade de cobertura na área, sendo considerados também o tamanho e densidade de gotas, assim como a classe e o modo de ação do produto fitossanitário, perdas por deriva e volume de calda utilizado (BOLLER; RAETANO, 2011).

No mercado estão disponíveis variadas marcas e modelos de pontas, podendo dividi-las em duas categorias: pontas de jato plano (leque) e as pontas de jato cônico (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER, 2016). As pontas de jato plano são as mais utilizadas, pois apresentam grande versatilidade e boa qualidade na pulverização, principalmente em culturas anuais como na cultura da soja (ANTUNIASSI, 2012). Devido ao seu desenho interno, ocorre um choque entre fluxos líquidos da calda que, ao passar por um orifício de formato elíptico, ocorre a formação de um filme plano de líquido que se desintegra e forma gotas de tamanhos heterogêneos (BOLLER; RAETANO, 2011).

As pontas de jato plano duplo possuem dois orifícios de saída do jato de pulverização, voltados 30° para frente e 30° para trás em relação à vertical (BOLLER; RAETANO, 2011). Segundo os autores, de um ponto de vista teórico, a pulverização com dois jatos sobre a mesma área possui maior possibilidade de atingir alvos de difícil alcance, como a região inferior do dossel de culturas de alta densidade foliar. Contudo, essa característica pode depender da máquina e condição de pulverização, não havendo ainda resultados tão relevantes que comprovem essa melhor cobertura e/ou deposição (CUNHA; REIS; SANTOS, 2006; CUNHA et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2009).

Outra variação das pontas de jato plano padrão são as pontas com inclinação ou pontas de jato plano inclinado que foram recentemente lançados (PENTAIR, s.d.; PRO OPERATOR, 2016). Ela recebe essa denominação devido a uma inclinação de $37,5^\circ$ no ângulo de saída do jato. Essa ponta deve ser instalada na barra alternando a direção do jato, ou seja, adotando um jato para frente e outro para trás no sentido do movimento do trator ao longo da barra de pulverização (Figura 1). Dessa forma, teoricamente há melhor cobertura de alvos verticais como gramíneas e torrões de terra, além de permitir melhor penetração das gotas no dossel das culturas.

Contudo, já existem trabalhos mostrando o comportamento e eficácia de pontas de jato plano com ângulo de inclinação (DURÃO; BOLLER, 2017), porém ainda não há resultados expressivos para este tipo de ponta em relação às aquelas convencionais (jato plano).

Figura 1 – Posição alternada das pontas de jato plano inclinado HYPRO 3D, ao longo da barra de pulverização.



Como demonstrado por Durão e Boller (2017), o tipo de ponta de pulverização utilizado pode influenciar na eficiência do controle da FAS. Os autores avaliaram 10 tipos de pontas de jato plano com e sem indução de ar, jato plano com inclinação de 20°, jato plano duplo e jato cônico vazio. Melhor performance na redução da severidade da doença foi obtida em pontas com inclinação no ângulo, jato duplo e pontas de jato plano com gotas médias, tanto na região inferior quanto superior do dossel, possivelmente decorrente de uma melhor uniformidade de distribuição e penetração.

À vista disso, é de grande importância a análise das variáveis que poderão influenciar na qualidade da pulverização, como o tamanho de gotas produzidas pelas pontas e a uniformidade de distribuição. Dentre os diversos modelos disponíveis, poderão variar as vazões, pressão de trabalho, qualidade físico-química da calda e condições de trabalho adotadas, as quais irão atuar diretamente nas características da pulverização (BOLLER; RAETANO, 2011).

2.4.1 Espectro de gotas

A homogeneidade no tamanho e distribuição das gotas da pulverização influencia na qualidade da aplicação e podem, portanto, serem utilizadas como parâmetros de avaliação. As gotas da pulverização são classificadas com base no diâmetro mediano volumétrico (DMV) em: muito fina, fina, média, grossa, muito grossa e extremamente grossa (ASABE S572, 2009). O DMV é definido como o diâmetro da gota que divide o volume pulverizado em duas partes iguais; uma delas com gotas maiores que o DMV, e outra com gotas menores que o referido valor, expresso em micrometros (μm) (BOLLER; RAETANO, 2011).

Outros parâmetros também são utilizados para caracterização do espectro de gotas, como o diâmetro volumétrico 01 (DV_{01}), no qual 10% do volume pulverizado é constituído por gotas com diâmetro menor ou igual a seu valor; diâmetro volumétrico 09 (DV_{09}), que indica que 90% do volume pulverizado é constituído por gotas com diâmetro menor ou igual a seu valor; e a porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100 μm , que são mais suscetíveis à deriva (CUNHA et al., 2004). A partir desses valores pode-se calcular a amplitude relativa (AR ou SPAN) do espectro das gotas da pulverização, dividindo a diferença entre os valores de DV_{09} e DV_{01} pelo DMV (DV_{05}).

A amplitude relativa (SPAN) possibilita caracterizar o espectro de gotas, por meio de uma medida adimensional que indica a amplitude do tamanho de gotas no espectro e, assim, sua uniformidade (HEWITT et al., 2006). Define-se espectro de gotas da pulverização mais homogêneo quanto menor for o valor de SPAN encontrado. Portanto, ao realizar a caracterização da pulverização por meio dos parâmetros do espectro de gotas, recomenda-se a análise conjunta do DMV e do SPAN, avaliando a homogeneidade da pulverização.

Para a avaliação do espectro de gotas são normalmente adotados dois métodos: avaliação com a utilização de alvos artificiais, como o papel hidrossensível e posterior leitura em software específico para análise (MINGUELA; CUNHA, 2010); e por meio da leitura com equipamento a laser, que possui maior acurácia e precisão na determinação do espectro de gotas (CUNHA et al., 2004). Vale ressaltar que não somente a ponta de pulverização pode influenciar no tamanho da gota produzido, como também o tamanho do orifício, a pressão de trabalho e característica físico-química da calda (MINGUELA; CUNHA, 2010; MOTA; ANTUNIASSI, 2012).

Desta forma, o espectro das gotas também poderá influenciar na eficiência da aplicação dos fungicidas (RAETANO et al., 2011; BERGER-NETO et al., 2017). As gotas médias com DMV entre 200 a 350 μm têm promovido melhor cobertura e penetração no dossel, sendo, portanto, recomendadas com frequência (RAETANO et al., 2011). Além disso, dentre outros itens, a escolha da ponta de pulverização e a pressão de trabalho são as principais ferramentas que determinarão o DMV produzido na pulverização. Segundo Camara et al. (2008), a avaliação do espectro de gota é de grande importância, uma vez que isso irá influenciar no alcance dos alvos e poderá interferir na altura da barra, pressão e inclinação das pontas.

Berger-Neto et al. (2017), avaliando o efeito do tamanho das gotas, volume de calda e fungicidas no controle do mofo-branco na soja, concluíram haver diferença significativa no controle da doença de acordo com a ponta de pulverização e o espectro de gotas. Segundo os autores foi constatado melhores resultados com pontas produzindo gotas de DMV médio e grossa, semelhante aos resultados encontrados por Cunha et al. (2014) no controle da FAS, na qual os melhores respostas foram obtidas com gotas de DMV médio.

2.4.2 Distribuição volumétrica

Na pulverização de qualquer produto fitossanitário, preza-se por uma distribuição uniforme na área tratada, evitando superfícies com quantidade insuficiente do produto e controle deficiente, ou quantidades excessivas e perda de produto e fitotoxicidade (MINGUELA; CUNHA, 2010). Dentre os componentes que interferem na uniformidade de distribuição, estão as características operacionais da pulverização, como a regulação e calibração do maquinário; tipos, qualidade e espaçamento das pontas de pulverização; porcentagem de sobreposição; pressão de trabalho e condições ambientais no momento da aplicação (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER, 2016).

Cada ponta de pulverização possui um “perfil ou padrão de deposição”, com um formato específico do jato. No caso das pontas de jato plano, a grande maioria possui formato triangular, podendo também apresentar-se com o topo plano ou uniforme (even). Para as pontas com formato triangular, há uma maior quantidade de líquido no centro do jato pulverizado e menor nas extremidades, sendo

necessária a sobreposição entre jatos adjacentes na barra de pulverização de modo a uniformizar a cobertura e distribuição (BOLLER; RAETANO, 2011).

A análise da uniformidade da distribuição volumétrica pode ser realizada a partir da análise do coeficiente de variação (CV), dado em porcentagem e obtido em mesa de distribuição volumétrica (BAUER; RAETANO, 2004). A partir do padrão de distribuição de bicos individuais, o líquido pulverizado é coletado em canaletas a distâncias determinadas e depositado em recipientes individuais. Assim, é feita a simulação de sobreposição desses padrões, calculando o índice do CV (CHAPPLE et al., 1993). Segundo Christofletti (2000), pontas de jato plano com boa uniformidade de distribuição apresentam um padrão sem picos de volume, tendo ponto máximo de coleta no centro da ponta e grau de inclinação nas laterais até as extremidades semelhantes em ambos os lados.

Portanto, a partir do CV calculado pode-se avaliar o nível de homogeneidade da distribuição do tratamento em questão; quanto menor o valor, mais uniforme é a distribuição (BAUER; RAETANO, 2004). Entende-se por boa uniformidade de distribuição volumétrica aquelas provenientes de pulverizações com CV de até 10% (LANGENAKENS, 1999; CUNHA; RUAS, 2006), e até 7% sob condições controladas em laboratório conforme regulamento europeu (ECS, 1997).

Conforme demonstrado por Cunha e Ruas (2006), o padrão de uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de jato plano duplo, de acordo com a vazão nominal, foi afetado significativamente pela pressão de trabalho e altura de barra da pulverização. Apesar das pontas apresentarem boa distribuição volumétrica, destaca-se a importância desses fatores interferindo na qualidade da pulverização. Do mesmo modo, Cunha (2008) constatou que as pontas de jato plano SF e API atingiram melhor uniformidade de distribuição trabalhando à pressão de 300 kPa e altura de 50 cm da barra.

2.5 Volume de calda

O volume de calda ou taxa de aplicação representa a quantidade em volume que será pulverizada por unidade de área. Sua recomendação é dependente do produto fitossanitário usado e o do alvo biológico da aplicação, sendo classificadas em cinco faixas: alto, médio, baixo, muito baixo e ultrabaixo volume (RAETANO, 2011). Segundo o autor, a definição da taxa de aplicação deveria também ser

ajustada de acordo com o desenvolvimento da cultura e aumento do índice de área foliar (IAF). Desta forma, o ajuste do volume de calda está relacionado com a ponta de pulverização e sua respectiva vazão, pressão de trabalho, formulação do produto fitossanitário e qualidade/tecnologia dos equipamentos disponíveis.

Portanto, assim como o tamanho das gotas é importante, torna-se primordial a correta definição do volume de calda no planejamento da pulverização (ANTUNIASSI, 2012). Uma das formas para melhor representação e entendimento da influência do volume de calda é por meio da análise da cobertura dos alvos representada pela fórmula de Courshee (1967), conforme Equação1(E1).

$$C = 15 \frac{VRK^2}{AD} \quad (E1)$$

Onde: C é a porcentagem de cobertura (%), V é volume de aplicação ($L\ ha^{-1}$), R é a taxa de recuperação da calda nas folhas (%), K é o fator de espalhamento de gotas, A é superfície vegetal existente no hectare e D o diâmetro das gotas (μm).

Com base na fórmula, o aumento do volume de calda eleva a cobertura do alvo, uma vez que este fator é diretamente proporcional à taxa de cobertura. Da mesma forma, ao se reduzir o tamanho das gotas, a taxa de cobertura também é elevada teoricamente.

Em vista disso, o volume de calda e o espectro de gotas poderão ter grande influência quanto à cobertura da pulverização e a penetração no dossel (RAETANO et al., 2011; BERGER-NETO et al., 2017). Segundo Raetano et al. (2011), apesar do volume de calda necessário variar de acordo com cada situação e característica do produto fitossanitário, no Brasil têm-se utilizado volumes de calda cada vez menores nas pulverizações convencionais com equipamentos terrestres. A técnica vem sendo desenvolvida principalmente na região do Cerrado e a utilização das taxas reduzidas pode ser viável e trazer ganhos na capacidade operacional da operação (CUNHA et al., 2014).

Como relatado por Carvalho et al. (2017), analisando a qualidade dos equipamentos e parâmetros operacionais utilizados nas pulverizações na região do Mato Grosso, maior produtor de soja do Brasil, o volume de calda médio adotado nesta região no ano teve queda de 32,5% em comparação com 2008, sendo utilizado cerca de $80\ L\ ha^{-1}$ em contraste com os $120\ Lha^{-1}$ utilizados anteriormente.

Cunha et al. (2014), avaliando a eficácia de controle da FAS com volumes de aplicação variando de 115 a 250 L ha⁻¹, observaram não haver diferença significativa no controle da doença tampouco na produtividade da cultura ao reduzir o volume de calda. Por outro lado, foi constatado melhor uniformidade na deposição de calda com volume de 160 L ha⁻¹, em comparação com os volumes menores, apesar de não influenciar na eficácia do controle nessa situação. Portanto, foi demonstrado a possibilidade de se utilizar volumes de calda menores, melhorando a capacidade operacional das máquinas aplicadoras.

Em outro trabalho, Povh e Anjos (2015) mostraram haver diferença na eficácia do controle da FAS e na produtividade da cultura da soja com volumes de caldas reduzidos, desde 30 a 180 L ha⁻¹. Em gráfico de regressão, é perceptível com o aumento da taxa de aplicação, uma curva ascendente para a produtividade da cultura e descendente para a severidade da doença. Os autores relataram melhores resultados no controle e produtividade entre os volumes de 135 e 140 L ha⁻¹.

Por fim, Favera (2012) constatou diferença significativa quanto ao controle da *P. pachyrhizi* na cultura da soja sob diferentes volumes de calda (70, 100 e 130 L ha⁻¹), porém apenas em diferentes regiões da planta e dependente da cultivar. Na região superior, os volumes de calda não diferiram entre si na severidade da doença, apenas em comparação com a testemunha sem pulverização. Por outro lado, na região inferior dos cultivares BMX potência e A7636 RG, houve maior severidade da doença pulverizando a 70 Lha⁻¹, devido à arquitetura e características estruturais das cultivares, influenciando significativamente na cobertura e distribuição da pulverização.

2.6 Análise do depósito e cobertura da pulverização no controle de doenças

Tendo em vista o exposto até o momento, é evidente a influência das diferentes tecnologias de aplicação na qualidade da pulverização e alcance do alvo, influenciando diretamente no controle fitossanitário. Com respeito à qualidade da pulverização, existem duas características que são essenciais para sua análise: cobertura, a qual diz respeito da área ou superfície coberta pela pulverização; e deposição, que faz menção à quantidade do produto pulverizado que foi alocado na região alvo (MATUO, 1990).

Desse modo, na pesquisa em tecnologia de aplicação é usual a avaliação qualitativa e quantitativa da pulverização, analisando a cobertura e deposição no alvo, respectivamente. Para a avaliação quantitativa do depósito, o uso de corantes ou marcadores como o corante Azul Brilhante é recorrente e permite avaliar de forma confiável a quantidade de produto depositado na planta ou alvo artificial, sendo este corante de fácil remoção e que mantém estável o marcador após pulverização (PALLADINI et al., 2005; CUNHA et al., 2014).

Quanto à avaliação qualitativa, é comum a utilização de alvos artificiais, como os papéis hidrossensíveis em determinadas regiões de interesse para avaliação da porcentagem de cobertura (MINGUELA; CUNHA, 2010). Contudo, é possível também a utilização de alvos naturais, como o próprio dossel da cultura, adicionando corantes fluorescentes e sensíveis à luz ultravioleta. Assim, é possível a observação da distribuição espacial e quantificação da porcentagem de cobertura, seja por notas baseadas em escalas diagramáticas (ANTUNIASSI et al., 2004) ou em softwares específicos para quantificação (FIRVEDA et al., 2002).

Palladini et al. (2005) demonstraram que os marcadores Azul Brilhante e *Saturn Yellow* (fluorescente) possuem estabilidade na luz solar e sem absorção pelas folhas, possibilitando a avaliação quali-quantitativa da pulverização. Além disso, são técnicas viáveis e de fácil manuseio, além de serem consideravelmente mais baratos em comparação com análises cromatográficas. Por outro lado, Cunha et al. (2014) relataram que o uso do marcador Azul Brilhante nas avaliações pode apresentar alta variabilidade, devido as características intrínsecas à pulverização como inclinação e posição do alvo no momento da pulverização. Além disso, materiais presentes nas plantas que apresentem comprimentos de ondas próximas ao corante podem interferir nas leituras do espectrofotômetro.

Os autores também relataram interferências causadas pelas técnicas da pulverização na avaliação qualitativa em papel hidrossensível. Segundo os autores, tratamentos que possuem volume de aplicação alto podem influenciar na marcação do papel hidrossensível, causando “falsa impressão de superioridade” na porcentagem de cobertura e número de gotas no cartão. Contudo, a diferença na concentração do produto fitossanitário na calda também deve ser considerado pois do ponto de vista teórico, deveria ser homogêneo em toda a área.

Portanto, sabe-se da importância da cobertura e deposição da pulverização de fungicidas na cultura da soja. Apesar de fungicidas utilizados para o controle da

FAS, na sua maioria sistêmicos e locosistêmicos, eles apresentam baixa sistematicidade, necessitando, assim, boa cobertura do alvo (ANTUNIASSI, 2006). Apesar de gotas finas e maior volume de calda ser teoricamente mais adequados para a pulverização, com a utilização de gotas médias tem-se alcançado nas pesquisas melhor cobertura do alvo e melhor controle da deriva (CUNHA et al., 2014). Assim, cada situação e alvo irão requerer uma tecnologia de aplicação específica e precisa para o manejo fitossanitário adequado, com o mínimo de perdas e eficácia máxima.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo avaliou as seguintes hipóteses: h_0 – a inclinação das pontas de jato plano é capaz de promover melhor penetração no dossel mesmo com menores volumes de aplicação, incrementando o controle da doença e a produtividade; h_1 – a inclinação das pontas de jato plano, independente do volume, não promove penetração das gotas no dossel da cultura e não interferem no controle da doença e na produtividade. Para isso, três unidades experimentais foram conduzidas: i) Experimento 1: caracterização do espectro de gotas e distribuição volumétrica das pontas de pulverização; ii) Experimento 2: Análise quali-quantitativa da pulverização na cultura da soja; iii) Experimento 3: Avaliação da severidade e nível de controle da ferrugem asiática da soja e o efeito sobre a produtividade da cultura.

3.1 Experimento 1- Caracterização do espectro de gotas e distribuição volumétrica das pontas de pulverização

3.1.1 Caracterização do espectro de gotas

Devido à importância de se determinar o espectro das gotas produzidas pelas diferentes pontas e de se utilizar uma ponta de pulverização recém-lançada (PENTAIR, s.d.; PRO OPERATOR, 2016) e com poucas informações técnicas, torna-se necessário a caracterização da população das gotas produzidas por essas pontas de pulverização. A caracterização do espectro das gotas foi determinada no Laboratório de Análise do Tamanho de Partículas (LAPAR) da UNESP, Campus de Jaboticabal – SP, no dia 19 de abril de 2018, pelo medidor de tamanho de partículas em tempo real Mastersizer S® (Malvern Instruments Ltda.), como descrito por Cunha et al. (2007) e DeBortoli et al. (2012).

O registro do espectro da população de gotas ocorreu de forma direta pelo método da difração do feixe de raio laser no momento em que a gotas pulverizadas passam pela região de amostragem do equipamento (SCHICK, 1997). Segundo o autor, o padrão da difração da luz determina o diâmetro das gotas e quanto menor o diâmetro da gota, maior será a difração. O equipamento foi calibrado para avaliar gotas de 0,5 até 900 μm de diâmetro, com lente de 300 mm (Figura 2).

Figura 2 – Aparelho medidor de tamanho de partículas em tempo real Mastersizer S® (Malvern Instruments Ltda.), utilizado na caracterização do espectro de gotas. Jaboticabal, 2018.



O estudo foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado e os tratamentos distribuídos no esquema fatorial 2 x 3, sendo dois volumes de caldas e três pontas de pulverização de jato plano (Tabela 1), com as mesmas características operacionais adotadas nas pulverizações a campo (Experimentos 2 e 3). Para cada tipo de ponta de pulverização foram avaliadas três unidades diferentes em cinco repetições, totalizando 15 repetições para cada tratamento. O teste foi conduzido em duas caldas: água e Fox® (0,4 L ha⁻¹) associado ao adjuvante Áureo® (0,3%). As pulverizações foram realizadas por sistema pressurizado por ar comprimido, com pressão ajustada de acordo com cada tratamento (Tabela 1) por regulador de pressão de precisão.

O feixe do laser foi posicionado 400 mm abaixo da ponta de pulverização, a qual foi instalada em um oscilador de modo que todo o jato da pulverização passasse pelo feixe de luz em 3 segundos. O tempo total para as leituras do tamanho de gotas foi de 1,5 s (metade do jato pulverizado), sendo realizada uma leitura a cada 2 milissegundos, totalizando 750 leituras em cada jato (DI OLIVEIRA, 2008; CASSIA et al., 2013).

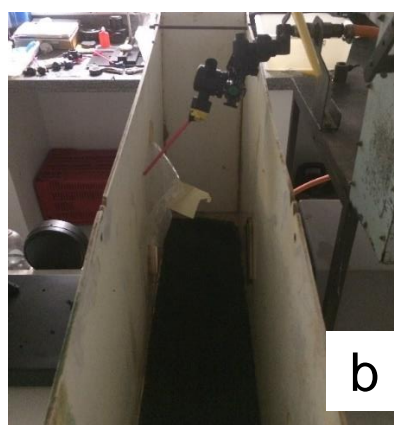
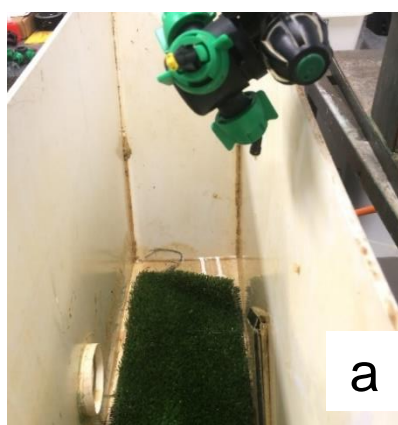
Tabela 1 – Relação dos tratamentos utilizados nos experimentos.

Tratamentos	Ponta de pulverização	Característica das pontas	Pressão de trabalho (kPa)	Volume de calda (Lha ⁻¹)
1	Jato plano	AXI 11003	182	125
2	Jato plano	AXI 11004	434	250
3	Jato plano duplo	JGT 11002	379	125
4	Jato plano duplo	JGT 11003	758	250
5	Jato plano inclinado	DEFY 3D 100025	324	125
6	Jato plano inclinado	DEFY 3D 10004	434	250

O sistema porta-bicos foi inclinado nas avaliações das pontas DEFY 3D de modo que o jato da pulverização ficasse paralelo ao sistema de captação, sem choque e interferência na lente do aparelho (Figura 3). Da mesma forma, as pontas de jato duplo (JGT) foram inclinadas e um dos jatos isolados, avaliando o espectro de gotas de apenas um jato no mesmo sentido vertical das demais.

