

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DEPÓSITO DE CALDAS FUNGICIDAS E CONTROLE DA
FERRUGEM ASIÁTICA EM FUNÇÃO DA ANGULAÇÃO DA
BARRA PULVERIZADORA E DA CHUVA NA CULTURA DA
SOJA**

Maria Fernanda Tavares Ramos

Engenheira Agrônoma

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DEPÓSITO DE CALDAS FUNGICIDAS E CONTROLE DA
FERRUGEM ASIÁTICA EM FUNÇÃO DA ANGULAÇÃO DA
BARRA PULVERIZADORA E DA CHUVA NA CULTURA DA
SOJA**

**Eng. Agr^a. Maria Fernanda Tavares Ramos
Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2020

R175d

Ramos, Maria Fernanda Tavares

Depósito de caldas fungicidas e controle da ferrugem asiática em função da angulação da barra pulverizadora e da chuva na cultura da soja / Maria Fernanda Tavares Ramos. -- Jaboticabal, 2020
74 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Marcelo da Costa Ferreira

1. Fitossanidade. 2. Fitopatologia. 3. Tecnologia de Aplicação. 4.
Phakopsora pachyrhizi. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

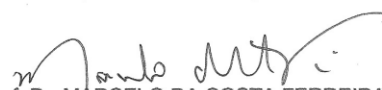
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

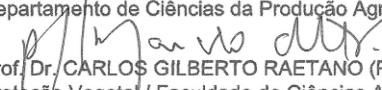
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DEPÓSITO DE CALDAS FUNGICIDAS E CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA EM FUNÇÃO DA ANGULAÇÃO DA BARRA PULVERIZADORA E DA CHUVA NA CULTURA DA SOJA

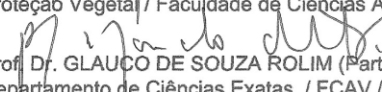
AUTORA: MARIA FERNANDA TAVARES RAMOS

ORIENTADOR: MARCELO DA COSTA FERREIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM (Participação Virtual)
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 14 de outubro de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARIA FERNANDA TAVARES RAMOS – Engenheira Agrônoma, filha de Maurício Barros Ramos e Gláucia Rodrigues Tavares Ramos, nasceu em São Paulo, capital do estado de São Paulo, no dia 13 de maio de 1992. Coursou os Ensinos Fundamental e Médio no Colégio Objetivo da cidade de Amparo, interior de São Paulo. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2011, no curso de Engenharia Agrônoma na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal/SP, obtendo o título de Engenheira Agrônoma em fevereiro de 2017. Durante a graduação, foi bolsista por dois anos e meio no programa de monitoria das disciplinas: Matemática I, Matemática II e Desenho Técnico. Em 2013 realizou intercâmbio pelo programa Communicating for Agriculture Education Program (CAEP), onde realizou estágio agrícola durante cinco meses em estufas de plantas ornamentais, no Estado de Minnesota, Estados Unidos. Em janeiro de 2017 se tornou colaboradora da Empresa Oxiquímica Agrociência Ltda., localizada em Jaboticabal, São Paulo, na área de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos. Em agosto de 2018, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no Programa de Produção Vegetal, com concentração na área de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, São Paulo, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, sendo integrante do grupo Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), localizado no Departamento de Ciências da Produção Agrícola dessa instituição. Atualmente é integrante do grupo NEDTA e colaboradora na Empresa Oxiquímica Agrociência Ltda. Em outubro de 2020, submete-se à banca examinadora para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

“A inteligência é o único meio que possuímos para dominar nossos instintos.”

SIGMUND FREUD

Aos meus pais *Maurício Barros Ramos* e *Gláucia Rodrigues Tavares Ramos*, e ao meu irmão *Pedro Henrique Tavares Ramos* por sempre me apoiarem em todos os momentos, pelo amor, carinho, incentivo ao estudo e ensinamentos de vida.

Sempre dedicarei minhas vitórias a vocês!

DEDICO

Ao *Dante Ungari Anelli*, pelo amor, companheirismo, carinho, amizade, paciência e incentivo durante essa etapa. Obrigada por me fazer feliz e pelas palavras de carinho nas horas de saudade!

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e ao meu noivo pelo o amor, incentivo, conselhos e força em todos os momentos.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV), Campus de Jaboticabal por ser meu lar por tanto tempo, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), coordenado pelo Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelo ótimo trabalho que realizado, juntamente com os demais professores do programa, em especial ao Prof. Dr Arthur Bernardes Cecílio Filho pelo carinho com os alunos e pelos conselhos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, pela oportunidade de realizar esse trabalho, pela orientação, pelos ensinamentos, pelos conselhos e pela confiança e por conceder a oportunidade de fazer parte da equipe do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA);

Ao grupo de pesquisa NEDTA, o qual tenho orgulho de fazer parte, representado pelos membros que já passaram e aos que fazem parte do grupo atualmente, em especial Henrique Borges Neves Campos, Dieimisson Paulo Almeida, Renata Thaysa da Silva Santos, Fabiano Griesang, Cícero Antônio Mariano dos Santos, Nathália Garlich, Pedro Henrique Urach Ferreira, Bruno Oliveira Liberato, Sofia Santana Mortati, Alessandra Simone Santos de Oliveira Flor, Pedro Henrique Nesso Jana e Felipe Bardella do Carmo. A participação de vocês foi essencial para que eu alcançasse êxito nessa jornada.