A avaliação foi realizada em ambiente com as luzes apagadas durante as leituras, temperatura de 27,5 °C, umidade relativa do ar próximo a 55% e sem vento. Foram analisados os seguintes parâmetros qualitativos da pulverização: DV₀₁, DMV (DV₀₅), DV₀₉, gotas com diâmetro menor que 100 µm (potencial de deriva) e amplitude relativa (SPAN).

Figura 3 – Sistema do posicionamento das pontas de jato plano inclinado (DEFY 3D) (a) e jato plano duplo (JGT) (b) para avaliação do espectro de gotas. Jaboticabal, SP, 2018. Fotos: Matheus Mereb Negrisoli.



3.1.2 Análise da distribuição volumétrica

A análise da distribuição volumétrica das pontas de pulverização nas respectivas pressões de trabalho foi conduzida no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, FCA/UNESP – Botucatu, SP, no período de 24 a 28 de julho de 2017, utilizando uma mesa de avaliação do perfil de distribuição volumétrica de líquidos (NORMA ISO 5682-1, 1996). A mesa possui canaletas espaçadas de 5,0 cm, contendo uma proveta coletora de 250 mL ao final de cada canaleta, possibilitando a coleta do líquido pulverizado e a leitura do volume no tempo estabelecido. As pontas de pulverização foram montadas na barra de pulverização posicionada acima da mesa de distribuição com possibilidade de regulagem de altura (Figura 4).

A análise dos valores de CV (%) da distribuição volumétrica das pontas de pulverização foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado para as três pontas de pulverização e dois volumes de calda (Tabela 1), num total de seis tratamentos distribuídos no esquema fatorial 2 x 3, em quatro repetições. Cada ponta de pulverização foi submetida ao teste na mesa de distribuição volumétrica individualmente e em cada um dos volumes de calda estabelecido e vazão de 1,76 L.min⁻¹ e 0,88 L.min⁻¹ para os volumes de 250 e 125 L ha⁻¹, respectivamente.

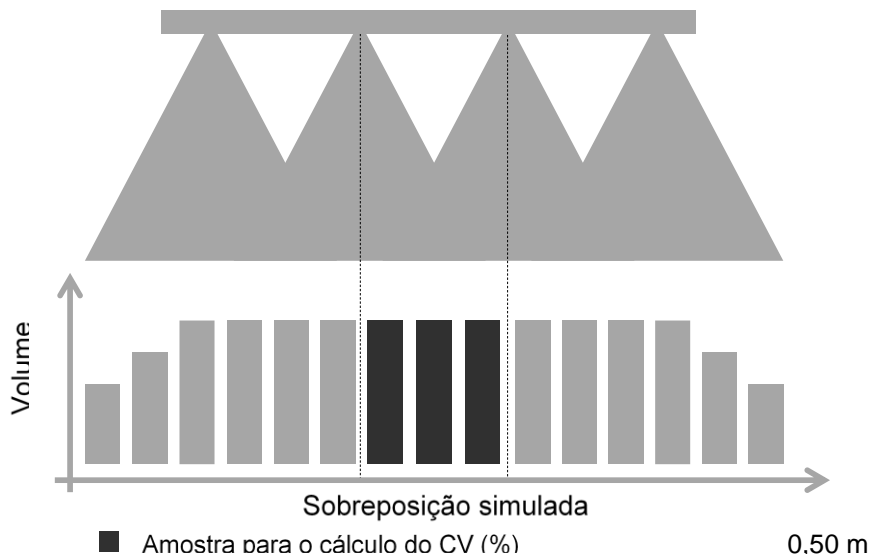
Figura 4 – Mesa de distribuição volumétrica de líquidos (NORMA ISO 5682-1, 1996) utilizada na avaliação da uniformidade de distribuição volumétrica das pontas de pulverização (a) e canaletas e provetas graduadas para leitura do volume captado e cálculo da porcentagem do coeficiente de variação e perfil de distribuição (b). Botucatu, SP, 2017.



A pressão de trabalho foi ajustada para que se atingisse o volume de calda necessário em situação hipotética semelhante à aplicação a campo, com velocidade de deslocamento de 9 km h⁻¹. Para todos os tratamentos foi utilizada apenas água na pulverização e as pontas sempre posicionadas a 0,50 m de altura de barra, simulando a distância do alvo da pulverização a campo.

O volume de calda pulverizado foi coletado individualmente nas provetas em 60 segundos de pulverização, registrando a leitura do volume obtido em cada proveta. Os dados médios do volume coletado foram utilizados para determinar o perfil de distribuição de cada tratamento. De posse dos perfis de distribuição individual, foi possível a simulação de sobreposição a cada 0,50 m a partir da canaleta central da ponta de pulverização (BAUER; RAETANO, 2004). Com base na sobreposição simulada do volume obtido em planilha Excel, foi calculado o CV para cada um dos tratamentos utilizando o volume acumulado proveniente da região de sobreposição (Figura 5).

Figura 5 – Esquema da simulação da sobreposição dos jatos e área utilizada para cálculo do coeficiente de sobreposição. Fonte: Felipe Matheus Santos e Souza.



Os cálculos do CV foram realizados pelo software Microsoft Excel ® representado pela Equação 2 (E2), para posterior análise de variância e teste de médias.

$$CV (\%) = \frac{DESVPAD (X:Y)}{média (x)} * 100 \quad (E2)$$

Onde: CV (%) é o coeficiente de variação em porcentagem, DESVPAD (X:Y) é a função para cálculo do desvio padrão da amostra e média (\bar{x}) a média das amostras.

3.2 Experimento 2 – Análise quali-quantitativa da pulverização na cultura da soja

O ensaio foi conduzido a campo na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP, Botucatu), na cidade de Botucatu, SP, a 724 metros de altitude com as coordenadas geográficas: 22° 48'S e 48° 25' (Figura 6). Na área experimental foi adotado o sistema de plantio direto e os experimentos foram conduzidos durante as safras agrícolas de 2016/17 e 2017/18.

Figura 6 – Fotografia aérea da área experimental. Botucatu, SP, 2018.



3.2.1 Safra 2016/17

3.2.1.1 Local e instalação do experimento

O local de instalação do experimento possui solo Latossolo Vermelho, de acordo com a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação do solos

(EMBRAPA, 2006a). O clima predominante do local é o tropical de altitude, apresentando inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). A análise de solo foi realizada previamente à instalação do experimento na área para correção e adubação adequada para a cultura da soja (Tabela 2). Cerca de 20 dias antes da instalação do experimento foi realizada a dessecação da aveia-preta (*Avena strigosa*), instalada como planta de cobertura no período da entre-safra, com glifosato na dose de 1,5 kg ha⁻¹.

Tabela 2 – Análise química do solo da área experimental 2 e 3, na profundidade de 0-20 cm. Botucatu, SP, 2016.

pH (CaCl ₂)	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
	g/dm ³	mg/dm ³	mmol.cdm ⁻³					mgdm ⁻³			
4,9	21	30	1	45	3,8	40	18	61	106	58	9
Micronutrientes											
B			Cu		Fe		Mn		Zn		
mgdm ⁻³											
0,66			11,1		26		18,4		2,8		

A cultura da soja foi semeada em 25 de novembro de 2016, com a semeadora-adubadora EXACTA Air 2980 PD pantográfica Jumil. A cultivar de soja selecionada foi a FTS Campo Mourão RR, com hábito de crescimento semi-determinado e sem resistência genética para a doença de interesse deste estudo (FT Sementes, s.d.). O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m com uma população de 280.000 sementes ha⁻¹. Junto à semeadura foi realizada a adubação da cultura com 250 kg ha⁻¹ do formulado comercial 02-20-20 (N-P-K) de forma homogênea em toda a área experimental.

Previamente a semeadura, foi realizado o tratamento de sementes com fungicida Vitavax-Thiran® 200 SC (carboxina + tiram) e inseticida Cruiser 350 FS® (tiametoxam), com doses de 250 e 150 mL dos produtos comerciais (p.c.) para cada 100 kg de sementes, respectivamente, de modo a promover a proteção fitossanitário das sementes durante o desenvolvimento inicial da cultura. Além disso, foi adicionado o inoculante Bradyrhizobium sp. (Biomax®), na dose de 200 mL p.c. 100

kg⁻¹ de sementes. O tratamento de sementes foi conduzido *on farm* no dia da semeadura, utilizando a máquina de tratamento de sementes Mecmaq®.

3.2.1.2 Manejo fitossanitário da área experimental

O controle de plantas daninhas na área ocorreu em pulverização no estágio vegetativo V4 (FEHR; CAVINESS, 1977) com glifosato (Roundup WG®), conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Produtos fitossanitários utilizados no manejo fitossanitário de pragas e plantas daninhas na área experimental durante as safras de 2016/17 e 2017/18. Botucatu, SP, 2018.

Produto comercial	Ingrediente ativo	Dose (kg ou L ha ⁻¹)	Alvo biológico	Estádio fenológico
Roundup WG®	glifosate 729,5 g kg ⁻¹	1,5	Plantas daninhas	V4***
Prêmio®	clorantraniliprole 200 g L ⁻¹	0,04	<i>C. includens</i> <i>A. gemmatalis</i>	V7/R2***
Dimilin®	diflubenzurom 250 g kg ⁻¹	0,14	<i>C. includens</i> <i>A. gemmatalis</i>	V9***
Engeo pleno®	tiametoxam 141 g L ⁻¹ + Lambda-cialotrina 106 g L ⁻¹	0,2	<i>Euschistus heros</i> <i>Nezara viridula</i>	R5.3*
Galil®	imidacloprido 250 g L ⁻¹ + bifentrina 50 g L ⁻¹	0,4	<i>E. heros</i> <i>N. viridula</i>	R5.2**

* Safra 2016/17

** Safra 2017/18

*** Ambas as safras

O manejo de insetos-praga foi conduzido conforme necessidade com base no monitoramento semanal pelo método de pano de batida (CORRÊA-FERREIRA, 2012), com produtos, doses e épocas de aplicação, conforme descritos na Tabela 3. O manejo das doenças foi conduzido exclusivamente pela aplicação do fungicida utilizado nos tratamentos para o controle da FAS, de modo a não interferir nos resultados.

3.2.2 Safra 2017/18

3.2.2.1 Local e instalação do experimento

A semeadura da segunda safra agrícola (2017/18) ocorreu em 05 de dezembro de 2017. Contudo, devido a um veranico de mais de 15 dias após a semeadura, houve má uniformidade de germinação e morte das plantas. Dessa forma, fez-se a ressemeadura da cultura em 21 de dezembro de 2017, utilizando a cultivar BMX Potência RR, hábito de crescimento indeterminado e também suscetível a FAS. A semeadura foi realizada com a mesma semeadora e taxa de adubação, espaçamento entre linhas de 0,45 m e população de 280.000 sementes ha⁻¹. O experimento foi instalado no mesmo local da safra anterior e com condução semelhante à aplicada para a safra 2016/17 quanto ao tratamento de sementes e manejo fitossanitário.

3.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos distribuídos em esquema fatorial 2 x 3, sendo: 2 volumes de calda (125 e 250 Lha⁻¹); 3 pontas de pulverização de jato plano (jato plano padrão, jato plano duplo e jato plano inclinado) (Tabela 4), em quatro repetições. As pontas de pulverização utilizadas são ilustradas na Figura 7. O desempenho das pontas de pulverização foi avaliado em dois volumes de caldas, sendo o de 125 L ha⁻¹ próximo a taxa de aplicação utilizado atualmente na cultura (CARVALHO et al., 2017) e o de 250 L ha⁻¹ o dobro deste valor, proporcionando melhor comparação do efeito de diferentes volumes de calda sobre a otimização da tecnologia de aplicação e no manejo fitossanitário da FAS na soja.

As pulverizações foram realizadas em ambos os experimentos com o pulverizador Jacto®, modelo Falcon Vortex AM 14, montado no trator Massey Ferguson, modelo 296, a 1500 rpm no motor e velocidade de deslocamento de 9 km.h⁻¹, com pressão de trabalho ajustada de modo a atingir o volume de calda desejado para cada tratamento, produzindo gotas de tamanho (DMV) médio, conforme recomendação de Oskan et al. (2006) e Cunha et al. (2014).

Tabela 4 – Relação dos tratamentos utilizados nos experimentos 2 e 3.

Tratamentos	Jato	Pontas de pulverização	Pressão trabalho (kPa)	Vazão (L min ⁻¹)	Volume de calda (Lha ⁻¹)
1*	Testemunha	-	-	-	0
2	Plano	AXI 11003	182	0,88	125
3	Plano	AXI 11004	434	1,76	250
4	Plano duplo	JGT 11002	379	0,88	125
5	Plano duplo	JGT 11003	758	1,76	250
6	Plano inclinado	DEFY 3D 100025	324	0,88	125
7	Plano inclinado	DEFY 3D 10004	434	1,76	250

* Tratamento adicional utilizado na comparação da eficácia do controle da doença e efeito sobre a produtividade no experimento 3, conduzidos na mesma área. Pontas AXI e JGT (Jacto®) e DEFY 3D (PENTAIR/HYPRO).

Os blocos foram instalados com uma distância de três metros entre si, de modo que houvesse um carreador com tamanho suficiente para trânsito do pulverizador. As pulverizações sobre as parcelas foram realizadas com apenas uma das barras, com dispositivo de comando de débito proporcional do fluxo líquido (Master Flow®) em cada seção. Foi mantida uma distância de 0,50 m entre os bicos e topo do dossel da cultura e as condições climáticas de temperatura, umidade e velocidade do vento foram monitoradas por meio de termo-higrômetro (Lutron, modelo HT-3003) e anemômetro digital (Lutron, modelo AM – 4201) (Tabela 5).

Figura 7 – Pontas de pulverização de jato plano duplo, padrão e inclinado (esquerda à direita) utilizados nos tratamentos dos três experimentos. Botucatu, SP, 2018.



Foto: Matheus Mereb Negrisoni (2018)

Tabela 5 – Dados climáticos correspondentes a cada pulverização dos tratamentos na área experimental, nas safras 2016/17 e 2017/18. Botucatu, SP, 2018.

Safra	Tratamento	Data da pulverização	Estádio fenológico	Temperatura (C°)	UR (%)	Velocidade do vento (km h ⁻¹)
Safra 2016/2017	Água destilada + Azul brilhante	08/02/2017	V9*	24,0	80,8	12,0
	Fox ® + Áureo	10/02/2017	V9	23,2	72,0	7,9
	Água destilada + Azul brilhante	23/02/2017	R2	26,9	55,0	3,7
	Fox ® + Áureo	02/03/2017	R2	21,9	82,9	5,6
Safra 2017/18	Água destilada + Azul brilhante	-	-	-	-	-
	Fox ® + Áureo	12/02/2018	V9	32,0	45,0	5,2
	Água destilada + corante AML 100**	21/02/2018	R1	29,0	55,0	7,0
	Água destilada + Azul brilhante	27/02/2018	R2	23,7	59,0	2,6
	Fox ® + Áureo	01/03/2018	R2	20,3	76,6	6,9

*Estádios de desenvolvimento da cultura da soja. Adaptado de Fehr & Caviness (1977)

** Análise qualitativa em alvo natural, item 3.2.5.2.

3.2.4 Avaliação quantitativa da pulverização

Para a avaliação quantitativa do depósito proveniente das pulverizações dos tratamentos foi utilizado o corante marcador Azul Brilhante da marca Duas Rodas Industrial LTDA em solução aquosa (0,3%). O mesmo procedimento foi utilizado para ambas as safras agrícolas (Tabela 4). O Azul Brilhante é um corante alimentício, catalogado como FD & C Blue n.1 pela “Food, Drug & Cosmetic”. Este corante é atóxico e de fácil remoção das folhas e mantém o marcador estável mesmo 8 horas após a pulverização (PALLADINI et al., 2005).

A avaliação da deposição do corante marcador foi realizada previamente à pulverização do fungicida em cada estágio de desenvolvimento da soja, sendo uma

avaliação no final do estágio vegetativo e outra no início do reprodutivo, 15 dias após a primeira pulverização (Tabela 5).

Este procedimento foi adotado para evitar a influência da formulação fungicida na leitura óptica do marcador por espectrofotometria. Devido à necessidade da ressemeadura na safra 2017/18 e atraso no crescimento vegetativo da cultura, a qual encontrava em estágio de desenvolvimento não adequado para a primeira avaliação quali-quantitativa (V9), sem fechamento de entrelinhas e baixa área foliar, não representando as mesmas condições da primeira safra agrícola, decidiu-se não realizar a avaliação dos depósitos nesta data (Tabela 5).

O marcador Azul Brilhante foi solubilizado no tanque de pulverização na concentração de 3000 e 6000 mg L⁻¹ água destilada para o volume de calda de 250 e 125 L ha⁻¹, respectivamente, em razão da concentração variável para diferentes volumes de calda. Após cerca de 20 minutos da pulverização, tempo necessário para a secagem da calda pulverizada nas plantas, foram coletados aleatoriamente 10 folíolos da parte superior da planta e em igual número da parte inferior da planta das linhas centrais de cada parcela, de modo que possibilitasse a avaliação da deposição da pulverização e a capacidade da calda de penetrar no dossel (PRADO, 2012). As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários do Departamento de Proteção Vegetal, FCA/UNESP para posterior processamento e análise.

Nas avaliações de depósito, cada amostra recebeu cerca de 40 mL de água destilada e foi agitada para remoção do marcador, produzindo uma solução que foi transferida para recipientes plásticos. Essa solução, proveniente da remoção do marcador dos folíolos serviu para quantificar os depósitos em espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS 1601 PC, realizando a leitura da absorbância no comprimento de onda de 630 nm (PALLADINI et al., 2005).

Relacionando as leituras de concentrações conhecidas do corante com os valores de absorbância obtidos no espectrofotômetro foi construída a curva de calibração para cada calda coletada no dia da pulverização. Dessa forma, foi obtido a concentração do corante no alvo após a pulverização em mg L⁻¹ (SCUDELER et al., 2004). Por fim, por meio de equação 3 (E3) foi estabelecido o volume captado pelo alvo, correlacionando a concentração do corante na solução de lavagem das amostras com a concentração do corante na calda de pulverização.

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \quad (E3)$$

Onde: C_i é a concentração do corante na calda (3.000 mg L⁻¹ para o volume de calda de 250 L ha⁻¹ e 6000 mg L⁻¹ para o volume de 125 L ha⁻¹), V_i é o volume capturado pelo alvo (mL), C_f é a concentração do corante detectada no espectrofotômetro em absorbância (mg L⁻¹) e V_f é o volume de diluição da amostra (40 mL).

Após a remoção do marcador por lavagem foi mensurada a área foliar de cada amostra com o auxílio de um medidor de área foliar de bancada LICOR®, modelo LI-3100 – Area Meter. Assim, pôde-se obter a relação do volume pela área foliar transformando o volume retido em cada folha em mL para µL e dividindo-o pela sua área foliar, tendo os dados em µL cm⁻².

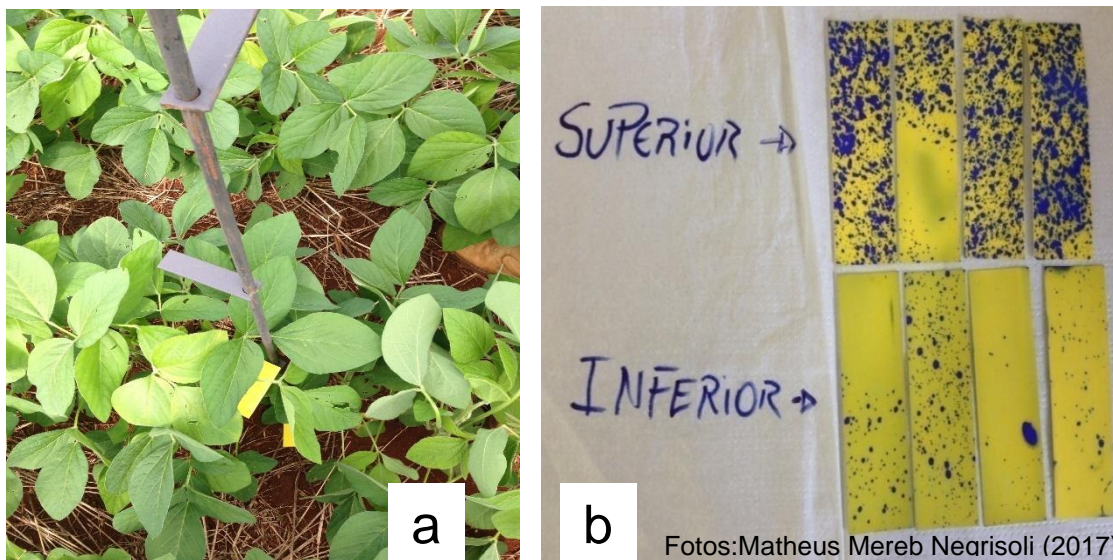
3.2.5 Avaliação qualitativa da pulverização

A análise qualitativa da pulverização foi realizada por meio da avaliação da cobertura da pulverização nos tratamentos por dois métodos: utilização de alvos artificiais (cartões hidrossensíveis) e utilização de alvo natural (cultura da soja) com a pulverização de pigmentos fluorescentes.

3.2.5.1 Análise qualitativa em alvos artificiais

A análise qualitativa da pulverização em alvos artificiais foi realizada simultaneamente nos períodos das análises de deposição da calda, nos respectivos períodos de pulverização, ao final do estágio vegetativo e outra no estágio reprodutivo em ambas as safras (Tabela 5). Foram utilizados dois cartões hidrossensíveis (26 x 76 mm) por parcela, fixados em haste de metal com duas bases de fixação, nas linhas centrais de cada parcela (Figura 8). A haste foi ajustada de modo que ficasse um cartão posicionado na região superior, próximo ao topo da planta, e outro na região inferior do dossel, próximo aos últimos nós (SOUZA, 2016).

Figura 8 – Haste de metal com fixação dos cartões em altura equivalente ao topo e baixeiro das plantas (A) e amostras dos cartões hidrossensíveis após a pulverização (B)



Após a pulverização, os cartões hidrossensíveis foram individualizados em placas de Petri de modo a evitar a absorção de umidade e levados ao laboratório para análise em caixa com isolamento térmico (isopor). A digitalização das imagens das gotas nos cartões foi realizada utilizando scanner de mesa com resolução de 600 dpi. As imagens digitalizadas foram então analisadas pelo software GOTAS® desenvolvido pela Embrapa (EMBRAPA, 2006b), de modo a obter a porcentagem de cobertura nas duas regiões do dossel amostradas.

3.2.5.2 Análise qualitativa em alvo natural

A análise qualitativa da pulverização em alvo natural foi realizada em 21 de fevereiro de 2018 na mesma área experimental, no delineamento e tratamentos previamente descritos (Tabela 4), quando a cultura encontrava-se em estágio reprodutivo R1. Essa avaliação adicional foi inserida ao estudo com intuito de melhorar a representação da cobertura da pulverização proveniente das pontas com ângulo de inclinação. Alvos naturais podem expressar melhor a cobertura proveniente das diferentes tecnologias adotadas, permitindo melhor comparação quanto à penetração e distribuição das gotas no dossel (MINGUELA; CUNHA, 2010).

Assim, uma pulverização utilizando o mesmo equipamento e características operacionais de velocidade e altura de barra foi realizada quando a cultura estava no estágio reprodutivo R1. Para isso, o pigmento fluorescente Luxcor AML 100 na concentração de 3000 e 6000 mg L⁻¹ foi diluído em água para os volumes de calda de 250 e 125 L ha⁻¹, realizando uma pré-mistura em balde de 20 L previamente à mistura em tanque. As condições climáticas no momento da pulverização também estão descritas na Tabela 5.

Após a pulverização e secagem do produto nas folhas, foram coletados aleatoriamente 20 folíolos por parcela, sendo 10 folíolos da região superior e 10 da região inferior da planta, totalizando 480 amostras. Os folíolos foram acondicionados em sacos de papel identificados e levados ao Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários do Departamento de Proteção Vegetal, FCA/UNESP para posterior análise.

Para isso, os folíolos coletados foram levados para uma sala escura e analisados sob luz ultravioleta (UV) dentro de uma câmara adaptada para a visualização dos pontos luminescentes sobre o alvo. Para obtenção das imagens, os folíolos foram acondicionados na câmara sob luz UV e fotografados com câmera digital Sony Alpha 5000, com lentes intercambiáveis de 16-50 mm, a uma distância de 0,40 m, obtendo imagens em formato JPEG, resolução de 350 dpi, sem flash e zoom definido de acordo com o ajuste do foco.

Para cada folíolo foi fotografado as superfícies adaxial e abaxial, totalizando 960 fotografias. As imagens possuíam bom contraste de imagem de modo a possibilitar a diferenciação da superfície coberta pelo pigmento fluorescente da superfície foliar (FIRVEDA et al., 2002). Assim, com a diferença no gradiente de cor entre pontos contendo o pigmento fluorescente e superfície alvo foi possível a quantificação da área foliar total para quantificação da porcentagem de área coberta pela pulverização (Figura 9), conforme representado pelos níveis de cobertura variando de 0% a 100% (Figura 10).

A análise da porcentagem de cobertura foi realizada pelo software de análise de imagens Assess® versão 2.0, utilizado para quantificação de sintomas de doenças de plantas (Lamari, Department of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada). Desta forma, é possível mensurar de forma mais precisa a cobertura da pulverização.

Figura 9– Procedimento para estabelecimento da porcentagem de cobertura pelo software de análise de imagens Assess®: seleção da amostra (a); demarcação da área foliar total (b); distinção da área coberta pelo pigmento por diferença no gradiente de cor (c); quantificação da área foliar, área coberta e porcentagem de cobertura (d). Botucatu, SP, 2018.

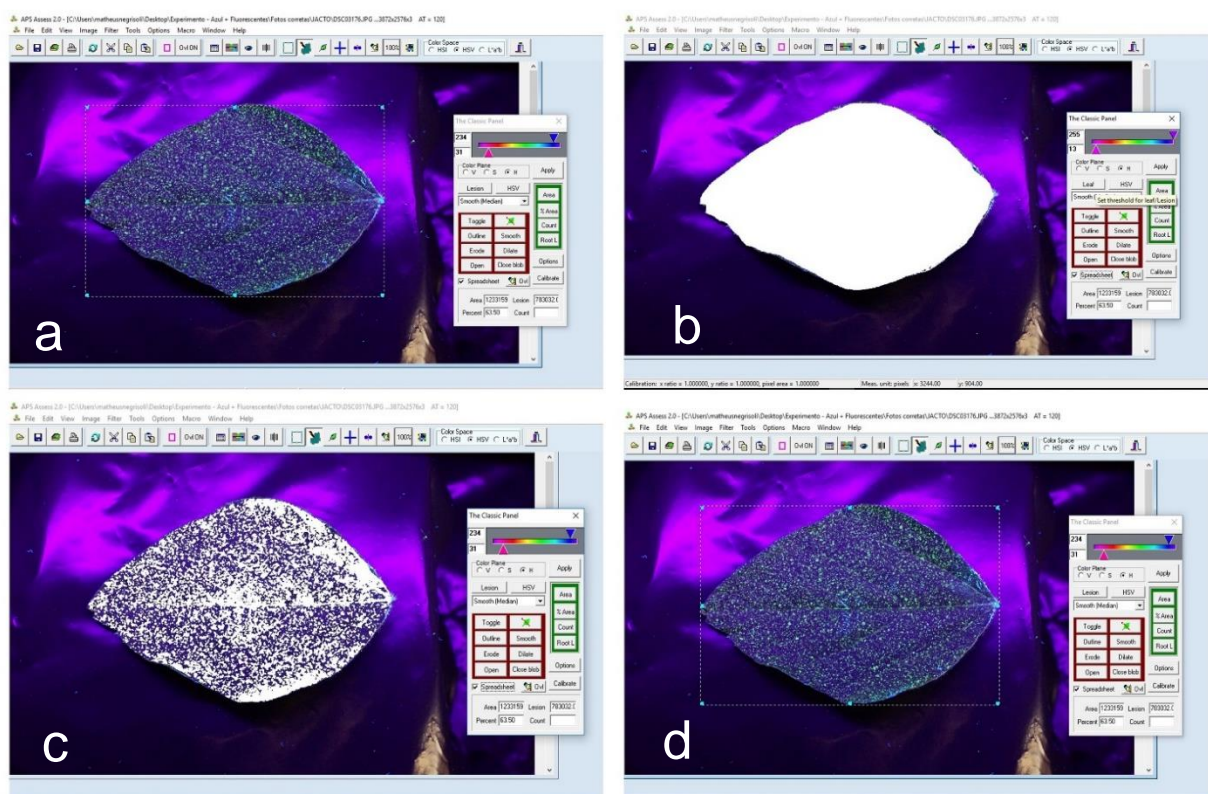
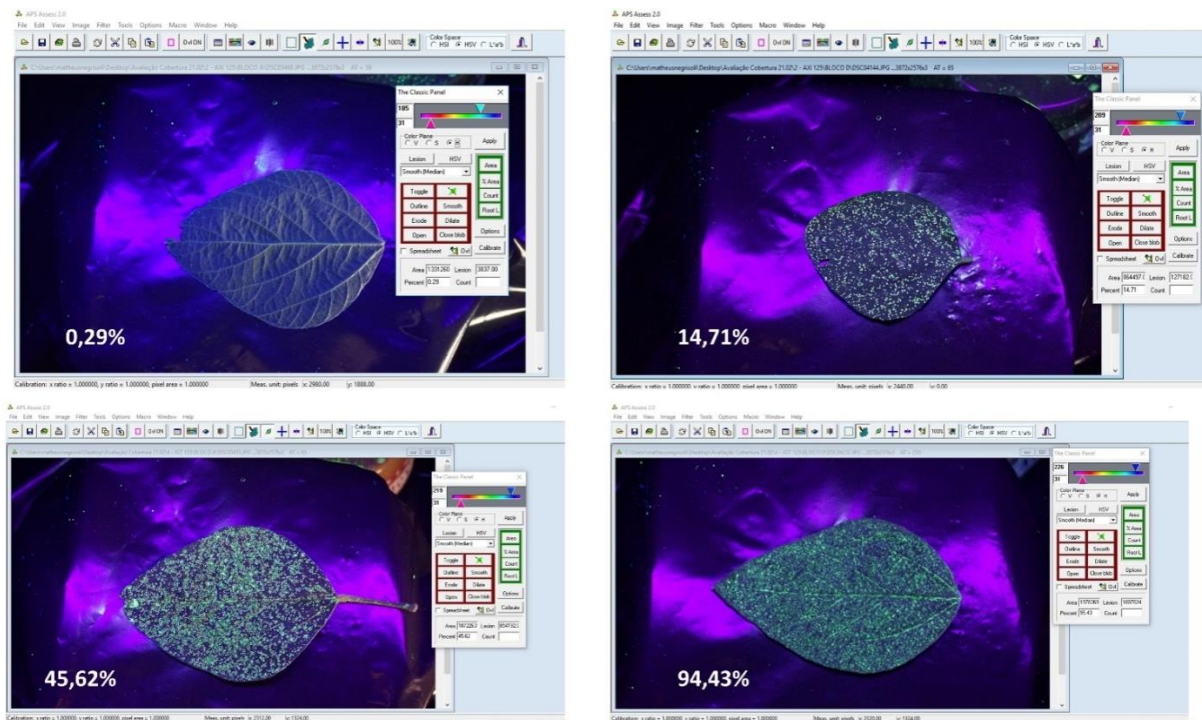


Figura10 – Representação de valores na porcentagem de cobertura, avaliada no software de análise de imagens Assess® versão 2.0. Botucatu, SP, 2018.



3.3 Experimento 3 – Avaliação da severidade e nível de controle da FAS e o efeito sobre a produtividade da soja

O experimento 3 foi conduzido na mesma área do Experimento 2 durante as safras agrícolas de 2016/17 e 2017/18, seguindo as mesmas condições de semeadura e cultivo, manejo fitossanitário e delineamento experimental. Contudo, para as análises deste experimento, foi inserido um tratamento adicional ao fatorial (2 x 3) +1, sendo os mesmos dois volumes de calda e três pontas de pulverização (Tabela 4), mais um tratamento sem controle da FAS.

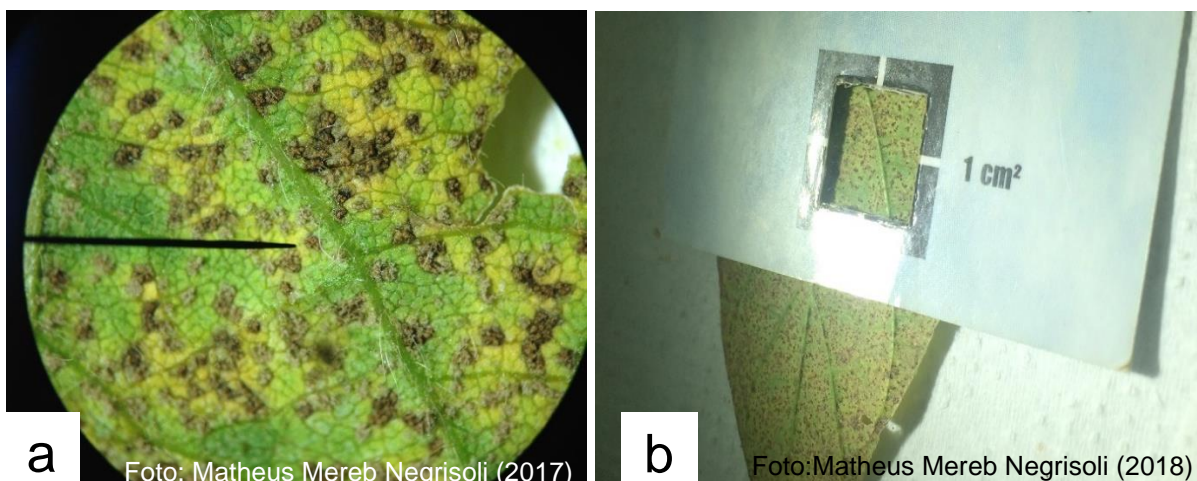
Assim, além da avaliação quali-quantitativa da pulverização provenientes dos tratamentos, conforme descrito anteriormente foi avaliado a influência da tecnologia de aplicação sobre o controle da FAS e seu efeito sobre a produtividade da cultura. Para isso foi utilizada a mistura fungicida trifloxistrobina 150 g L⁻¹ mais proclonazol 175 g L⁻¹ (Fox ®) (4 g L⁻¹), associado ao adjuvante Aureo® (0,3% v v⁻¹), seguindo as recomendações do fabricante quanto a dose e épocas de aplicação, sendo uma no final do estágio vegetativo (caráter preventivo e prévio a inoculação do patógeno) e outra ao redor de 15 dias após a primeira pulverização.

As pulverizações dos fungicidas foram realizadas para cada tratamento em ambas as safras (Tabela 5), após a pulverização do corante e pigmento marcadores para avaliação dos depósitos e cobertura na cultura. O equipamento aplicador e condições operacionais foram idênticas àquelas adotadas nos Experimentos 1 e 2.

3.3.1 Severidade, incidência das doenças e nível de controle

As avaliações da severidade da FAS foram conduzidas a partir do momento em que foram identificados no monitoramento periódico os sintomas da doença. Para isso, semanalmente a partir do estágio V6, foram coletados aleatoriamente 10 folíolos da região inferior das plantas por parcela, identificados e alocados em sacos plásticos. As amostras foram então levadas para laboratório para melhor visualização das estruturas fúngicas e sintomas com uso de microscópio estereoscópio (20 x de aumento). O nível de severidade da doença foi avaliado por meio da contagem do número de pústulas em 1 cm² por folíolo coletado (Figura 11).

Figura 11 – Visualização das pústulas nos folíolos de soja com auxílio de microscópio estereoscópio (a) e demarcação da área de amostragem (b). Botucatu, SP, 2018.



Assim, os dados da severidade da doença, a partir do momento em que foram identificadas as primeiras lesões, foram utilizados para a determinação da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), proposta por Campbell e Madden (1990). Para isso, foram utilizados os valores médios da severidade da doença obtido nas parcelas e nas respectivas datas de avaliação, totalizando 8

avaliações (a partir de 1 dia após a inoculação). A AACPD foi determinada conforme a Equação 4 (E4).

$$AACPD = \sum \left[\left(\frac{x_i + 1}{2} \right) * t_i + 1 - t_i \right] \quad (E4)$$

Onde: AACPD é a área abaixo da curva de progresso da doença, x_i a severidade média da doença na parcela experimental no tempo t_i , n o número de avaliações, t a data da avaliação, e $(t_{i+1} - t_i)$ o intervalo de tempo (dias) entre duas avaliações consecutivas.

3.3.2 Inoculação de *P. pachyrhizi*

Como a incidência da doença foi baixa na região onde o experimento foi conduzido houve necessidade da inoculação do patógeno na área experimental nas duas safras agrícolas. Para isso, folhas de soja com sintomas severos da doença foram coletados em Santo Antônio de Posse, SP e Mogi Mirim, SP nas safras de 2016/17 e 2017/18, respectivamente. As mesmas foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos do Departamento de Proteção Vegetal, FCA/UNESP, Botucatu, SP.

Para a preparação da suspensão de esporos do fungo, as folhas coletadas foram separadas em pequenas porções e, em sacos plásticos, foram adicionados 100 mL de água destilada mais o espalhante adesivo Tween 20 ($240 \mu\text{L L}^{-1}$) e levemente agitadas por cerca de 10 minutos para extração. Toda a suspensão de uredósporos produzida foi unida em um único frasco e homogeneizada para contagem e determinação da concentração de esporos em câmara de Neubauer. Foram realizadas quatro repetições de leituras do número de esporos presente em gota de $10 \mu\text{L}$ da suspensão. A partir disso, toda a suspensão foi ajustada para uma concentração final de 4×10^4 uredósporos m L^{-1} (ZANATTA; REIS; ZANATTA, 2012).

Por fim, a suspensão com uredósporos foi vertida em um pulverizador costal (Jacto PJBc à bateria e com capacidade de 20 L) e pulverizado de forma homogênea nas linhas centrais de cada parcela, ajustando velocidade do caminhamento para melhor uniformidade de distribuição da suspensão. As inoculações ocorreram sempre 7 dias após a primeira pulverização, sendo no dia 17 de fevereiro de 2017, na primeira safra, e no dia 19 de fevereiro de 2018, na

segunda safra agrícola. Foram realizadas sempre ao anoitecer, de modo a manter os esporos o maior tempo possível no escuro e com período de maior umidade e molhamento foliar (ZANATTA et al., 2012).

3.3.3 Avaliação da produtividade

De modo a se determinar a influência da eficácia de controle da FAS na produção e produtividade da cultura da soja, foi realizada a colheita de cada parcela para comparação entre os tratamentos. Na safra 2016/17, a colheita foi realizada 131 dias após a semeadura (DAS) com o auxílio de uma colhedora de parcelas Wintersteiger Nursery Master Elite A- 4910 Ried/Austria (Figura 12a). A colheita foi realizada em área útil de 30 m² de cada parcela, representando 10 m das 3 linhas centrais. Na safra 2017/18, a colheita foi realizada manualmente aos 140 DAS, com colheita de quatro amostras de 1,0 m linear cada, de modo aleatório nas linhas centrais de cada parcela. As amostras foram debulhadas por trilhadeira acoplada à tomada de força do trator e posteriormente peneiradas para retirada de impurezas (Figura 12b).

Em ambas as safras agrícolas, a produção de cada parcela foi pesada individualmente em balança de precisão e foram ajustadas para a umidade a 13% (BRASIL, 2009), de acordo com Equação 5 (E5).

$$PC = \frac{Pb(100-Ur)}{100-13}$$

(E5)

Onde: *Pc* é Peso corrigido da amostra na umidade de 13%, *Pb* o Peso bruto da amostra e *Ur* a umidade da amostra no momento da pesagem.

A umidade das amostras foi aferida pelo aparelho Gehaka® AGRI, modelo G929. Feito isso, os valores obtidos foram transformados para a produtividade final em sacas ha⁻¹.

Figura 12 – Colheita mecanizada com a colhedora de parcelas Wintersteiger Nursery Master Elite A- 4910 Ried/Austria (a) e processo de debulha e preparação da produção final proveniente de colheita manual (b).



3.4 Análise de dados

No experimento 1, na avaliação do espectro de gotas das 3 pontas de pulverização e 2 taxas de aplicação em duas caldas diferentes, os dados obtidos de DV₀₁, DMV (DV₀₅), DV₀₉, gotas com diâmetro menor que 100 µm (potencial de deriva) e amplitude relativa (SPAN), foram utilizados para análise descritiva e caracterização da pulverização. Já para a avaliação da distribuição volumétrica, seguindo mesmo delineamento experimental e fatorial duplo, os valores médios da porcentagem do CV foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5 % de probabilidade. As médias dos tratamentos, quando significativos, foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), todos com auxílio do software estatístico SISVAR®, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

No experimento 2, os valores de cobertura e deposição obtidos nas avaliações quali-quantitativas foram comparados separadamente para cada safra agrícola. Em ambas, os valores médios da porcentagem de cobertura e deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) foram analisados separadamente para cada período de pulverização (vegetativo e reprodutivo) e região da planta (superior e inferior) no esquema fatorial 2 x 3 conforme descrito anteriormente. Os resultados foram submetidos à ANOVA pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey, também a 5% de probabilidade, pelo software estatístico Minitab versão 16 (MINITAB, 2010).

Foi realizada a análise estatística para comparação entre as duas regiões analisadas (superior e inferior), de modo a otimizar a interpretação dos dados e permitir melhor comparação desses valores e a uniformidade de distribuição no dossel. Devido ao baixo número de unidades amostrais e anormalidade dos dados na comparação entre as regiões, foi realizada a análise estatística pelo teste não-paramétrico Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$). A comparação estatística dos resultados obtidos entre as duas regiões amostradas e o gráfico de distribuição (*boxplot*) foi gerada pelo software estatístico Minitab versão 16. Já os valores médios da porcentagem de cobertura pelo método de avaliação em alvos naturais (marcador fluorescente), analisados em duas regiões da planta (superior e inferior) e nas duas superfícies foliares (abaxial e adaxial), foram utilizados para análise descritiva em comparação com as demais avaliações realizadas.

Por fim, no experimento 3, os valores médios obtidos nas análises da severidade da doença, por meio do cálculo da AACPD, e da produtividade da cultura (sacas ha^{-1}), foram analisados em esquema fatorial $(2 \times 3) + 1$, sendo dois volumes de calda e três pontas de pulverização, mais um tratamento adicional (testemunha) sem pulverização e controle da doença. Os resultados foram submetidos à ANOVA pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias dos tratamentos com pulverização do fungicida foram comparadas entre si pelo teste de Tukey e com o tratamento adicional (testemunha) pelo teste de Dunnet, ambos a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$), com o auxílio do software estatístico Minitab versão 16.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Experimento 1 – Caracterização do espectro de gotas e distribuição volumétrica das pontas de pulverização

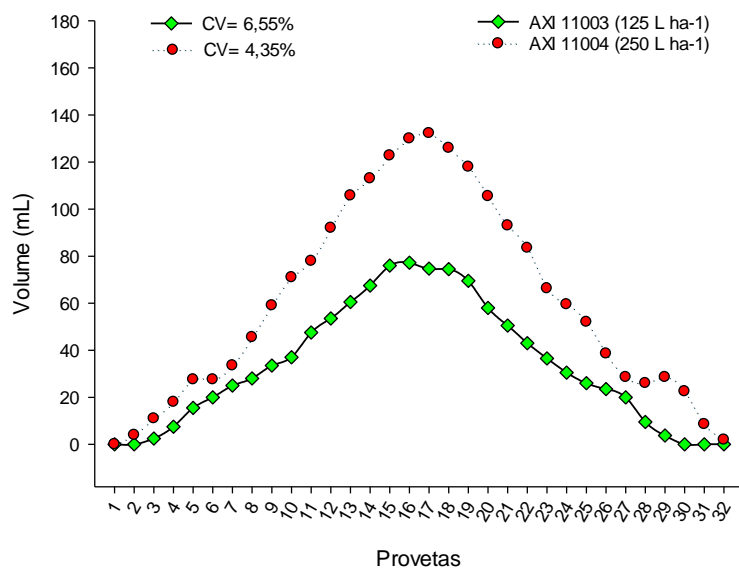
4.1.1 Análise da distribuição volumétrica

A partir dos volumes coletados em mesa de distribuição volumétrica de pontas individuais foi possível a construção do perfil de distribuição volumétrico das pontas de jato plano (AXI), jato plano duplo (JGT) e jato plano inclinado (Defy 3D) sob duas condições de vazão (0,88 e 1,62 L min⁻¹) e pressão ajustada para produzir volume de calda hipotético de 125 e 250 L ha⁻¹ (Figura 13).

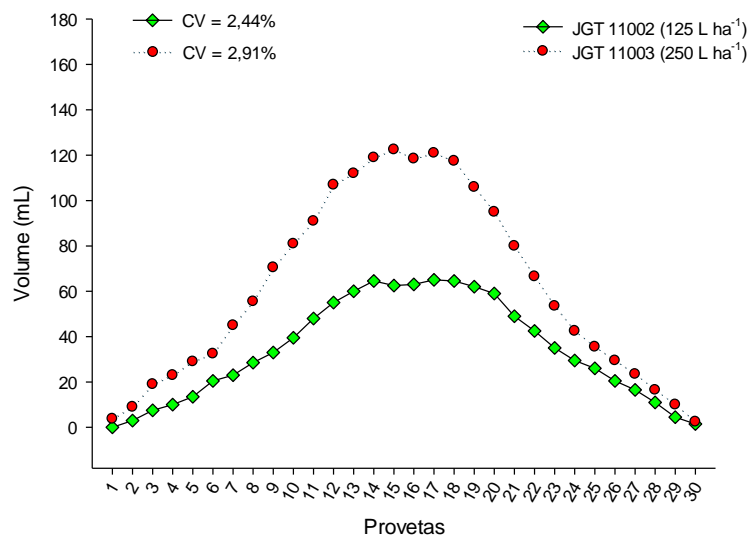
As três pontas avaliadas, em ambos os volumes de calda, apresentaram perfis de distribuição semelhantes, com pico de volume coletado na região central das canaletas logo abaixo da posição central do bico de pulverização, e redução gradual do volume na sequência das canaletas nas extremidades do jato aspergido. Contudo, observa-se comportamento sutilmente diferente para pontas e volumes de calda. Nas três pontas avaliadas com a menor vazão, há menor pico de volume coletado no centro, apresentando curva mais achatada. Por outro lado, com maior vazão e nas pontas AXI, percebe-se picos mais agudos na região central de coleta e queda brusca em direção as extremidades (Figura 13).

Portanto, independente do ângulo de inclinação do jato pulverizado, do número de jatos ou ausência de angulação, o perfil de distribuição volumétrico é semelhante para as pontas em teste. Segundo Christofolletti (2000), considera-se uma distribuição ideal aquela com maior deposição no centro, sem picos de coleta e extremidades simétricas com inclinação gradual. Devido a esse comportamento de distribuição, há a necessidade da sobreposição dos jatos para uniformizar a distribuição no alvo (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER, 2016).

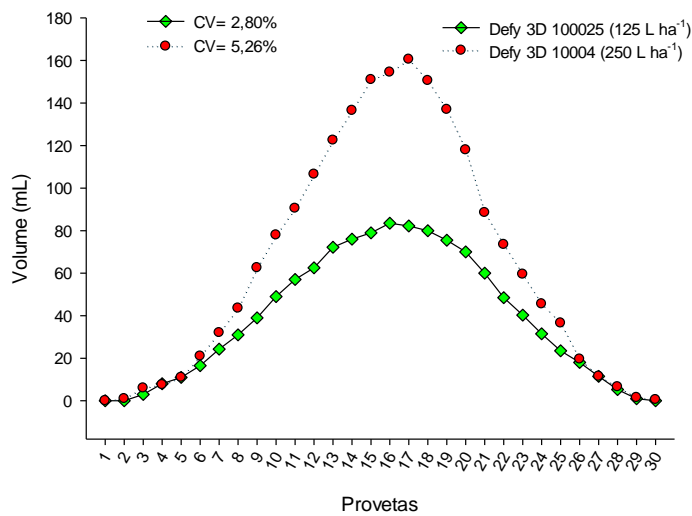
Figura 13 – Perfis de distribuição volumétrica das pontas (a) jato plano (AXI 11003 e AXI 11004), (b) jato plano duplo (JGT 11002 e JGT 11003) e (c) jato plano inclinado (Defy 3D 100025 e 10004) sob respectivas pressões de 182, 434, 379, 758, 434 e 324 kPa e volume de calda hipotético de 125 e 250 L ha⁻¹



(a)



(b)



(c)

Para o cálculo do CV (%) da distribuição volumétrica, considerando a barra de pulverização com quatro bicos, foi realizada a simulação da sobreposição utilizando os perfis de distribuição de cada ponta (Tabela 6). Diferença significativa foi constatada na interação ponta de pulverização e volume de calda, demonstrando a influência de ambos na uniformidade de distribuição da pulverização. De modo geral, pode-se constatar que o CV nas pontas avaliadas foi maior para a vazão adotada no volume de 250 L ha⁻¹, com exceção apenas da ponta de jato plano padrão (AXI).

Pelo perfil de distribuição dos tratamentos (Figura 13), pode-se observar que quanto maior o pico na região central da distribuição (maior quantidade de volume coletado), maior o CV calculado. Por outro lado, nos perfis de distribuição com taxa de aplicação a 125 L ha⁻¹ e em ambos os volumes na ponta JGT é visível uma curva menos acentuada na região de maior coleta do volume. O volume coletado é semelhante em uma distância maior na região central, correspondendo à um CV menor e maior uniformidade de distribuição. Os tratamentos com curvas menos acentuadas apresentaram os menores valores de CV, variando entre 2 e 4%.

Tabela 6 – Porcentagem do Coeficiente de variação (CV%) em mesa de avaliação do perfil de distribuição volumétrico para cada ponta de pulverização e volume de calda. Botucatu, SP, 2017.

Pontas de pulverização	Volume de calda	
	125 Lha ⁻¹	250 Lha ⁻¹
Jato plano (AXI)	6,55 aA	4,35 abB
Jato plano duplo (JGT)	2,44 bA	2,91 bA
Jato plano inclinado (J3D)	2,80bB	5,26 aA
Causa de variação	Teste F	Probabilidade
Ponta de pulverização (P)	9,44	0,0016*
Volume de calda (V)	0,21	0,6657 ^{NS}
P x V	6,72	0,0060*

^{NS}: Não significativo e * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra em cada comparação não diferiram pelo teste de Tukey 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam valores de CV(%) entre os volumes de calda (linhas). Letras minúsculas comparam valores de CV(%) entre as pontas de pulverização (colunas).

As pontas AXI e Defy 3D diferiram quanto à distribuição da pulverização para os diferentes volumes de calda. A ponta AXI apresentou distribuição menos uniforme com volume de calda menor, enquanto que a Defy 3D possui CV significativamente menor a 125 L ha⁻¹. Em ambos os volumes de calda, a ponta JGT demonstrou melhor distribuição da pulverização que as demais, mantendo CV abaixo de 3%.

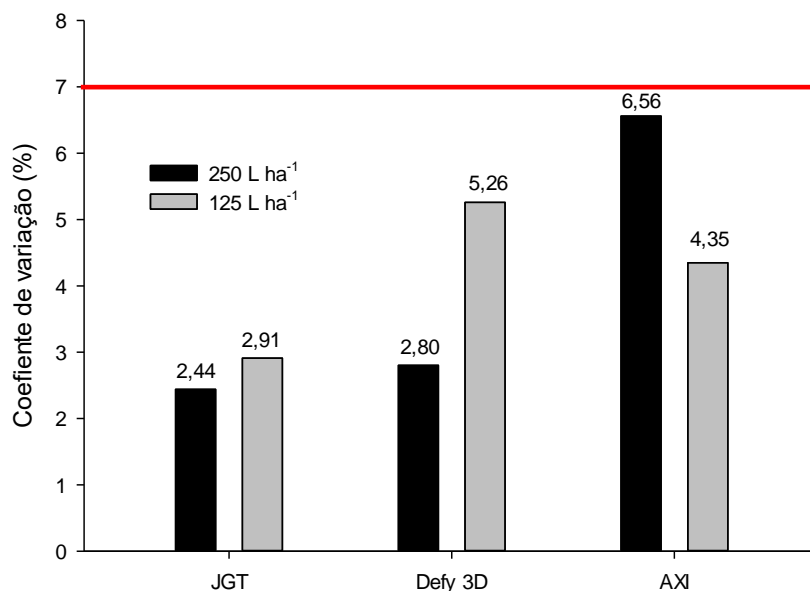
Da mesma forma, Cunha e Ruas (2006) relataram boa uniformidade de distribuição de pontas de jato duplo com indução de ar, destacando a altura da barra e pressão adotada como principais fatores que influenciam no CV e uniformidade da distribuição. No trabalho, os menores valores de CV foram obtidos utilizando relação espaçamento dos bicos/altura da barra semelhantes às encontradas nesse estudo (Experimento 1), adotando espaçamento de 0,50 m entre bicos e distância entre a barra e o alvo (relação 1:1).

Conforme demonstrado por Bauer e Raetano (2004), avaliando o CV de pontas de jato plano e cônico, o espaçamento e altura da barra também influenciaram significativamente a uniformidade de distribuição da pulverização. Segundo os autores, para pontas de jato plano, a recomendação do fabricante para altura e espaçamento de 0,40 e 0,50 m está correta com base no baixo valor do CV. Recentemente, Forney et al. (2017) demonstraram que pequenas variações nos ângulos de posição das pontas, altura de barra e pressão também podem afetar significativamente a uniformidade de distribuição, independente da ponta de

pulverização. Neste trabalho, dependendo da pressão utilizada, o CV variou de 4 até 18% com pequenas variações no ângulo de 0° (vertical) para 8°.

Pelos resultados obtidos, todas as pontas, independente da redução do volume de calda, mantiveram valores de CV abaixo de 7% (Figura 14), considerado aceitável para os padrões internacionais (ECS, 1997). Ao considerar que a uniformidade da distribuição volumétrica foi avaliada conforme parâmetros operacionais utilizados a campo de forma a validar a condição de pulverização nos demais experimentos, pode-se inferir que os tratamentos utilizados foram capazes de promover uniformidade de distribuição adequada. Vale ressaltar que essa condição parte de um ponto de vista teórico, uma vez que no campo outros fatores como o clima e superfície (variação da altura de barra e relação espaçamento/altura) podem influenciar significativamente a uniformidade distribuição da pulverização.

Figura 14 – Médias dos valores de CV(%) após cálculo da sobreposição da pulverização, para cada ponta de pulverização e volume de calda, com referencial do faixa limite de CV (linha vermelha) aceitável nos padrões internacionais.



4.1.2 Análise do espectro das gotas

Os valores referentes ao diâmetro volumétrico acumulados de 10% (DV₀₁), 50% (DV₀₅ ou DMV) e 90% (DV₀₉), além dos valores da amplitude relativa (SPAN) e potencial de deriva (porcentagem de gotas menor que 100 µm), na caracterização

do espectro de gotas provenientes das três pontas de pulverização e dois volumes de calda hipotéticos, representados pelas vazões de 0,88 e 1,62 L min⁻¹, utilizando apenas água e calda de pulverização (Fox® associado ao adjuvante Áureo®) são descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Caracterização do espectro de gotas quanto a porcentagem de volume acumulado, uniformidade (SPAN) e potencial de deriva, produzido por pontas de jato plano em diferentes vazões e volumes de calda.

Jato	Ponta de pulverização	Vazão (L min ⁻¹)	Pressão (kPa)	Calda	DV ₀₁	DV ₀₅	DV ₀₉	SPAN	%Gotas < 100 µm
Plano	AXI11003	0,88	182	Água	90	190	354	1.39	13.48
				Calda ¹	91	257	512	1.64	11.54
Plano	AXI11004	1,62	434	Água	75	195	388	1.60	17.73
				Calda	59	259	541	1.87	18.85
Plano inclinado	3D 100025	0,88	434	Água	65	180	394	1.90	22.11
				Calda	102	291	570	1.61	9.64
Plano inclinado	3D 10004	1,62	324	Água	83	251	540	1.82	14.14
				Calda	87	298	576	1.65	12.21
Plano duplo	JGT 11002	0,88	379	Água	106	275	559	1.65	8.75
				Calda	121	314	543	1.38	7.14
Plano duplo	JGT 11003	1,62	758	Água	103	300	582	1.60	9.51
				Calda	101	319	580	1.50	9.85

¹ Calda constituída de Fox ® (0,4 g L⁻¹) + Áureo ® (0,3% v v⁻¹).

Os dados obtidos são de grande importância para a caracterização da tecnologia de aplicação das pulverizações realizadas nos Experimentos 2 e 3, fornecendo mais informações para comparações técnicas. As variáveis DMV, SPAN e porcentagem de gotas menores que 100 µm são as mais importantes e que permitem melhor caracterização qualitativa da pulverização e posterior controle do alvo biológico. Como as avaliações quali-quantitativas foram realizadas separadamente da pulverização do fungicida, de modo a evitar influência do produto (Experimento 2), foi necessário a comparação das gotas produzidas por diferentes tipos de calda.

Com base nas informações dos fabricantes, as pontas avaliadas neste experimento, com respectivas vazão nominal e pressão de trabalho, produzem gotas de tamanho médio, com DMV entre de 200 e 400 µm (ASABE S572, 2009). Os valores do DMV com apenas água ficaram entre 180 e 300 µm, valores próximos a esta classificação e considerados, portanto, gotas de tamanho médio (Tabela 7). Na

mistura fungicida quando associada ao adjuvante é perceptível o aumento do DMV, independente da ponta e vazão, ficando os valores entre 257 e 320 μm .

Para as pontas e tipo de calda houve aumento no DMV com aumento da vazão nominal. Da mesma forma, houve aumento ainda mais expressivo do DMV nos tratamentos com a calda fungicida associada ao adjuvante (óleo vegetal metilado). Ao considerar as pontas de pulverização, aquelas de jato duplo (JGT) apresentaram valores de DMV maiores, seguidos dos obtidos com as pontas J3D e AXI. Esse fato pode ser explicado devido à indução de ar presentes nas pontas JGT, atuando no aumento do tamanho das gotas (CUNHA et al., 2007).

Conforme relatado por Mota e Antuniassi (2013), o uso de adjuvantes na calda interfere significativamente no tamanho das gotas. Segundo os autores, a utilização de óleo vegetal (Nortox®) aumentou significativamente o tamanho das gotas em comparação com surfactantes, óleos minerais e apenas água, elevando o DMV de 250 até aproximadamente 320 μm .

Além do efeito do adjuvante à calda, Cunha et al. (2007) também encontraram valores significativamente maiores do tamanho de gotas com vazão nominal maior. Segundo os autores, o tamanho do orifício de saída influencia no fracionamento do líquido em gotas e, quanto maior o orifício, menor o fracionamento e maior o tamanho das gotas. Por outro lado, os autores demonstraram que a pressão de trabalho influenciou na redução do DMV das gotas pulverizadas por pontas de jato plano, ao contrário do que ocorreu com as pontas de jato cônico, que não sofreram influência da pressão de trabalho.

Vale ressaltar a importância da correta seleção do tamanho da gota para determinados alvos biológicos. Para o controle da FAS é recomendado a utilização de gotas com DMV entre 250-300 μm (RAETANO et al., 2011). Da mesma maneira, DeBortoli et al. (2012) relataram maior porcentagem de severidade da doença nos tratamentos com espectro de gotas grossas. Segundo os autores, as pulverizações com gotas muito finas e finas promoveram maior deposição em comparação com a utilização de gotas maiores. Além disso, foi verificado DMV significativamente menor das gotas presentes na região inferior da planta, devido à maior capacidade de penetração no dossel.

Contudo, para a correta caracterização da pulverização, juntamente com o DMV também deve ser levando em consideração a homogeneidade das gotas produzidas (SPAN). Segundo Cunha et al. (2004), quanto maior o valor de SPAN,

maior é a amplitude do tamanho de gotas encontrados, sendo, portanto, os valores tendendo a zero considerados menos heterogêneos. Com base na Tabela 7, todos os tratamentos apresentaram valores de SPAN menos heterogêneos, variando de 1,38 a 1,90.

Sob mesma vazão, houve redução no valor de SPAN ao adicionar à calda a mistura fungicida associada ao adjuvante nas pontas de jato plano inclinado e jato plano duplo, o que demonstra maior uniformidade no espectro das gotas de pulverização. Porém, em ambas vazões, houve aumento no valor do SPAN nas pontas de jato plano padrão (Tabela 7). Para as pontas de jato plano AXI 11003 e 11004, nas respectivas pressões de trabalho, a adição da mistura fungicida associada ao adjuvante à água diminuiu a uniformidade do espectro das gotas, com maiores valores de SPAN.

O efeito da calda com adjuvante sobre o valor de SPAN corrobora com os resultados encontrados por Mota e Antuniassi (2013). Segundo os autores, com exceção do adjuvante a base de lauril éter (TA 35) houve aumento na amplitude relativa das gotas, evidenciando menor homogeneidade do espectro das gotas ao adicionar adjuvantes, sendo superior para o óleo vegetal Nortox®.

Outro fator importante que pode influenciar no tamanho das gotas são as condições climáticas no momento da pulverização. Segundo Maciel et al. (2018), com o aumento da velocidade do vento há completa desorganização do espectro de gotas, reduzindo drasticamente o número de gotas muito finas (DV_{01}) e aumentando o DMV significativamente. Além disso, os autores demonstraram que ambos os fatores deriva e evaporação podem atuar também sobre gotas mais grossas.

Neste sentido, os valores obtidos da porcentagem de gotas menores que 100 μm são de grande valia na interpretação do risco potencial de deriva da pulverização (CUNHA et al., 2007). Segundo os autores, quanto menor esse valor, menor será o risco de deriva durante a pulverização, considerando valores abaixo de 15% os mais seguros para pulverização (CUNHA et al., 2003). Sabe-se que a pressão de trabalho, velocidade do pulverizador, características físico-químicas da calda e tamanho de gotas são os principais fatores que influenciam na deriva dos produtos fitossanitários (BOLLER; RAETANO, 2011).

Com base na Tabela 7, verifica-se que muitos dos valores não são considerados seguros quanto ao risco de deriva. Tanto para água quanto para a mistura fungicida mais adjuvante acrescido a esse diluente, o aumento da vazão

interferiu de forma heterogênea na porcentagem de gotas menores que 100 μm . Utilizando a água na pulverização, apenas as pontas AXI 11004 e Defy 3D 100025 produziram porcentagens acima de 15%. Por outro lado, com exceção das pontas JGT 11003 e AXI 11004 houve redução na porcentagem de gotas menores que 100 μm quando a mistura fungicida foi associada ao adjuvante. Apenas a ponta AXI 11004 apresentou valor acima do recomendado (18,85%).

No entanto, a redução da porcentagem de gotas menores que 100 μm pela adição de um óleo vegetal à calda aqui encontrado não corrobora com os resultados encontrados por Mota e Antuniassi (2013). No estudo, os autores relataram aumento significativo na porcentagem pela adição do óleo vegetal Nortox®, enquanto que, o uso de surfactantes a base de nonil fenol e lauril éter houve uma redução significativa. Esse contraste nos valores pode estar relacionado com o tipo de ponta utilizado, sendo uma ponta de jato plano com indução de ar no estudo de Mota e Antuniassi (2013), e pelas diferenças químicas dos adjuvantes, que podem variar na sua concentração de emulsificante (até 20%), além de se tratar de um óleo vegetal metilado com propriedades diferenciadas (ARAUJO; RAETANO, 2011).

A interação do desenho da ponta de pulverização com diferentes adjuvantes sobre o espectro das gotas necessita de estudos mais específicos, em especial quando se trata de adjuvantes oleosos.

As pontas de jato duplo foram as que produziram menor porcentagem de gotas menores que 100 μm , todas abaixo de 10% independente da vazão e calda. Novamente, esse valor pode ser explicado pela presença da indução de ar, cuja tecnologia tem como objetivo reduzir a deriva especificamente por aumento do tamanho das gotas (inclusão de ar na gota). Por outro lado, as pontas Defy 3D foram mais influenciadas pela redução na porcentagem de gotas menores que 100 μm com a utilização do adjuvante, como na pulverização a 0,88 L min^{-1} , reduzindo de 22,11% para menos de 10%.

Cunha et al. (2007) mostraram que o risco potencial de deriva é menor nas pontas de jato plano em comparação com pontas de jato cônico vazio, que normalmente possuem tamanho de gotas menores e mais suscetíveis à deriva. Além disso, os autores relatam maior porcentagem de gotas menores que 100 μm em pontas de jato plano padrão (AXI), semelhantes as pontas utilizadas no Experimento 1, em comparação com as pontas com indução de ar (ADI).

4.2 Experimento 2 - Análise quali-quantitativa da pulverização na cultura da soja

No experimento 2, foram obtidos resultados referentes as análises quali-quantitativa da pulverização em dois estádios de desenvolvimento da cultura. Desse modo, foi possível a comparação das tecnologias de aplicação empregadas, sob uso de diferentes pontas de pulverização de jato plano e taxas de aplicação, quanto a deposição e cobertura em diferentes regiões da planta de soja, em duas safras agrícolas (2016/17 e 2017/18).

4.2.1 Análise quantitativa da pulverização

4.2.1.1 Safra 2016/17

Na primeira pulverização, realizada no estágio vegetativo V9, foram encontradas diferenças significativas quanto à deposição de calda ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) na parte inferior do dossel da cultura para os diferentes volumes de calda (Tabela 8). Nessa região, a média do depósito proveniente da pulverização na taxa de 250 L ha^{-1} foi significativamente superior à taxa de 125 L ha^{-1} (Figura 15), com depósitos de 0,62 e 0,30 $\mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente. Na região superior, não houve influência da ponta de pulverização tampouco do volume de aplicação na deposição de calda. De modo geral, observa-se maior deposição de calda no volume de 250 L ha^{-1} , principalmente na região inferior do dossel, local de difícil penetração das gotas.

Na segunda pulverização, no estágio reprodutivo R2, não foram encontradas diferenças significativas quanto à ponta de pulverização e volume de calda utilizado em ambas as regiões na cultura da soja (Tabela 9). Pode-se evidenciar maior homogeneidade dos valores médios da deposição em ambas partes da planta nesta pulverização, com notável redução na deposição na parte inferior, demonstrando menor capacidade de penetração das gotas no dossel.

Portanto, é possível identificar grande diferença nos valores da deposição na parte inferior da planta quando comparadas as duas pulverizações (Tabelas 8 e 9). Em comparação à primeira pulverização, houve maior valor de depósito na parte superior e menor valor na parte inferior na segunda pulverização. Possivelmente devido ao fechamento do dossel da cultura e aumento do IAF, ocorreu maior retenção da pulverização na região superior (aumento nos valores de deposição) e

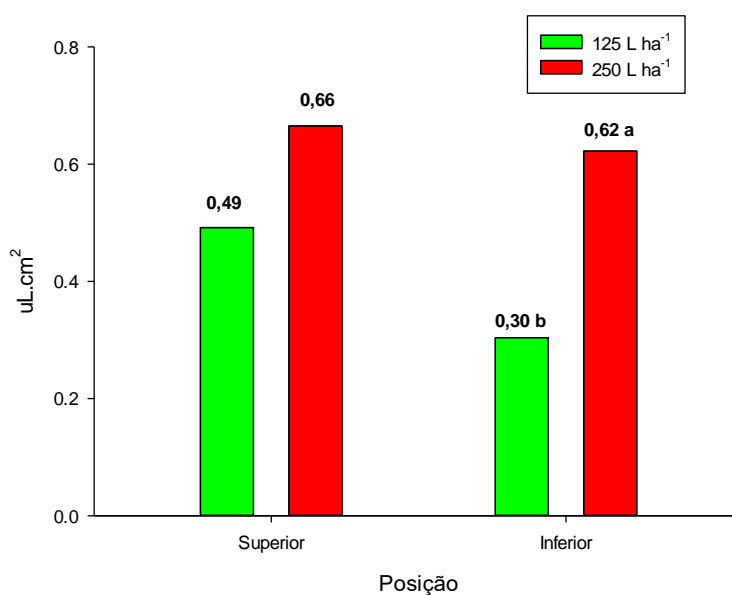
redução na penetração no interior do dossel, diminuindo a deposição de calda na parte inferior das plantas.

Tabela 8 – Médias dos depósitos da pulverização ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) realizada no estágio vegetativo V9, de acordo com as pontas de pulverização e volumes de calda, comparados separadamente para cada parte da planta de soja. Botucatu, SP, 2017.

Pontas de pulverização	Superior		Inferior	
	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹
Jato plano	0,5173	0,6489	0,2507	0,5448
Jato plano duplo	0,3511	0,8081	0,4210	0,5920
Jato plano inclinado	0,6070	0,5386	0,2401	0,7030
Causas de variação	Teste F	Probabilidade	F	Probabilidade
Ponta de pulverização (P)	0,001	0,997 ^{NS}	0,20	0,818 ^{NS}
Volume de calda (V)	2,64	0,125 ^{NS}	4,68	0,047*
P x V	2,06	0,162 ^{NS}	0,40	0,680 ^{NS}

NS: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F.

Figura 15 – Comparação dos valores médios da deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) nas regiões superior e inferior, provenientes da pulverização com os volumes de calda de 125 e 250 L ha⁻¹.



Médias seguidas pela mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade ($p < 0,05$)

Tabela 9 – Médias dos depósitos da pulverização ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) realizada no estádio reprodutivo (R2), de acordo com as pontas de pulverização e volumes de calda, comparadas separadamente para cada parte da planta de soja. Botucatu, SP, 2017.

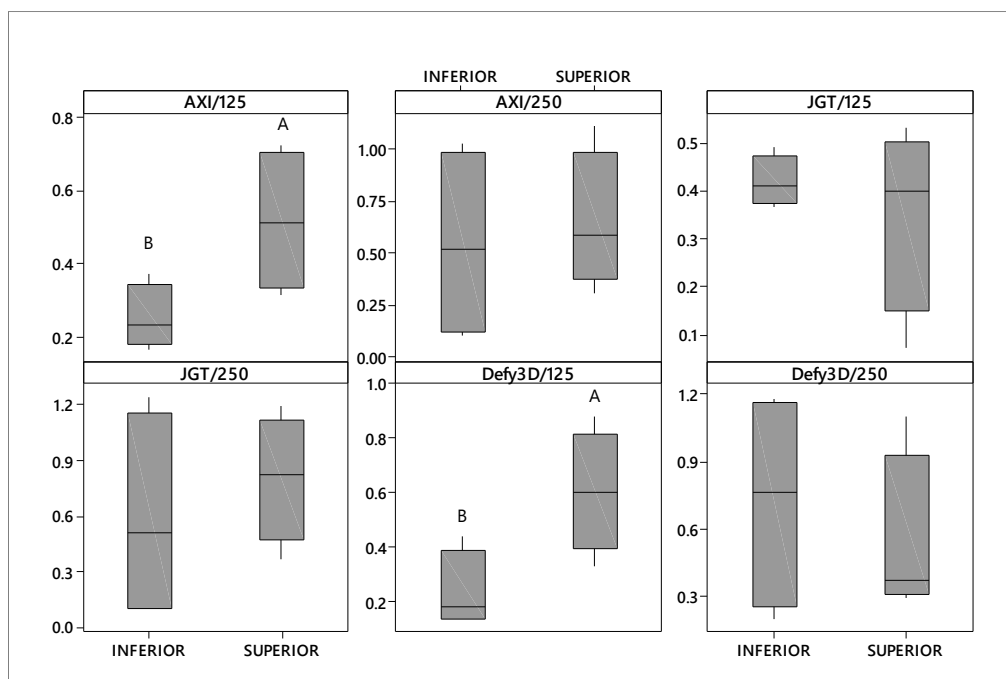
Pontas de pulverização	Superior		Inferior	
	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹
Jato plano	0,7198	0,7747	0,0530	0,0900
Jato plano duplo	0,9143	0,8626	0,1120	0,2012
Jato plano inclinado	0,8507	0,7758	0,0760	0,0812
Causas de variação	Teste F	P	F	P
Ponta de pulverização (P)	1,53	0,248 ^{NS}	2,22	0,144 ^{NS}
Volume de calda (V)	0,13	0,722 ^{NS}	1,46	0,246 ^{NS}
P x V	0,37	0,699 ^{NS}	0,45	0,643 ^{NS}

^{NS}: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F.

Pelas Figuras 16 e 17 é possível realizar a comparação visual e estatística dos valores médios provenientes dos tratamentos nas duas partes amostradas (superior e inferior), nas pulverizações realizadas nos estádios de desenvolvimento V9 e R1, respectivamente. Segundo Cunha et al. (2006), a comparação da deposição nas diferentes partes da planta permitem identificar a uniformidade de distribuição da tecnologia de aplicação empregada, além da análise da capacidade de penetração no dossel da cultura.

Na primeira pulverização, foram encontradas diferenças significativas nos valores médios de depósitos de calda apenas nas pontas de jato plano (AXI) e jato plano inclinado (Defy 3D), ambas a 125 L ha⁻¹ (Figura 16). Nos dois tratamentos houve uma concentração maior da deposição da calda na parte superior, enquanto que os demais tratamentos não diferiram significativamente, mostrando, assim, maior uniformidade de distribuição no dossel. Por outro lado, pode-se inferir também que o volume maior foi capaz de promover melhor penetração das gotas do dossel, incrementando a deposição nessa parte da planta.

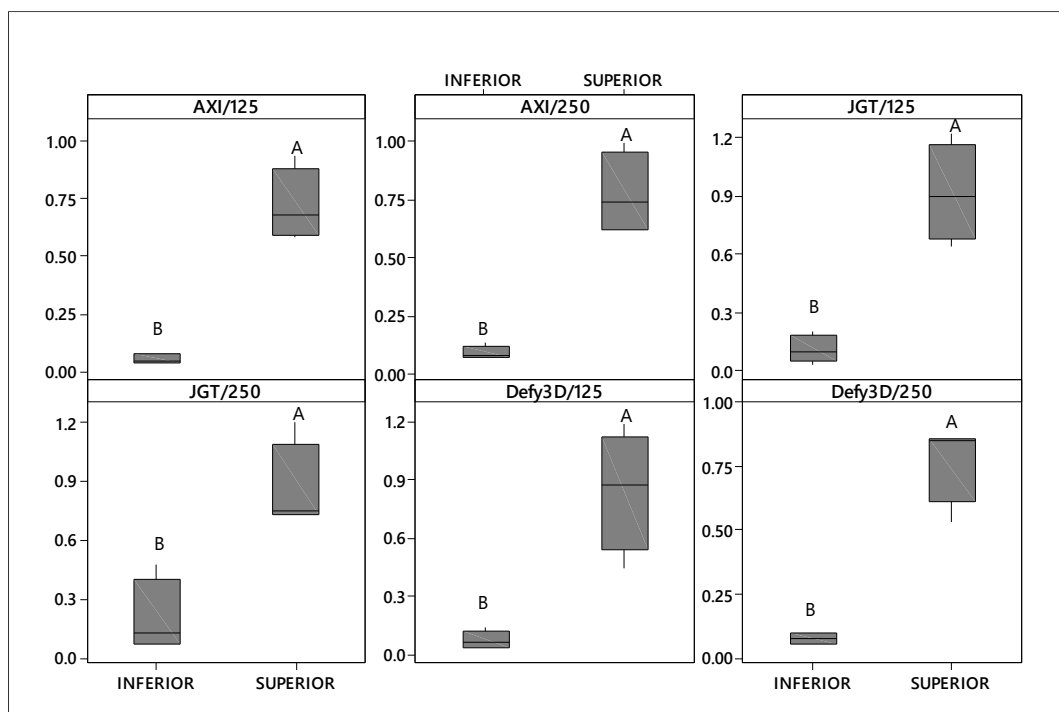
Figura 16 – *Boxplot* representando a comparação dos valores médios do depósito ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) nas partes superior e inferior, na pulverização realizada no estágio de desenvolvimento vegetativo V9.



A distribuição do boxplot de cada tratamento [ponta de pulverização e volume de calda (L ha^{-1})], na parte superior e inferior evidencia a mediana na linha central, quartil inferior (25%) e quartil superior (75%) dos valores médios de depósitos ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar). Medianas seguidas por letras diferentes diferiram entre si pelo teste de Kruskal-Wallis à 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Já na segunda pulverização, todas as pontas de pulverização utilizando volume de calda de 125 e 250 L ha^{-1} promoveram deposição significativamente maior na parte superior da planta em comparação à parte inferior (Figura 17). A menor uniformidade de distribuição pode ser novamente atribuída à maior dificuldade de penetração da pulverização no estágio de desenvolvimento com maior índice de área foliar (SOUZA, 2016), aumentando a retenção na parte superior e consequentemente reduzindo drasticamente a quantidade depositada na parte inferior. Neste caso, nem mesmo o aumento do volume de calda foi suficiente para otimizar o alcance das gotas na parte inferior da planta.

Figura 17 – *Boxplot* representando a comparação dos valores médios do depósito ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) nas partes superior e inferior, na pulverização realizada no estágio de desenvolvimento reprodutivo R2.



A distribuição do boxplot de cada tratamento [ponta de pulverização e volume de calda (L ha^{-1})], na parte superior e inferior evidencia a mediana na linha central, quartil inferior (25%) e quartil superior (75%) dos valores médios de depósitos ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar). Medianas seguidas por letras diferentes diferiram entre si pelo teste de Kruskal-Wallis à 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Cunha et al. (2014) relataram valores semelhantes quanto à deposição da calda na parte inferior da cultura da soja, avaliando 13 tipos de pontas de pulverização e 7 volumes de calda. Segundo os autores, independente da ponta avaliada, não foi possível obter uma cobertura elevada na região inferior do dossel por meio da pulverização hidráulica convencional, sendo recomendada a aplicação previamente ao ponto de máxima área foliar. Corroboram, desta forma, com os resultados aqui obtidos, em que foi constatada melhor uniformidade de distribuição na pulverização no estágio vegetativo.

Em outra pesquisa, Cunha et al. (2006) também obtiveram resultados semelhantes quanto a deposição de pontas de jato plano padrão, duplo, com indução de ar e pré-orifício. Segundo os autores, na parte superior não houve influência das pontas tampouco dos volumes (115 e 160 L ha^{-1}) na quantidade de depósito. Contudo, na parte inferior da planta foi constatada diferença significativa

com a ponta de jato plano padrão, possivelmente devido à produção de gotas de tamanho menores que as demais. Descarta-se a influência dos tamanhos de gotas nesta avaliação, uma vez que, como relatado no Experimento 1, o tamanho de gotas produzidos pelos tratamentos foram homogêneos (Tabela 7).

Ainda nesta pesquisa, Cunha et al. (2006) relataram menor uniformidade de distribuição com a utilização da menor taxa de aplicação, proporcionando valores mais discrepantes entre as partes superior e inferior. Este fato pode ser correlacionado com os valores da deposição resultantes da primeira pulverização (Figura 16), da qual apenas os tratamentos com menor volume evidenciaram diferença significativa entre as regiões de amostragem. Outro fator importante pode estar ligado à uniformidade de distribuição volumétrica das pontas. Independente do volume de calda, as pontas de jato duplo (JGT) apresentaram melhor uniformidade tanto na avaliação da distribuição volumétrica (Tabela 6) quanto na deposição em V9 (Figura 16).

Constantin, Sales e Maciel (2012) avaliaram pontas de pulverização de jato plano, jato plano duplo e jato cônico vazio em diferentes volumes de calda visando obter melhor uniformidade de cobertura da pulverização. No estágio vegetativo V6, os autores relataram melhor uniformidade de distribuição das gotas com pontas de jato cônico (MAG 2), apresentando 17% de diferença entre o valor do depósito na parte inferior comparado à superior. As pontas de jato plano (AD) e jato plano duplo (AD/D) apresentaram 37,1 e 57% de diferença no valor do depósito entre as diferentes partes da planta. Nesse estudo maiores quantidades de depósito foram relatadas utilizando pontas de jato cônico e jato plano.

4.2.1.2 Safra 2017/18

Na segunda safra agrícola, as avaliações quali-quantitativas foram conduzidas apenas em uma pulverização no estágio reprodutivo R2. Nesta pulverização foram encontradas diferenças significativas para o volume de calda na parte superior da planta. Na parte inferior da planta houve interação significativa entre ponta de pulverização e volume de calda (Tabela 10).

Tabela 10 – Médias de depósito da pulverização ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) no estádio reprodutivo (R2), de acordo com as pontas de pulverização e volumes de calda, comparados separadamente para cada parte da planta de soja. Botucatu, SP, 2018.

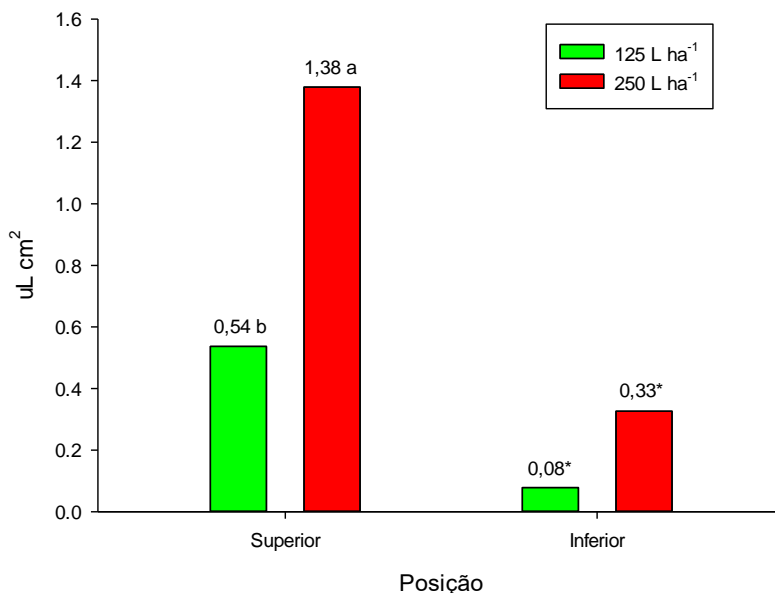
Pontas de pulverização	Superior		Inferior	
	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹
Jato plano	0,5786	1,2256	0,0635 bA	0,4191 aA
Jato plano duplo	0,5178	1,2926	0,0820 bA	0,3073 aAB
Jato plano inclinado	0,5139	1,2256	0,0896 bA	0,2530 aB
Causas de variação	Teste F	Probabilidade	Teste F	Probabilidade
Ponta de pulverização (P)	0,37	0,699 ^{NS}	3,14	0,072 ^{NS}
Volume de calda (V)	22,16	≤ 0,01 ^{***}	114,33	≤ 0,01 ^{***}
P x V	0,58	0,572 ^{NS}	5,96	0,012 [*]

^{NS}: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra em cada comparação não diferiram pelo teste de Tukey 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam valores de depósito entre as pontas de pulverização (colunas). Letras minúsculas comparam valores de depósito entre os volumes de calda (linhas).

Na parte superior, os valores médios de depósito proveniente das pulverizações no volume de 250 L ha⁻¹ foram significativamente maiores em comparação com a menor taxa de aplicação (Figura 18). Os valores do depósito nessa parte da planta utilizando volume de 250 L ha⁻¹ foi aproximadamente o dobro em comparação à taxa de 125 L ha⁻¹, correspondendo à mesma proporção entre o maior e menor volume de calda com diferentes pontas. Além disso, há grande homogeneidade na deposição de calda proveniente das três pontas de pulverização em ambos os volumes de calda. Essas observações não foram encontradas nas duas pulverizações da safra 2016/17 (Tabelas 8 e 9), das quais só foram encontradas diferenças na parte inferior utilizando volumes maiores.

O fato pode ser atribuído a diferenças nas condições de arquitetura e estrutura do dossel da cultura devido à falta de chuva e ressemeadura tardia na safra 2017/18, que podem ter influenciado no desenvolvimento da cultura, bem como pelas diferenças entre cultivares utilizados em cada safra, conforme descrito na metodologia do experimento.

Figura 18 – Comparação dos valores médios de depósito ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) nas partes superior e inferior das plantas de soja, provenientes da pulverização com volumes de calda de 125 e 250 L ha^{-1} .



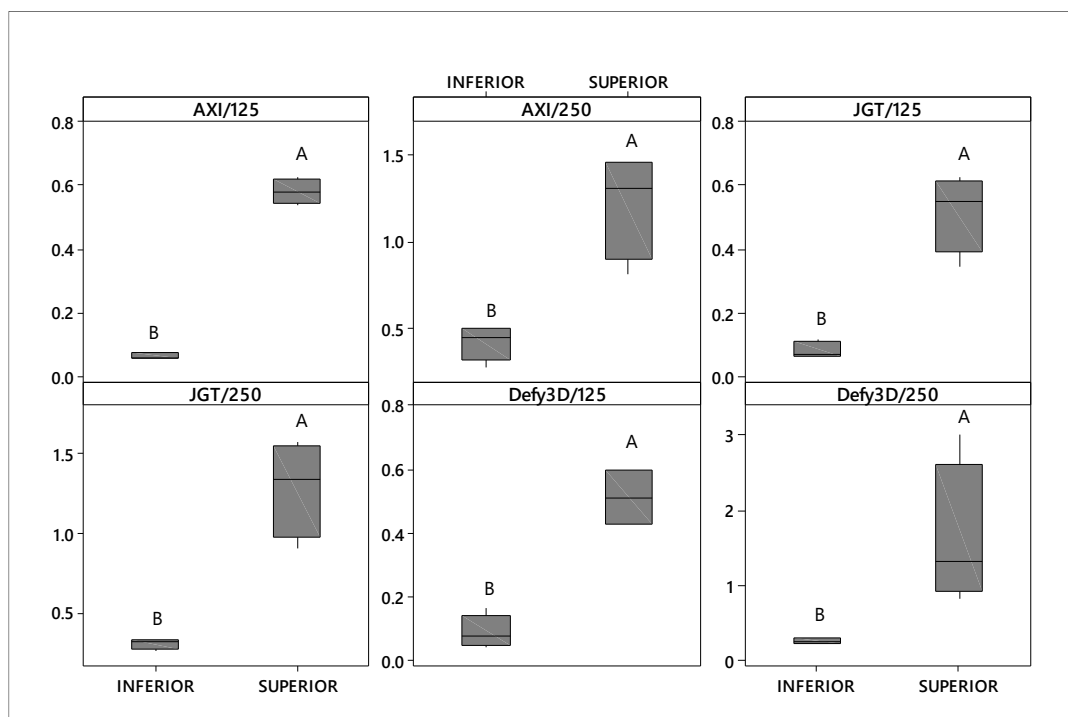
Médias seguidas pela mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade ($p < 0,05$); *significativo para a interação entre os fatores

Na parte inferior da planta houve interação significativa entre os fatores ponta de pulverização e volume de calda (Tabela 10). Pode-se observar que as médias de depósito da pulverização a 250 L ha^{-1} foram significativamente superior a 125 L ha^{-1} , independente da ponta de pulverização. É possível que novamente o volume de calda maior tenha promovido incremento significativo do depósito na parte inferior da planta, interferindo na capacidade de penetração e uniformidade de distribuição das gotas. Dentre as pontas de pulverização, diferença estatística no valor do depósito foi constatada apenas com o volume de 250 L ha^{-1} . Nesta condição houve superioridade da ponta de jato plano (AXI) sobre a ponta de jato plano inclinado (J3D), sendo ambas semelhantes à ponta de jato plano duplo (JGT).

Na comparação dos valores de depósito entre as regiões de amostragem, todas as pontas de pulverização nos respectivos volumes de calda promoveram deposição significativamente maior na região superior da planta (Figura 19). O resultado é semelhante ao encontrado na pulverização neste estágio vegetativo na safra 2016/17 (Figura 18), da qual, devido ao aumento da área foliar e fechamento da cultura, nenhuma das tecnologias empregadas proporcionou melhor penetração

da pulverização na região inferior, prejudicando a penetração no dossel e a uniformidade de distribuição das gotas da pulverização.

Figura 19 – *Boxplot* representando a comparação dos valores médios de depósito ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar) nas partes superior e inferior da planta, na pulverização realizada no estágio reprodutivo R2. Botucatu, SP, 2018.



A distribuição do boxplot de cada tratamento [ponta de pulverização e volume de calda (L ha^{-1})], na parte superior e inferior evidencia a mediana na linha central, quartil inferior (25%) e quartil superior (75%) dos valores médios de depósitos ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar). Medianas seguidas por letras diferentes diferiram entre si pelo teste de Kruskal-Wallis à 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

É possível relacionar os resultados obtidos por Cunha et al. (2006), Constantin et al. (2012) e Cunha et al. (2014) com os resultados da deposição de calda também na segunda safra. Em ambas as safras agrícolas, na pulverização realizada com maior índice de área foliar (R2), observou-se diferença entre depósito na parte superior e inferior de aproximadamente 90 e 85% (1ª safra) e 85 e 76% (2ª safra) para os volumes de 125 e 250 L ha^{-1} , respectivamente. Enquanto que, na pulverização em V9 a diferença foi drasticamente menor, apresentando depósito 37% maior na parte superior para o volume de 125 L ha^{-1} , e apenas 6% para o volume de 250 L ha^{-1} .

A diferença na estrutura morfológica e arquitetura da planta também podem interferir nos resultados da deposição de calda. Além da condição de desenvolvimento menos vigoroso na safra agrícola 2017/18, o cultivar utilizado na primeira safra (FTS Campo Mourão) foi alterado para cultivar BMX Potência na segunda safra agrícola. A arquitetura do cultivar também influencia na quantidade depositada principalmente por interferir no fechamento do dossel e aumento da barreira à penetração das gotas.

Favera (2012) constatou diferença significativa quanto ao controle de *P. pachyrhizi* na cultura da soja sob diferentes volumes de calda (70, 100 e 130 L ha⁻¹) em função do cultivar utilizado. Na parte superior das plantas, os volumes de calda não diferiram entre si na severidade da doença, apenas em comparação com o tratamento sem pulverização (testemunha). Por outro lado, na parte inferior dos cultivares BMX potência e A7636 RG, houve maior severidade da doença pulverizando a 70 L ha⁻¹, devido à arquitetura e características estruturais dos cultivares, influenciando significativamente na cobertura e distribuição da pulverização.

4.2.2 Análise qualitativa da pulverização

4.2.2.1 Safra 2016/17

Na primeira pulverização, realizada no estágio vegetativo (V9), a porcentagem de cobertura da calda proporcionada pelos tratamentos na parte inferior das plantas diferiu significativamente para os volumes de caldas empregados (Tabela 11). Na parte inferior foi observado cobertura de 10,3% no cartão hidrossensível com volume de calda de 250 L ha⁻¹, diferindo estatisticamente da cobertura de apenas 2,8% promovido pela pulverização à 125 L ha⁻¹ (Figura 20). Enquanto que, na parte superior das plantas, as pontas de pulverização e volumes de calda proporcionaram coberturas semelhantes, sem diferenças estatísticas.

Tabela 11 – Valores médios de cobertura da pulverização (%) no papel hidrossensível no estágio vegetativo (V9), com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda comparados separadamente para cada parte da planta de soja. Botucatu, SP, 2017.

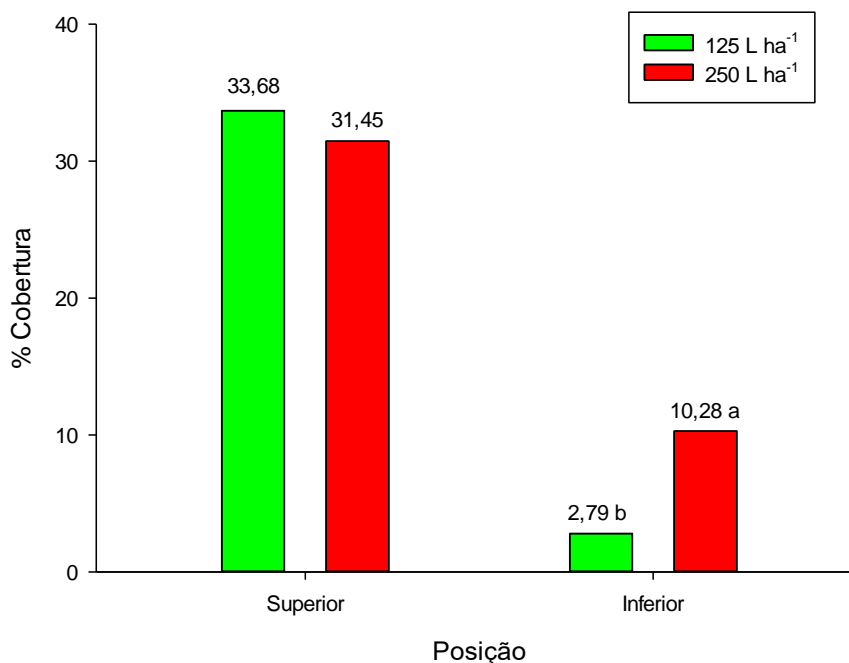
Pontas de pulverização	Superior		Inferior	
	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹
Jato plano	35,30	42,64	4,74	17,52
Jato plano duplo	23,78	25,71	1,39	3,31
Jato plano inclinado	41,97	26,00	2,25	10,01
Causas de variação	Teste F	Probabilidade	Teste F	Probabilidade
Ponta de pulverização (P)	1,83	0,194 ^{NS}	3,30	0,065 ^{NS}
Volume de calda (V)	0,13	0,722 ^{NS}	7,16	0,017*
P x V	1,31	0,299 ^{NS}	1,26	0,312 ^{NS}

^{NS}: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F.

Apesar de a pulverização ser realizada no momento em que a área foliar não é máxima na cultura da soja, a utilização de volume de calda menor foi suficiente para causar diferença de cobertura na parte inferior da planta (Figura 20). Na parte superior, grande porção do volume aplicado fica retido enquanto que, na parte inferior, apenas gotas mais finas e com maior poder de penetração têm capacidade de alcance (CUNHA et al., 2006). Tais resultados foram coerentes e semelhantes aos valores de depósito provenientes da pulverização nesta época e parte da planta (Tabela 8), da qual a deposição foi significativamente maior para o volume de calda de 250 L ha⁻¹.

Na segunda pulverização, realizada no estágio reprodutivo R2, foram encontradas diferenças significativas quanto à porcentagem de cobertura da pulverização na parte superior proporcionada por diferentes pontas de pulverização (Tabela 12). Na parte inferior, não foram encontradas diferenças na qualidade da cobertura da pulverização em ambos os volumes de calda e pontas de pulverização, uma vez que nenhum dos tratamentos foi capaz de proporcionar cobertura satisfatória em presença de maior índice de área foliar e fechamento do dossel. Nesta parte da planta, a cobertura não foi superior a 2%, valor muito abaixo do esperado, principalmente considerando a necessidade de boa cobertura dos fungicidas na região inferior do dossel nesse estágio de desenvolvimento, crucial para o controle químico da *P. pachyrhizi* (RUPE; SCONYERS, 2008).

Figura 20 – Comparação de valores médios de cobertura (%) no papel hidrossensível nas partes superior e inferior da planta de soja, provenientes da pulverização com os volumes de calda de 125 e 250 L ha⁻¹.



Médias seguidas pela mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade ($p < 0,05$);

Tabela 12 – Valores médios de cobertura da pulverização (%) no papel hidrossensível no estágio reprodutivo (R2), com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda, comparados separadamente para cada parte da planta de soja. Botucatu, SP, 2017.

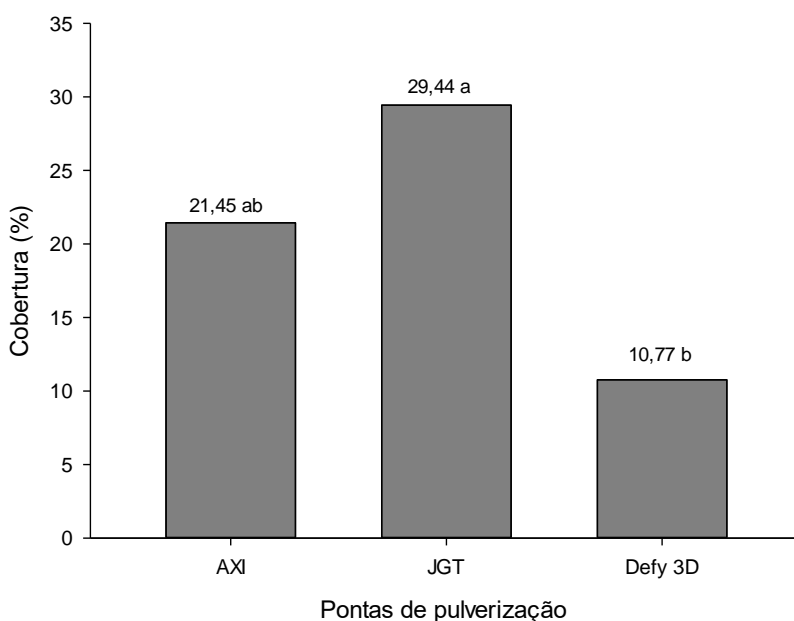
Pontas de pulverização	Superior		Inferior	
	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹
Jato plano	21,31	21,58	1,55	1,48
Jato plano duplo	20,66	38,25	1,64	1,91
Jato plano inclinado	10,51	10,99	0,24	1,13
Causas de variação	Teste F	Probabilidade	Teste F	Probabilidade
Ponta de pulverização (P)	4,89	0,023*	1,07	0,368 ^{NS}
Volume de calda (V)	1,55	0,232 ^{NS}	0,31	0,588 ^{NS}
P x V	1,37	0,284 ^{NS}	0,21	0,815 ^{NS}

^{NS}: Não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$; *** significativo à $p \leq 0,01$, pelo teste F.

Na pulverização realizada em R2, as pontas de jato plano duplo (JGT) promoveram maior cobertura da parte superior do dossel (29,44%) em comparação

à ponta de jato plano inclinado (Defy 3D) com 10,77% de cobertura (Figura 21). Nível de cobertura intermediário (21,45%) foi obtido com a ponta de pulverização AXI. Há suspeita de que o ângulo do jato da ponta Defy 3D possa ter influenciado na captura das gotas da pulverização no cartão hidrossensível, uma vez que a ponta promoveu boa deposição da calda nessa parte da planta (Tabela 9). Por outro lado, pode-se observar a superioridade da ponta JGT nesta época de pulverização, alcançando melhor cobertura na parte superior e maior depósito na região inferior (Tabela 9). Isso provavelmente se deve à distribuição do volume em dois jatos, melhorando a cobertura na parte superior das plantas, bem como a penetração das gotas na parte inferior das plantas.

Figura 21 – Valores médios de cobertura (%) no papel hidrossensível na parte superior da planta provenientes da pulverização com as pontas de jato plano (AXI), jato plano duplo (JGT) e jato plano inclinado (Defy 3D).



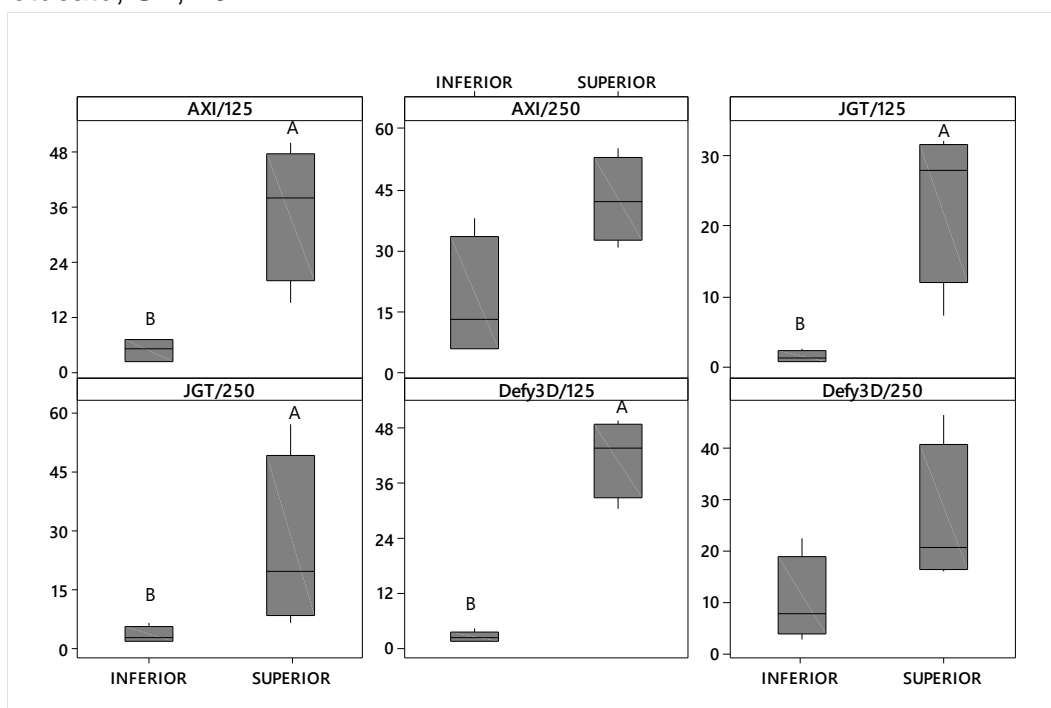
Médias seguidas pela mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade ($p < 0,05$);

Roman et al. (2009) também não encontraram grandes incrementos na porcentagem de cobertura da região inferior com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda. Segundo os autores, em média, foram encontrados valores de cobertura de até 48% na região superior e apenas 10% na região inferior, mesmo

com volumes de 100 até 200 L ha⁻¹. Por outro lado, foi demonstrada a viabilidade do uso de taxas de aplicação menores, elevando a capacidade operacional da pulverização.

A cobertura da pulverização no estágio vegetativo (V9) está representada na Figura 22. É possível observar que todas as pontas de pulverização com volume de 125 L ha⁻¹ promoveram cobertura na parte inferior significativamente menor em comparação à obtida na parte superior. Por outro lado, nas pontas AXI e Defy 3D, pulverizando com 250 L ha⁻¹ foi observado maior uniformidade de cobertura entre as partes superior e inferior das plantas. Possivelmente, ambos os tratamentos não diferiram estatisticamente devido à alta porcentagem de cobertura obtida na região inferior utilizando volume de calda maior, de 17,5 e 10,0% nas pontas AXI e J3D, respectivamente (Tabela 11). Enquanto que, ao utilizar o menor volume de calda, a cobertura da região inferior não passou de 5% para as diferentes pontas de pulverização.

Figura 22 – *Boxplot* representando a comparação dos valores médios de cobertura (%) nas partes superior e inferior, na pulverização realizada no estágio vegetativo V9. Botucatu, SP, 2017.



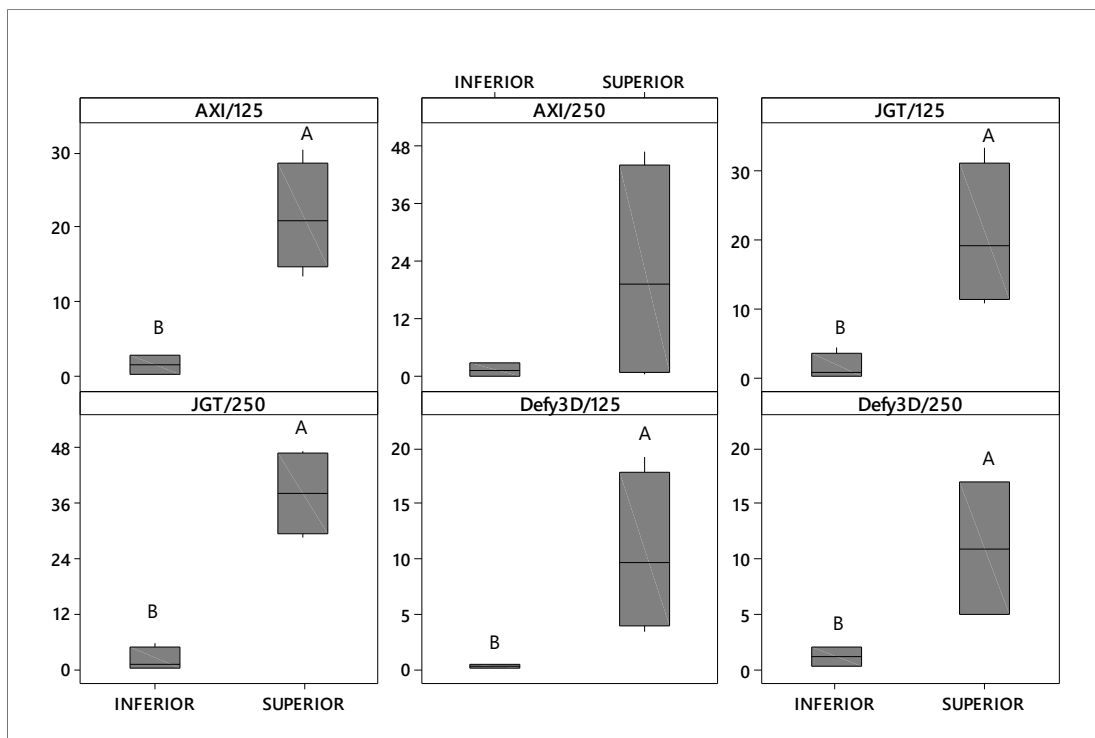
A distribuição do boxplot de cada tratamento [ponta de pulverização e volume de calda (L ha⁻¹)], na parte superior e inferior evidencia a mediana na linha central, quartil inferior (25%) e quartil superior (75%) dos valores médios de depósitos ($\mu\text{L cm}^{-2}$ foliar). Medianas seguidas por letras diferentes diferiram entre si pelo teste de Kruskal-Wallis à 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Da mesma forma, Cunha et al. (2008) também relataram baixa porcentagem de cobertura na parte inferior com pontas de jato plano com e sem indução de ar, jato cônico e jato plano duplo, sob volumes de 150 e 200 L ha⁻¹. Os autores constataram que nenhuma das tecnologias foi capaz de promover cobertura satisfatória, obtendo em média 7% de cobertura da parte inferior da planta. Outro ponto interessante é quanto à comparação da cobertura e deposição proporcionada pelos tratamentos. Nesse trabalho, Cunha et al. (2008) constataram que os tratamentos com melhor deposição, expressos em volume por área, não apresentaram resultados superiores quanto à cobertura, devido ao tamanho reduzido das gotas.

Na segunda pulverização (R2), a cobertura (%) promovida pelos tratamentos em ambas as partes da planta foram semelhantes à obtida pela pulverização em V9. Com exceção da ponta AXI a 250 L ha⁻¹, todas as pontas de pulverização promoveram cobertura na parte inferior da planta significativamente menor que na parte superior, em ambos os volumes de calda (Figura 23). Dessa forma, fica evidente a baixa uniformidade de distribuição da pulverização com as tecnologias de aplicação aqui empregadas. No caso da ponta AXI com volume de calda de 250 L ha⁻¹, observa-se grande variabilidade dos dados da porcentagem de cobertura na região superior, variando de 0 até 40%.

Com base nos resultados, não foram observadas grandes diferenças com relação à cobertura entre as pulverizações em V9 e R2. Ao contrário do ocorrido com a deposição de calda que, com o aumento da área foliar e fechamento do dossel em R2 houve expressiva redução na deposição da calda na região inferior e aumento de retenção na parte superior (Tabelas 8 e 9). A cobertura da parte inferior foi muito baixa em ambas pulverizações, principalmente com volume de calda menor. Na parte inferior, a média de cobertura em V9 foi de 2,79%, enquanto que em R2, foi de apenas 1,15%. Contudo, a cobertura com volume de calda maior mostrou maior diferença, com 10% em V9 contra apenas 1,5% em R2.

Figura 23 – *Boxplot* representando a comparação dos valores médios de cobertura (%) nas partes superior e inferior da planta, na pulverização no estágio reprodutivo R2. Botucatu, SP, 2017.



A distribuição do boxplot de cada tratamento [ponta de pulverização e volume de calda ($L\ ha^{-1}$)], na parte superior e inferior evidencia a mediana na linha central, quartil inferior (25%) e quartil superior (75%) dos valores médios de depósitos ($\mu L\ cm^{-2}$ foliar). Medianas seguidas por letras diferentes diferiram entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Cunha et al. (2008), também relataram baixa uniformidade da cobertura provenientes dos tratamentos no momento em que o índice de área foliar era maior. Devido ao fechamento do dossel, também foi observado cobertura maior na parte superior da planta em comparação à inferior, sendo o aumento do volume da calda de 150 para 200 $L\ ha^{-1}$ insuficiente para otimizar a pulverização.

4.2.2.2 Safra 2017/18

Na segunda safra, como citado anteriormente, apenas uma pulverização foi realizada no estágio reprodutivo R2. Nesta pulverização foram encontradas diferenças significativas quanto à cobertura provenientes dos volumes de 125 e 250 $L\ ha^{-1}$ (Tabela 13). Em ambas as partes da planta (superior e inferior), a cobertura promovida pelo volume de 250 $L\ ha^{-1}$ foi superior a cobertura com taxa de aplicação

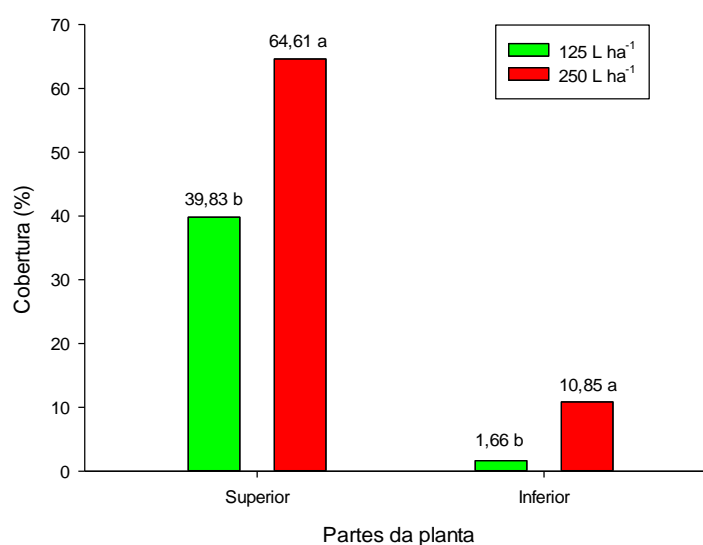
menor (Figura 24). O maior volume de calda promoveu cobertura de 64,6% na parte superior e 10,85% na parte inferior, enquanto que a 125 L ha⁻¹ foi constatado cobertura de 39,8% e 1,6%, respectivamente.

Tabela 13 – Valores médios de cobertura da pulverização (%) no papel hidrossensível no estágio reprodutivo (R2), com as pontas e volumes de calda, comparados separadamente para cada parte da planta de soja. Botucatu, SP, 2018.

Pontas de pulverização	Superior		Inferior	
	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹	125 L ha ⁻¹	250 L ha ⁻¹
Jato plano	37,61	55,20	3,22	14,45
Jato plano duplo	29,37	67,18	1,24	5,03
Jato plano inclinado	52,51	71,44	0,52	13,06
Causas de variação	Teste F	Probabilidade	Teste F	Probabilidade
Ponta de pulverização (P)	0,84	0,450 ^{NS}	1,01	0,386 ^{NS}
Volume de calda (V)	5,38	0,035*	7,71	0,014*
P x V	0,37	0,695 ^{NS}	0,68	0,523 ^{NS}

^{NS}: Não significativo; * significativo à p ≤ 0,05; *** significativo à p ≤ 0,01, pelo teste F.

Figura 24 – Valores médios de cobertura (%) no papel hidrossensível nas partes superior e inferior das plantas de soja, provenientes da pulverização com volumes de 125 e 250 L ha⁻¹.



Médias seguidas pela mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

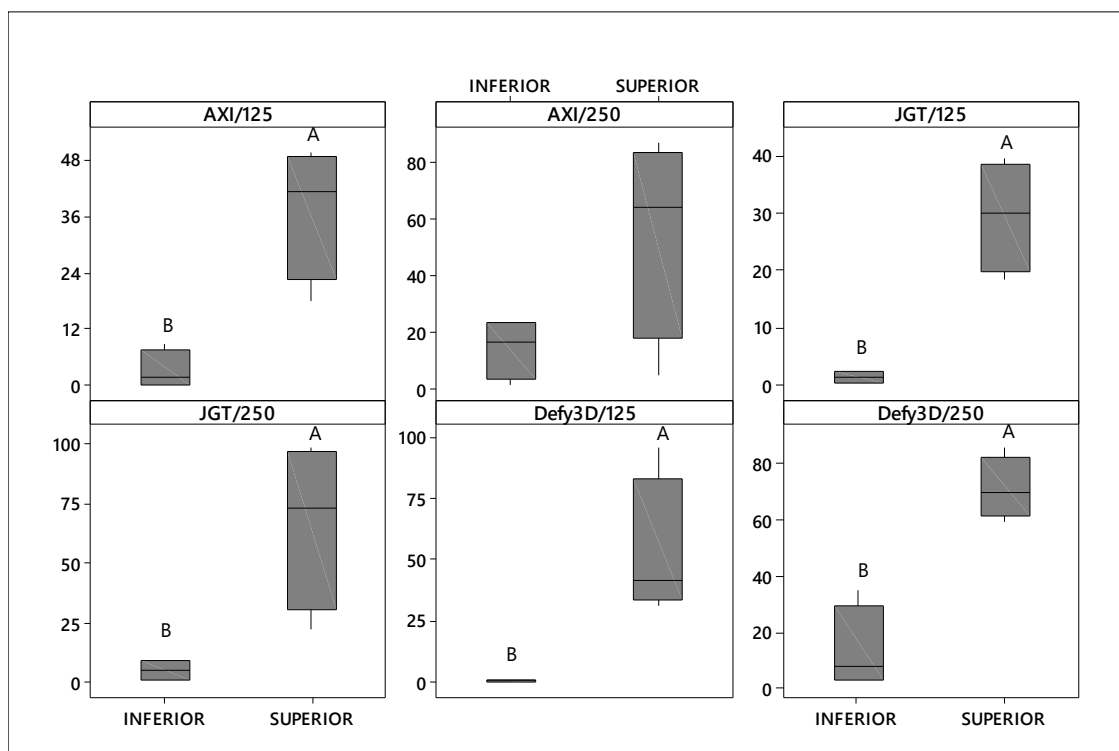
Assim como observado nos valores médios de depósito da segunda safra (Tabela 10), o volume de calda maior foi capaz de promover maior cobertura em ambos os locais de amostragem na planta. Observa-se também grande diferença de cobertura entre os volumes, semelhante ao discutido para a deposição da calda na segunda safra. Novamente, apenas nessa safra foi possível observar a diferença decorrente do maior volume, enquanto que, no mesmo período de aplicação na primeira safra, houve maior homogeneidade tanto de depósito quanto da cobertura para ambos os volumes. Portanto, pode-se atribuir também a essa observação as diferenças nas condições de arquitetura e estrutura do dossel da cultura.

Na comparação da cobertura entre as partes da planta em R2 (Figura 25) foram observados resultados semelhantes à primeira safra (Figura 23). Com exceção da ponta AXI, no volume de calda de 250 L ha⁻¹, todas as pontas de pulverização e volumes de calda apresentaram cobertura significativamente menor na parte inferior, com baixa uniformidade de distribuição. Novamente foi observado grande variabilidade dos dados no tratamento com a ponta AXI e volume de 250 L ha⁻¹, com cobertura variando entre 20 e 80%.

No geral, pode-se observar homogeneidade nos resultados tanto de cobertura quanto da deposição, apresentando maior alcance da pulverização na parte superior e menor na parte inferior. Pode-se dizer que existem pequenas diferenças na capacidade de penetração e alcance das gotas com determinadas pontas, apesar da não relevância dos resultados. Há maior influência do volume de calda otimizando o alcance do alvo.

Por outro lado, também é notável a grande variabilidade dos dados de deposição e cobertura encontrados nos experimentos. Román et al. (2012) relataram a interação de diversos fatores nos estudos da pulverização a campo com potencial de influenciar a variabilidade dos dados além das tecnologias avaliadas. Desta forma, também foi realizada a análise qualitativa da pulverização com a utilização de alvos naturais (cultura da soja).

Figura 25 – *Boxplot* representando os valores médios de cobertura (%) nas partes superior e inferior das plantas de soja, na pulverização no estágio reprodutivo R2. Botucatu, SP, 2018.



A distribuição do boxplot de cada tratamento [ponta de pulverização e volume de calda ($L\ ha^{-1}$)], na parte superior e inferior evidencia a mediana na linha central, quartil inferior (25%) e quartil superior (75%) dos valores médios de depósitos ($\mu L\ cm^{-2}$ foliar). Medianas seguidas por letras diferentes diferiram entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

4.2.3 Análise qualitativa com marcador fluorescente em alvo natural

De forma complementar a avaliação da cobertura da pulverização em alvos artificiais fez-se uma pulverização adicional na cultura da soja no estágio reprodutivo R1. Como discutido, alvos naturais podem expressar melhor a cobertura proveniente das tecnologias adotadas, permitindo melhor comparação quanto à qualidade de penetração e distribuição das gotas no dossel (MINGUELA; CUNHA, 2010). Além disso, a utilização do software para análise das imagens mostrou-se uma ferramenta na quantificação da cobertura, sendo considerado um método rápido e imparcial quando comparado aos métodos de quantificação baseados em escalas diagramáticas.

Na Tabela 14 estão os valores da porcentagem de cobertura da pulverização com as mesmas pontas de pulverização e volumes de calda, avaliados nas

superfícies adaxial e abaxial da cultura e em duas partes da planta (superior e inferior). Essa avaliação possibilitou complementar de maneira descritiva a capacidade das tecnologias quanto à cobertura do alvo.

Assim, como encontrado nas avaliações em alvos artificiais, há grande homogeneidade entre os tratamentos, com alta porcentagem de cobertura na parte superior, variando entre 40 e 55%, e baixa cobertura na região inferior, variando entre 9 e 11% (Tabela 14). Além disso, é visível a maior concentração da cobertura apenas na superfície adaxial da folha, com diferença acentuada na parte inferior do dossel.

Tabela 14 – Valores médios de cobertura (%) na cultura da soja no estádio reprodutivo (R1), com diferentes pontas de pulverização e volumes de calda avaliados na superfície adaxial e abaxial dos folíolos provenientes das partes superior e inferior da planta. Botucatu, SP, 2018.

Tratamento	Cobertura (%)			
	Superior		Inferior	
	Adaxial	Abaxial	Adaxial	Abaxial
AXI – 125 L ha ⁻¹	48,32	2,34	9,75	1,26
AXI – 250 L ha ⁻¹	39,12	2,74	3,61	0,60
JGT – 125 L ha ⁻¹	39,63	7,48	7,33	1,15
JGT – 250 L ha ⁻¹	56,04	4,06	5,94	0,76
3D – 125 L ha ⁻¹	54,62	10,53	10,49	1,30
3D – 250 L ha ⁻¹	50,33	6,96	7,79	1,04

Apesar da proximidade dos dados quanto à porcentagem de cobertura nas partes da planta e superfícies foliares, não é possível obter uma relação entre a porcentagem de cobertura e os fatores ponta e volume de aplicação. Do ponto de vista teórico, espera-se maior porcentagem de cobertura com volume de calda maior, o que ocorreu apenas na ponta de jato duplo (JGT). Por outro lado, pode-se destacar a porcentagem de cobertura proveniente da ponta de jato plano inclinado (Defy 3D) em ambas as regiões e superfícies. Possivelmente, devido ao ângulo de inclinação de 37,5° e diferentes direções do jato na barra de pulverização (PRO OPERATOR, 2016) foi promovida melhor cobertura do alvo e nas diferentes superfícies. Da mesma forma, a ponta JGT também proporcionou melhor cobertura

na superfície adaxial (superior), podendo também ser atribuído a pulverização em duas direções (jatos).

O posicionamento e angulação das folhas da cultura da soja também podem justificar a baixa porcentagem de cobertura principalmente nas superfícies abaxiais nas duas partes avaliadas. Segundo Boller, Ferreira e Costa (2011), a posição das folhas muda de acordo com o decorrer do dia, apresentando posicionamento próximo a horizontal nos períodos do fim da tarde até a manhã, e posição próxima à vertical no período mais quente do dia, após a manhã até o fim da tarde. Portanto, dependendo do horário em que foi realizada a pulverização, diferentes valores de cobertura podem ser obtidos nas superfícies foliares, podendo proporcionar otimização da penetração de gotas no dossel.

Considerando que esta pulverização foi realizada na segunda safra, próxima a avaliação qualitativa da pulverização em R2, esperava-se que os valores encontrados de cobertura (%) fossem semelhante aos da Tabela 10. Nessa avaliação, em ambas as regiões, houve cobertura significativamente maior pelo volume de calda de 250 L ha⁻¹. Contudo, na avaliação em alvos naturais, não foi visível grandes diferenças na porcentagem de cobertura com diferentes volumes de calda. Considerando apenas a superfície adaxial com maior cobertura, houve em média 47,4 e 48,5% de cobertura nos volumes de 125 e 250 L ha⁻¹, respectivamente, na região superior; e 9,19 e 5,78% de cobertura na região inferior.

Além das avaliações qualitativas e quantitativas da pulverização, é de extrema importância que seja avaliado a influência da tecnologia de aplicação no controle do alvo biológico. Estas avaliações servem como indicador da qualidade da aplicação, uma vez que o objetivo principal de toda pulverização é o alcance do alvo de maneira mais eficiente e sustentável, com o mínimo de perda de produto ou contaminação ambiental (MATUO, 1990).

4.3 Experimento 3 - Avaliação da severidade e nível de controle da FAS e o efeito sobre a produtividade da soja

O efeito dos fatores ponta de pulverização e volume de calda e da interação entre eles, quando comparadas ao tratamento adicional (sem pulverização) sobre a severidade da FAS (AACPD) e produtividade da cultura estão descritos na Tabela 15. Pode-se constatar que houve efeito somente do fator pontas de pulverização

sobre a produtividade da cultura, bem como de todos os fatores e da interação entre eles quando comparados ao tratamento adicional (sem pulverização). Na Tabela 16, encontram-se os valores obtidos nas duas safras agrícolas quanto à severidade da doença (AACPD) e produtividade (sacas ha⁻¹). Em ambas variáveis, houve diferença significativa na comparação da testemunha com os demais tratamentos.

Tabela 15 - Efeito das pontas de pulverização e volumes de calda sobre a severidade da doença (AACPD) e produtividade da cultura (sacas ha⁻¹) e em comparação com tratamento adicional (testemunha) sem controle químico, nas safras de 2016/17 e 2017/18.

Causa de variação	SAFRA 2016/17		SAFRA 2017/18	
	AACPD	Produtividade	AACPD	Produtividade
Ponta de pulverização (P)	0,53 ^{NS}	3,74 [*]	0,06 ^{NS}	0,80 ^{NS}
Volume de calda (V)	0,38 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,51 ^{NS}	0,71 ^{NS}
P x V	0,52 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,56 ^{NS}
Adicional x Fatorial	3357,26 ^{***}	15,24 ^{***}	108,80 ^{***}	5,41 [*]

NS: Não significativo; * significativo à p ≤ 0,05; *** significativo à p ≤ 0,01, pelo teste F.

Tabela 16 – Valores médios de produtividade (sacas ha⁻¹) e severidade da doença (AACPD) em função das pontas de pulverização e volumes de calda, e em comparação com a testemunha sem controle químico da FAS, nas safras de 2016 a 2018.

Tratamento	Safrá 2016/17		Safrá 2017/18	
	Produtividade	AACPD	Produtividade	AACPD
1 - Testemunha	53,2	1988,0	38,8	1130,9
2 - AXI/125	62,3 *	145,3 *	46,3	166,8 *
3 - AXI/250	60,7	125,46 *	48,8	274,6 *
4 - JGT/125	59,9	172,3 *	53,9	250,2 *
5 - JGT/250	58,6	130,1 *	52,6	207,3 *
6 - Defy 3D/125	63,8 *	119,9 *	47,9	161,9 *
7 - Defy 3D/250	66,0 *	129,4 *	56,8 *	239,1 *

Médias seguidas por asterisco diferiram em comparação com a Testemunha pelo teste de Dunnett (p < 0,05).

4.3.1 Severidade da doença e eficácia de controle

Nas duas safras agrícolas (2016/17 e 2017/18) todos os tratamentos provenientes da interação pontas de pulverização x volume de calda não diferiram entre si significativamente quanto à severidade da doença (Tabela 15). Por outro lado, todos diferiram significativamente em comparação à testemunha (sem

pulverização), da qual apresentou alto valor da AACPD de 1988 e 1130 nas safras de 2016/17 e 2017/18, respectivamente (Tabela 16). Houve, portanto, diferença nos valores do progresso da doença nos tratamentos com uso do fungicida, tendo em média AACPD de 137, na primeira safra, e 216, na segunda safra. Assim, pode-se inferir a importância do controle químico no manejo da doença e que os tratamentos foram eficazes, possibilitando o uso de volumes menores e diferentes pontas de pulverização.

Cunha et al. (2014), também encontraram resultados semelhantes, sem diferença significativa no controle da FAS utilizando diferentes pontas de pulverização e volumes de 115 a 250 L ha⁻¹, apresentando melhor eficácia apenas em comparação com a testemunha (sem controle). O resultado foi correspondente com os valores encontrados na qualidade da cobertura e depósito similares entre os tratamentos (CUNHA et al., 2014). Como relatado no Experimento 2, diferenças pouco expressivas foram detectadas quanto à deposição e cobertura da pulverização pelos tratamentos, a ponto de não refletir no controle da doença.

Por outro lado, Nascimento et al. (2009) relataram melhor eficácia de controle da FAS utilizando pontas de jato plano duplo em comparação com pontas de jato plano de uso ampliado. Foi encontrado menor número de pústulas, apesar de não interferir na produtividade da cultura. Prado et al. (2015) constataram melhor controle da FAS utilizando volumes de aplicação de 160 L ha⁻¹, em comparação com volumes menores de 60 e 110 L ha⁻¹, tendo influência, também, na produtividade da cultura.

Nas Figuras 27 e 28 estão representadas as curvas de progresso da doença, utilizadas para cálculo da AACPD na primeira e segunda safra, respectivamente. Na safra 2016/17, pode-se observar aumento acentuado na severidade da FAS no tratamento sem pulverização, a partir de 14 dias após o início das avaliações (DAA), enquanto que os demais tratamentos mantiveram valores baixos e discreto crescimento após 35 – 42 DAA (Figura 27). Na safra 2017/18, observa-se o mesmo comportamento com aumento na severidade após 14 DAA, na testemunha (Figura 28). Contudo, visualmente a campo foi perceptível maior incidência e agressividade da doença nesta safra, com a antecipação do aumento da AACPD após 28 – 35 DAA, mantendo a mesma tendência para todos os tratamentos.

O comportamento encontrado no progresso da doença pode ser explicado pelo efeito residual do fungicida na cultura, sendo em ambas as safras pulverizadas

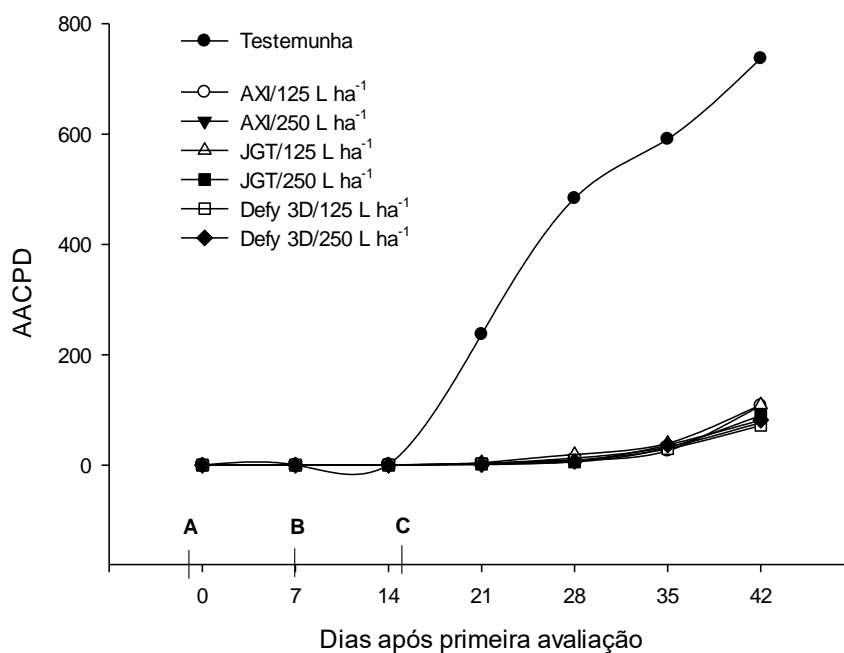
no estádio V9 e após 15 dias, em R2. Segundo Balardin et al. (2010), o residual de um fungicida varia de acordo com seu grupo químico, e sua atividade fungicida pode ser influenciada pelas características intrínsecas do produto, além das interações com a morfologia e fisiologia da planta. Ainda, intempéries como a chuva podem influenciar na atividade do fungicida na planta, seja pela atuação na diluição, redistribuição ou mesmo remoção do produto ativo.

Ainda segundo os autores, o período residual dos fungicidas piraclostrobina mais epoxiconazol e azoxistrobina mais ciproconazol variaram de acordo com o intervalo entre a pulverização e incidência de chuva. Em ambas as misturas fungicidas foram constatadas redução de 7 a 10 dias de residual com a ocorrência de chuva após 2 horas da pulverização. Contudo, mesmo sem chuva, o período residual dos fungicidas encontrado foi de 20 a 25 dias após a pulverização.

Os dois grupos químicos avaliados por Balardin et al. (2010), estrobilurinas e triazol, correspondem aos da mistura fungicida utilizados neste estudo (Fox ®). Portanto, considerando esse período residual e que a segunda pulverização ocorreu após 14 DAA, era esperado que o efeito do fungicida fosse reduzido a partir dos 35 DAA. Essa situação foi observada com a elevação no progresso da doença encontrada em ambas as safras (Figuras 27 e 28).

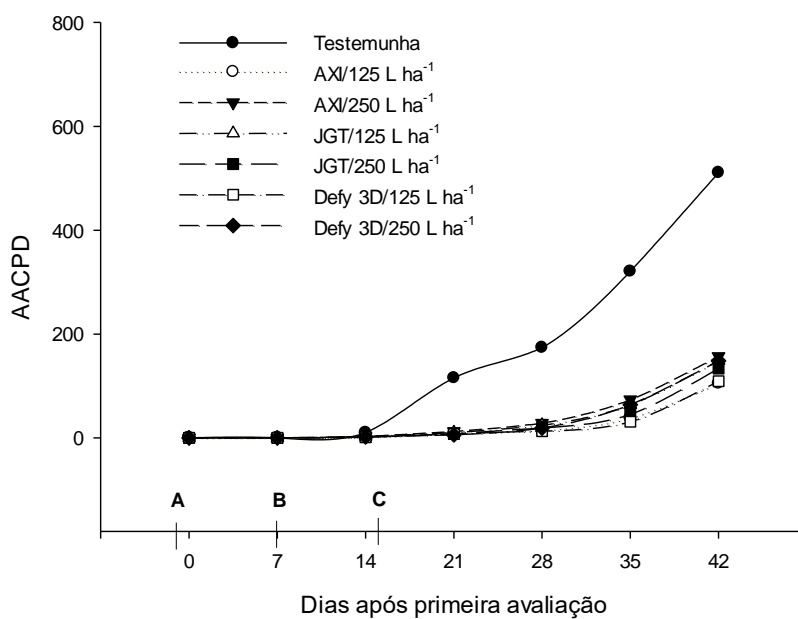
Lenz et al. (2011), avaliando a absorção de fungicidas de forma indireta pelo residual de controle de *P. pachyrhizi* relataram haver absorção mais rápida do produto em função do tamanho de gotas com DMV menor, uma vez que o mesmo promove maior cobertura foliar com maior número de gotas. Além disso, foi observada absorção mais rápida por folíolos mais novos, com maior tempo para o aparecimento de pústulas. Segundo os autores, após a pulverização, houve o aparecimento das primeiras pústulas apenas após 18 dias (efeito residual), enquanto que no tratamento sem pulverização o mesmo ocorreu após 4 dias.

Figura 27 – Curva de progresso da FAS na cultura da soja, cultivar FTS Campo Mourão, com controle químico sob diferentes pontas de pulverização e volumes de calda, durante a safra de 2016/17. Botucatu, SP, 2017.



A – Primeira pulverização (V9); B – Inoculação; C – Segunda pulverização (R2)

Figura 28 – Curva de progresso da FAS na cultura da soja, cultivar BMX Potência, com controle químico sob diferentes pontas de pulverização e volumes de calda, durante a safra de 2017/18. Botucatu, SP, 2018.



A – Primeira pulverização (V9); B – Inoculação; C – Segunda pulverização (R2)

De modo geral, nas duas safras agrícolas foi nítida a intensa desfolha provocada pela FAS na cultura, em especial na testemunha (sem controle químico). Na safra 2016/17, foi registrado alto nível de desfolha ao redor de 21 dias antes da colheita (Figura 29), enquanto que, em 2017/18, com maior agressividade e incidência da doença, houve intensa desfolha 35 dias antes (Figura 30). Na Figura 30, em imagem aérea, observa-se a diferença no nível de desfolha de acordo com os tratamentos adotados no experimento.

Figura 29 – Nível de desfolha e severidade da FAS entre tratamentos com aplicação de fungicida (a) e sem pulverização (b) 35 DAA, safra 2016/17. Botucatu, SP, 2017.

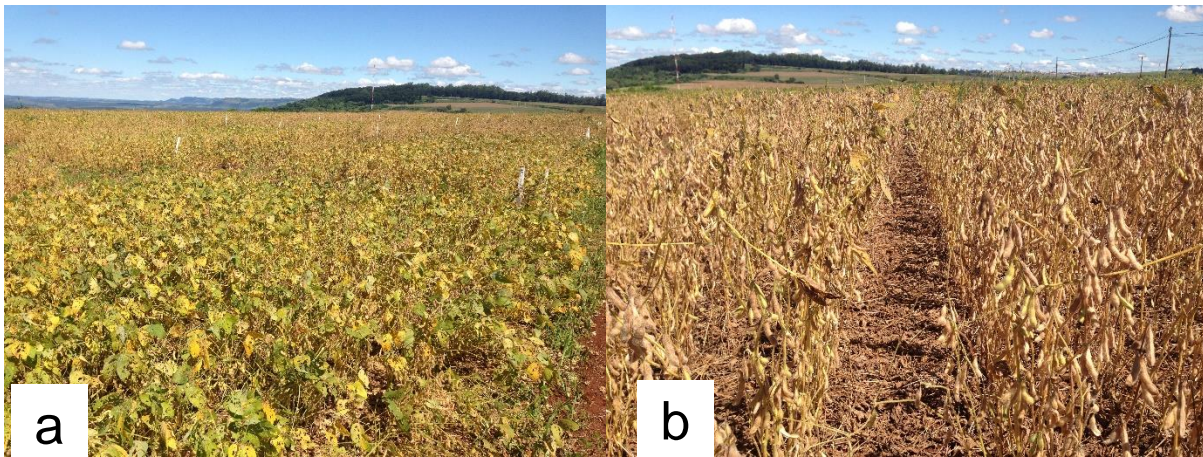
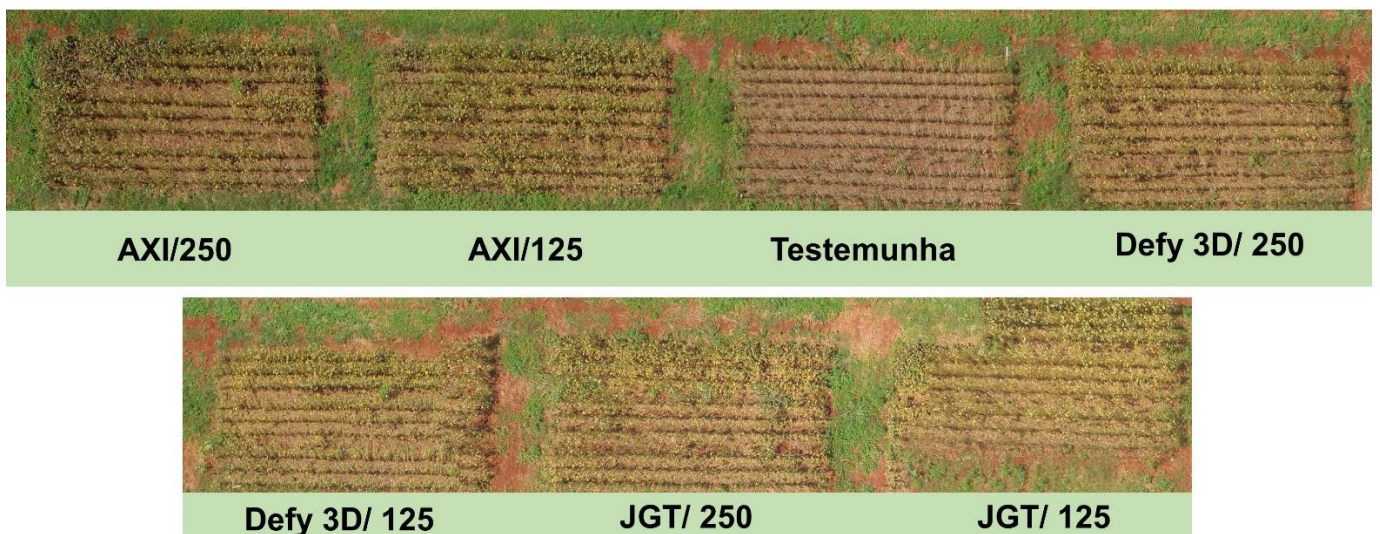


Figura 30 – Visualização em imagem aérea do nível de desfolha em parcelas com controle químico da doença e sem pulverização 40 DAA. Botucatu, SP, 2018.

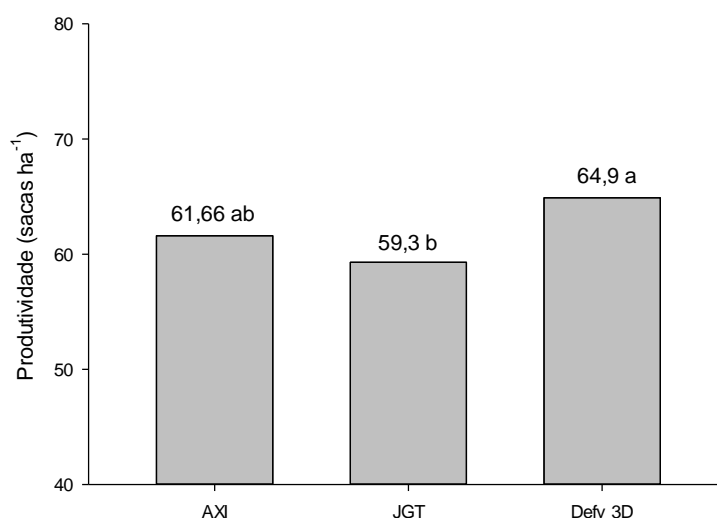


4.3.2 Produtividade

Na comparação entre os tratamentos (fatorial) houve diferença significativa na safra de 2016/17 para o fator pontas de pulverização (Tabela 15). Nesta safra, nos tratamentos utilizando as pontas de jato plano inclinado (Defy 3D) foi constatado maior valor de produtividade de 64,9 sacas ha^{-1} , significativamente maior que a promovida pulverizando com jato plano inclinado (JGT) e ambas semelhantes ao tratamento com a ponta de jato plano (AXI), com produtividade de 59,3 e 61,66 sacas ha^{-1} , respectivamente (Figura 31). Por outro lado, na safra 2017/18, não houve diferença significativa na produtividade entre tratamentos.

Nesta safra (2016/17), ao correlacionar a severidade da doença com a produtividade observa-se menor severidade nos tratamentos com maior produtividade (Tabela 16). Considerando os valores médios da AACPD obtidos com cada ponta de pulverização para ambos os volumes, o menor valor foi com a ponta Defy 3D e AACPD igual a 124. Para a ponta JGT, com produtividade significativamente menor, a AACPD foi 151, e para a ponta AXI, a AACPD foi 135. Contudo, na segunda safra, o valor da AACPD foi superior para todos os tratamentos e sem diferença estatística entre si, com médias de 220, 228 e 200 para as pontas AXI, JGT e Defy 3D, respectivamente.

Figura 31 – Valores médios de produtividade (sacas ha^{-1}) em função das pontas de pulverização e volumes de calda na safra de 2016/17.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Da mesma forma, foram encontradas diferenças significativas comparando-se a produtividade obtida nos tratamentos (fatorial) com controle químico com o tratamento adicional sem pulverização (Tabela 16). Na safra 2016/17, a produtividade foi significativamente maior nos tratamentos com a ponta de jato plano inclinado (Defy 3D), em ambos os volumes de calda, e na ponta de jato plano (AXI) com volume de 125 L ha⁻¹ comparada a da testemunha. Porém, na safra 2017/18, apenas o tratamento com a ponta Defy 3D e volume de calda de 250 L ha⁻¹ obteve produtividade significativamente maior que a testemunha.

Novamente é possível correlacionar os dados obtidos de severidade da doença com a produtividade (Tabela 16). Durante a primeira safra, as pontas que proporcionaram menor AACPD (Defy 3D) obtiveram produtividade significativamente maior juntamente com a ponta AXI a 125 L ha⁻¹ quando comparadas à testemunha. Na safra 2017/18, a ponta Defy 3D também apresentou menor AACPD e maior produtividade. Apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos, os valores de AACPD foram homogêneos em ambas as safras. Além disso, pode-se observar que pequenas diferenças no valor da AACPD foram suficientes para influenciar na produtividade da cultura.

Entretanto, pode-se ressaltar a inconsistência da comparação do nível de cobertura e deposição da pulverização com a eficácia de controle da doença. No Experimento 2, não foram encontrados valores expressivos quanto a otimização da pulverização com os tratamentos utilizados, apesar de refletirem na produtividade da cultura. Por outro lado, mesmo sendo observada redução significativa da deposição e cobertura na região inferior (Figuras 23 e 25), os tratamentos foram eficazes na redução da severidade em comparação à testemunha. Porém, é possível que o nível de controle, apesar de parecer eficaz quanto ao número de pústulas e cálculo da AACPD, não seja suficiente para assegurar maior produtividade.

Nascimento et al. (2009) relataram haver melhor controle da FAS com determinadas pontas de pulverização, considerando o menor número de pústulas presentes. Contudo, neste trabalho, a maior severidade não influenciou na produtividade da cultura. É possível que danos “não visíveis” atuem de modo mais agressivo na severidade da doença e na produtividade. Como relatado por Kumudini et al. (2008), o principal dano do patógeno na soja ocorre devido à redução nas taxas de troca de carbono pela redução da eficiência do fotossistema II (PSII), interferindo na interceptação e uso da radiação. Segundo estes autores,

apenas indicadores visuais como o índice de severidade podem não refletir o grau de impacto causado pela FAS na cultura.

5 CONCLUSÕES

As pontas de pulverização AXI, JGT e Defy 3D, independente da vazão e condições operacionais, apresentaram boa uniformidade de distribuição com coeficiente de variação abaixo de 7%, valor considerado aceitável para os padrões internacionais. As pontas de jato duplo (JGT) apresentaram maior uniformidade de distribuição que as demais, independente da vazão.

As pontas de pulverização AXI, JGT e Defy 3D nas taxas de aplicação de 125 e 250 L ha⁻¹ apresentaram tamanho de gotas com DMV médio, correspondendo com as características fornecidas pelos fabricantes. O uso da mistura fungicida Fox® associada ao adjuvante Aureo® interferiu no tamanho de gotas, elevando o DMV e o SPAN, além de reduzir o potencial de deriva (porcentagem de gotas menores que 100 µm) de forma desuniforme nos tratamentos.

De modo geral, houve redução acentuada na deposição e cobertura na parte inferior do dossel da cultura na pulverização realizada no estágio reprodutivo (R2). Com o fechamento do dossel, nenhuma das pontas de pulverização proporcionou otimização na penetração da pulverização, representados por baixos valores de cobertura e deposição de calda.

O ângulo de inclinação do jato pode influenciar na captura das gotas da pulverização em alvos artificiais, o que foi comprovada pela homogeneidade de cobertura promovida pelas pontas e volumes de calda em alvos naturais, porém não influencia sobre os níveis de depósitos na cultura.

Todas as pontas e volumes avaliados promoveram controle eficaz da ferrugem asiática da soja, não havendo incremento no controle com a utilização de um volume de calda maior ou inclinação do jato.

Mesmo com redução significativa da deposição e cobertura na região inferior, os tratamentos foram eficazes na redução da severidade da doença. Porém, é possível que o nível de controle, apesar de parecer eficaz quanto ao número de pústulas e cálculo da AACPD, não seja suficiente para assegurar maior produtividade.

A correta definição do volume de calda, principalmente com relação aos diferentes estádios fenológicos da cultura e época de aplicação influenciam grandemente na deposição e cobertura da pulverização.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING. ASABE S572. Spray nozzle classification by droplet spectra. St Joseph, 2009. 8p.
- ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. Ferrugem Asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira. In: EMBRAPA Agropecuária Oeste Fundação Chapadão – Circular técnica nº11. Dourados, MS, 2006. 11p.
- ANTUNIASSI, U.R.; CAMARGO, T.V.; BONELLI, M.A.P.O.; ROMAGNOLE, E.W.C. Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., Botucatu, 2004. **Resumos...** Botucatu: FEPAF, 2004. p. 48-51.
- ANTUNIASSI, U.R. Tecnologia de aplicação para o controle da ferrugem da soja. In: WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE A FERRUGEM ASIÁTICA, 1., 2005, Uberlândia. **Coletânea...** Uberlândia: EDUFU, 2005. p.193-219.
- ANTUNIASSI, U.R. Tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. In: SUZUKI, S.; YUYAMA, M.M.; CAMACHO, S.A. **Boletim Técnico de Pesquisa Soja 2006**. Rondonópolis, MT: Fundação Mato Grosso, p. 173-212, 2006.
- ANTUNIASSI, U.R. Tecnologia de aplicação: Conceitos básicos, inovações e tendências. In: TOMQUELSKI, G.V. et al. (Eds.). **Publicações Fundação Chapadão: Soja e Milho 2011/2012**. 5 ed. Chapadão do Sul: Fundação Chapadão. Cap. 16, p. 113-139, 2012.
- ARAUJO, M.; RAETANO, C.G. Adjuvantes de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. 1 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, 2011. 27-46.
- AZEVEDO, L.A.S. de; JULIATTI, F.C.; BARRETO, M. Resistência de genótipos de soja à *Phakospora pachyrhizi*. **Summa Phytopathologica**, v.33, n.3, p.252-257, 2007.
- BALARDIN, R.; MADALOSSO, M.; DEBORTOLI, M.; LENZ, G. Factors affecting fungicide efficacy in the Tropics. In: Odile Carisse. (Ed). **Fungicides**, In Tech, 2010, p 23-38.
- BAUER, F.; RAETANO, C.G. Perfis de distribuição volumétrica de pontas XR11003 e TXVK-4 em diferentes condições de pulverização. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n.2, p. 364-373, 2004.
- BERGER-NETO, A.; JACCOUD-FILHO, D.S.; WUTZKI, C.R.; TULLIO, H.E.; PIERRE, M.L.C.; MANFRON, F.; JUSTINO, A. Effect of spray droplet size, spray volume and fungicide on the control of white mold in soybeans. **Crop Protection**, v. 92, p. 190-197, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

BOLLER, W.; FERREIRA, M.C.; COSTA, D.I. da. Condições do ar e angulação das folhas influenciam a qualidade das pulverizações na cultura da soja. **Revista Plantio Direto**, v. 121, p. 33-37, 2011.

BOLLER, W.; RAETANO, C.G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barras. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. 1 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, 2011. 51-65.

CAMARA, F.T.D; SANTOS, J.L; SILVA, E.A; FERREIRA, M.D.C. Volumetric distribution and spectrum of drops of hydraulic nozzles of plane jet of expanded strip XR11003. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.4, p.740-749, 2008.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley e Sons, 1990. 532p.

CARVALHO, F.K.; ANTUNIASSI, U.R.; MOTA, A.A.B.; CHECHETTO, R.G.; GOMES, S.F. Taxa de aplicação e caracterização de pulverizadores utilizados no Mato Grosso em 2016. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 8. Campinas, 2017. **Resumos...** Botucatu: FEPAF, 2017. p. 334-339.

CASSIA, T.M.; FERREIRA, M.C.; NORONHA, R.H.F.; GUIMARÃES, E.R. Quality of pre-emergence herbicide application with adjuvant in sugarcane crop. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.6, n.1, p. 77-84, 2013.

CHAIR, D.H.; DERPMANN, J. Modes of Action: Mechanisms of Resistance. FRAC: Fungicide Resistance Action Committee. Disponível em: <<http://www.frac.info/resistance-overview/mechanisms-of-fungicide-resistance>>. Acesso em 10 de maio de 2018.

CHAPPLE, A.C; HALL, F.R.; BISHOP, B.L. Assessment of single-nozzle patterning and extrapolation to moving booms. **Crop Protection**, v.12, n.3, p.207-13 1993.

CHRISTOFOLETTI, J.C. 2000. **A importância da distribuição de uma ponta de pulverização**. Teejet: São Paulo. 7 p. (Boletim Técnico BT-10/2000)

CHRISTOVAM, R.S. **Assistência de ar e aplicação em volume baixo no controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow)**. 2008. 68f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2008.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. **Plant Sciences**, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira de grãos**, v.5 – safra 2017/18 – n.7 – sétimo levantamento, abril 2018. Brasília: Conab, 2018, 144 p.

CONSTANTIN, J.; SALES, J.G.C.; MACIEL, C.G. Características da deposição e distribuição da calda de pulverização na cultura da soja em estágio fenológico V6. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n.3, p. 530-541.

COSTA NETO, P.R.; ROSSI, L.F.S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

CORRÊA-FERREIRA, B.S. **Amostragem de pragas da soja**. In: HOFFMANN-CAMPO, C.B; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; MOSCARDI, F. (Ed.). Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-Praga. Londrina: Embrapa Soja, 2012. p.335-420.

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.; JULIATTI, F.C.; REIS, E.F. Tecnologia de aplicação de fungicida no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em Minas Gerais e Goiás. **Bioscience Journal**, v.30, n.4, p. 950-957, 2014.

CUNHA, J.P.A.R. Análise da distribuição volumétrica de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano. **Revista de Ciências Agrárias**, v.31, n.1, p. 233-239, 2008.

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.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 10-15, 2007.

CUNHA, J.P.A.R.; REIS, E.F.; SANTOS, R.O. Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. **Ciência Rural**, v.36, n.5, p. 1360-1366, 2006.

CUNHA, J.P.A.R.; RUAS, R.A.A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, n. 36, v.1, p. 61-66, 2006.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F.; FERNANDES, H.C.; COURY, J.R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.10, p. 997-985, 2004.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; COURY, J.R.; FERREIRA, L.R. Avaliação de estratégias para a redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.325-32, 2003.

DEBORTOLI, M.P.; TORMEN, N.R.; 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, n.7, p. 920-927, 2012.

DI OLIVEIRA, J.R.G. **Cobertura da cultura da soja e deposição de inseticida aplicado com e sem adjuvante e diferentes equipamentos e volume de calda**. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2008.

DURÃO, C.F.; BOLLER, W. Spray nozzles performance in fungicides applications for Asian soybean rust control. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.4, p. 709-716, 2017.

ECS – European Committee for Standardization. EN 12761-2. **Agricultural and Forestry Machinery – Sprayers and Liquid Fertilizer Distributors, Environmental Protection – Low crop sprayers**. Brussels, 1997. 17 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivares de soja: Regiões Sul e Central do Brasil 2010/2011**. Londrina: Embrapa Soja: 2010a. 32p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011: Sistemas de Produção 14**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010b. 255p.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006a, 306 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de análise de deposição de agrotóxicos GOTAS, versão 2.2. Embrapa Informática Agropecuária e Embrapa Meio Ambiente: 2006b.

FAVERA, D.D. **Pontas de pulverização e taxas de aplicação sobre o controle da ferrugem asiática em diferentes cultivares de soja**. 2012, 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FEHR, W.R; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, **Special Report**, n.80, p.11, 1977.

FERREIRA, D. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIRVEDA, M.C.; CANTALOGO-JUNIOR, A.; RAMOS, H.H.; LINO, A.C.L.; CORRÊA, I.M. Uso de software para análise de imagem em avaliação da cobertura da pulverização. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.3, 305-310, 2002.

FORNEY, S. H.; LUCK, J. D.; KOCHER, MICHAEL F.; PITLA, S. K. Laboratory and full boom-based investigation of nozzle setup error effects on flow, pressure, and spray pattern distribution. **Biological Systems Engineering: Papers and Publications**, v. 512, 2017.

FRAC – Fungicide Resistance Action Committee. FRAC Code List© 2017: Fungicides sorted by mode of action. FRAC, 2017a. 12p. Disponível em: <http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac_code_list_2018-final.pdf?sfvrsn=6144b9a_2>. Acessado em: 18 de junho de 2018.

FT SEMENTES. Cultivares de soja: FTS Campo Mourão RR. Acessado em: dez. 2016. Disponível em: <http://www.ftsementes.com.br/cultivares-de-soja/regiao-02/>.

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

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; 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.; MADALOSSO, M.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MONTECELLI, T. D. N.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2014/15: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Embrapa Soja, 2015. 8 p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 111).

GODOY, C.V.; ALMEIDA, A.M.R.; COSTAMILAN, L.M.; MEYER, M.C.; DIAS, W.P.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; HENNING, A.A.; YORINORI, J.T.; FERREIRA, L.P.; SILVA, J.F.V. Doenças da soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de fitopatologia**, v.2 Doenças das plantas cultivadas. 5 ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres Ltda, 2016a. 657-658.

GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; MEYER, M.C.; COSTAMILAN, L.M. Asian Soybean rust in Brazil: past, present and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n.5, p. 407-421, 2016b.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; MADALOSSO, M.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MONTECELLI, T. D. N.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Embrapa Soja, 2017a. 12 p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 129).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; MOREIRA, E. N.;

ANDRADE JUNIOR, E. R. de; BORGES, E. P.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FAVERO, F.; ARAUJO JUNIOR, I. P.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; BELUFI, L. M. de R.; GOUSSAIN, M.; VOLF, M. R.; DEBORTOLI, M. P.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MADALOSSO, T.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas multissítios e produto biológico no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Embrapa Soja, 2017b. 8 p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 131).

HEWITT, A.; O'DONNELL, C.; WOODS, N.; DORR, G. Atomisation modelling for spray applications. **Aspects of Applied Biology**, London, v. 77, p. 147-153, 2006.

IEAg/ABAG – Instituto de Estudos do Agronegócio/Associação Brasileira do Agronegócio (2015). O futuro da soja nacional. Acesso em: maio 2017. Disponível em: <http://www.abag.com.br/media/images/0-futuro-da-soja-nacional---ieag---abag.pdf>.

JULIATTI, F.C.; POLIZEL, A.C.; BALARDIN, R.S.; VALE, F.X.R. Ferrugem da soja – Epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 13, p. 351- 395, 2005.

KUMUDINI, S; PRIOR, E.; OMIELAN, J.; TOLLENAAR, M. Impact of *Phakopsora pachyrhizi* infection on soybean leaf photosynthesis and radiation absorption. **Crop Science**, v. 49, p. 2343-2350, 2008.

LANGENAKENS, J Spraying nozzles: usability limits. ASAE, St. Joseph. **ASAE Paper** n.99, p.9, 1999.

LENZ, G.; BALARDIN, R.S.; MINUZZI, S.G.; TORMEN, N.R.; MARQUES, L.N. Espectro de gotas e idade de trifólios na taxa de absorção e efeito residual de fungicidas em soja. **Ciência Rural**, v. 41, n.10, p. 1702-1808, 2011.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v.2, 1994. 168p.

LOURENÇO JR, V.; BALAN, M.G.; IGARASHI, S. Aplicação de fungicidas na soja baseada na detecção de uredósporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n.2, p. 159-164, 2014.

MACIEL, C.F.S.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; ZOLNIER, S.; CECON, P.R. Droplet spectrum of a spray nozzle under different weather conditions. **Revista Ciências Agrônômica**, v. 49, n.3, p. 430-436, 2018.

MATTHEWS, G.A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Métodos de aplicação de defensivos agrícolas**. 4 ed. São Paulo: Andrei Editora, 2016. 623p.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139p.

MCGRATH, M.T. What are fungicides? **The Plant Health Instructor**, 2004. DOI: 10.1094/PHI-I-2004-0825-01. Disponível em: <<https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Pages/Fungicides.aspx>> Acesso em: 14 de maio de 2018.

MINGUELA, J.V.; CUNHA, J.P.A.R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda Fácil, p. 588, 2010.

MINITAB INC. Conheça o Minitab®, versão 16.1.0. 2010.

MIORINI, T.J.J. **Métodos de aplicação e de avaliação do residual de fungicidas no controle de mofo-branco em soja e feijão**. 2015. 140f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2015.

MOTA, AAB; ANTUNIASI, UR Influência de adjuvantes no espectro de gotas de pontacom indução de ar. **Energia na Agricultura**, v.28, n.1, p.1-5, 2013.

NASCIMENTO, J.A.; SOUZA, C.M.A.;GAVASSONI, W.L.; BACCHI, L.M.A.; FENGLER, G.W. Controle de ferrugem asiática da soja utilizando-se diferentes pontas de pulverização em Maracaju-MS. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.18, n.1, 2009.

NEGRISOLI, M.M.; BERNARDES, L.M.; DEL BEM JÚNIOR, L.; RODRIGUES, D.M.; SOUZA, D.M.; RAETANO, C.G. Otimização da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitário em pulverização aérea. In: BALDIN, E.L.L.; KRONKA, A.Z.; DA SILVA, I.F. **Inovações em Manejo Fitossanitário**, Botucatu: FEPAF, v1 p. 87-107, 2017.

PALLADINI, L.A.; RAETANO, C.G.; VELINI, E.D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

PEDERSEN, P.; KUMUDINI, S.; BOARD, J.; CONLEY, S. Soybean growth and development. In: E. DORRANCE, ANNE, A. DRAPER, MARTINE. HERSHMAN, DONALD (Org.). USING FOLIAR FUNGICIDES TO MANAGE. SOYBEAN RUST. 1. ed. Columbus, OH: Media Distribution Communications and Technology, 2007, p. 41-47. Disponível em: <<http://ssnavi.public.iastate.edu/MF2680-1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

PENTAIR. Hypro Nozzles – Defy 3D Nozzles: Inclined flat fan nozzle for optimum spray coverage. Acesso em: dez. 2016. Disponível em: http://www.hypro-eu.com/fileattachments/Hypro-eu/en-gb/Defy_3D_UK_BCPC_web.pdf.

POVH, F.P.; ANJOS, W.P.G. Influência da taxa de aplicação no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 7. Uberlandia, 2015. **Resumos...** Botucatu: FEPAF, 2015. p. 1-4.

PRADO, E.P.; RAETANO, C.G.; DAL POGETTO, M.H.F.A.; COSTA, S.A.S.; 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.

PRADO, E.P. **Canopy opener e assistência de ar no controle da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja**. 2012. 98f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2012.

PRO OPERATOR. Autumm application special in association with Syngenta – Best practice in the field. Acesso em dez.2016. Disponível em: <https://www.syngenta.co.uk/file/13966/download?token=z6CVwVn7>.

RAETANO, C.G. Assistência de ar e outros métodos de aplicação a baixo volume em culturas de baixo fuste: a soja como modelo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, p.105-6, 2007.

RAETANO, C.G.; REZENDE, D.T.; PRADO, E.P. Application technologies for asian soybean rust management. In: EL-SHEMY, H. (Ed). **Soybean physiology and biochemistry**, In Tech, 2011, 117-138 p.

RAETANO, C.G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. 1 ed. Passo fundo: Aldeia Norte, 2011. p. 15-26.

RODRIGUES, M.A.T. **Classificação de fungicidas de acordo com mecanismo de ação proposto pelo FRAC**. 2006. 291f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2006.

ROMAN, R.A.B.; CORTEZ, J.W.; FERREIRA, M.C.; 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.

RUPE, J.; SCONYERS, L. Soybean Rust. The Plant Health Instructor, 2008. Acesso em dez.2016, disponível em: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx>.

SCHERM, H.; CHRISTIANO, R.S.C.; ESKER, P.D.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v.8, p.774–782, 2009.

SCHICK, R.J. An engineer's practical guide drop size. Wheaton: Spraying Systems, 1997. 28 p.

SCUDELER, F.; RAETANO, C.G.; ARAÚJO, D.; BAUER, F.C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.1, p.129-139, 2004.

SOUZA, D.M. **Arranjo de semeadura da soja sobre o rendimento da cultura e da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. 2016. 69f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2016.

OZKAN, H.E.; ZHU, H.; DERKSEN, R.C.; GULER, H.; KRAUSER, C. Evaluation of various spraying equipment for effective application of fungicides to control Asian soybean rust. **Aspects of Applied Biology**, v. 77, p. 1-8, 2006.

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.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D; COSTAMILAN, L.M.; BERGAGNOLLI, P.F.; HARTMAN, G.E.; GODOY, C.V.; NUNES JR., J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **PlantDisease**, v. 89, n. 6, p. 675-677, 2005.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; FERNANDEZ, P.F.T. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2000/01 e 2001/02. **Resumo...** Congresso Brasileiro de Soja, Foz do Iguaçu, p.94, 2002.

ZANATTA, T.; REIS, E.M.; ZANATTA, M. Adjuvant concentrations and uredospore densities on *Phakopsora pachyrhizi* infection efficiency in soybean. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 2, p. 148-151, 2012.