Agradeço especialmente a Ana Beatriz Dilena Spadoni e Gabriela Pelegrini pela efetiva participação e ajuda na condução dos experimentos. Obrigada por serem tão especiais, por me ajudarem sem esperar nada em troca, pela amizade verdadeira que construímos, pelas risadas e por tornarem os momentos difíceis mais leves e divertidos.

À Oxiquímica Agrociência pela oportunidade singular em fazer parte dessa empresa, que tanto incentiva e dá oportunidade aos colaboradores, em especial ao Imero João Padula Filho e Claudionor Santana, que me concederam a oportunidade de realizar o mestrado. Aos meus colegas de Departamento da Oxiquímica, João Paulo Júnior, Antônio Eduardo Fonseca, Luis Almeida Zampieri e a minha

coordenadora, Mariana Vilela Lopes Ninin. Muito obrigada pela colaboração, troca de conhecimentos e ajuda efetiva na condução dos experimentos. A participação de vocês foi essencial. Aos estagiários que passaram pelo departamento de P&D e tanto me ajudaram: Juliana Marques, Vitor Ferreira, Lucio Vizentini, Fabio Marques, Hugo Meneghette, Vinicius Penariol, Felipe Castelan, Gabriela Crivelenti, João Pedro Milan, muito obrigada.

Às minhas companheiras de casa Fernanda Vitorete Dultra, Julia Coco e Estefânia Dias, pelo convívio diário e por dividirem todos os mementos comigo. Muito obrigada.

Enfim, a todos os que não foram aqui citados, mas que participaram desta caminhada, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1. Introdução e Justificativa.....	1
1.2. Revisão de Literatura.....	2
1.2.1. A ferrugem asiática da soja e seu controle	2
1.2.2. Angulação da barra pulverizadora	5
1.2.3. Efeito da chuva sobre as aplicações.....	7
1.3 Referências.....	9
CAPÍTULO 2 – ANGULAÇÕES DA BARRA PULVERIZADORA E FORMULAÇÕES DE FUNGICIDAS PARA CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....	15
Resumo.....	15
2.1. Introdução	16
2.2. Objetivo.....	17
2.3. Material e Métodos	17
2.3.1. Caracterização das caldas fungicidas.....	17
2.3.2. Angulação da barra pulverizadora	18
2.3.3. Análise estatística	21
2.4 Resultados e Discussão.....	22
2.5 Conclusões	33
2.6 Referências.....	33
CAPÍTULO 3 - DEPÓSITO DE FORMULAÇÕES DE FUNGICIDAS APÓS A OCORRÊNCIA DE CHUVA ARTIFICIAL E O CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	38
Resumo.....	38
3.1 Introdução	39
3.2 Objetivo.....	40
3.3 Material e Métodos	41
3.3.1. Instalação dos experimentos	41
3.3.2. Experimento A – Volume de chuva.....	42
3.3.3. Experimento B – Intervalo sem chuva.....	42
3.3.4. Aplicações e chuva artificial	43
3.3.5. Inoculação.....	44

3.3.6. Avaliações.....	45
3.3.7. Análise estatística	46
3.4 Resultados e Discussão.....	46
3.4.1. Experimento A – Volume de chuva	46
3.4.2. Experimento B – Intervalo sem chuva.....	51
3.5 Conclusões	55
3.6 Referências.....	55
CONSIDERAÇÕES FINAIS	60

DEPÓSITO DE CALDAS FUNGICIDAS E CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA EM FUNÇÃO DA ANGULAÇÃO DA BARRA PULVERIZADORA E DA CHUVA NA CULTURA DA SOJA

RESUMO – A aplicação de fungicidas de diferentes grupos químicos e modos de ação permanece a alternativa mais utilizada para o controle de *Phakopsora pachyrhizi*. Entretanto, as aplicações a campo ainda carecem de melhor compreensão de seus atributos, a fim de obter uma quantidade de depósito suficiente e persistência do ingrediente ativo sobre a folha, resultando em um efetivo controle do patógeno. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar o depósito de caldas fungicidas e o controle da ferrugem asiática em diferentes angulações da barra pulverizadora e da chuva na cultura da soja. Os experimentos foram conduzidos durante as safras 2018/19 e 2019/20, onde foram analisadas as características físicas e químicas de 4 caldas fungicidas: 1- oxicloreto de cobre formulação SC na dosagem 1,0 L ha⁻¹; 2- oxicloreto de cobre formulação WP na dosagem 1,0 L ha⁻¹; 3- mancozebe formulação OD na dosagem 1,5 L ha⁻¹ e; 4- mancozebe formulação WG na dosagem 1,5 L ha⁻¹. Para verificar o efeito das angulações, os produtos foram avaliados à campo sob diferentes posicionamentos da barra pulverizadora: 30° a favor do deslocamento do pulverizador (F30°); plano vertical da cultura (0°) e 30° contrário ao deslocamento do pulverizador (B30°), além de um tratamento adicional como testemunha não tratada. Para verificar o efeito da chuva sobre a aplicação desses produtos, foram realizados dois experimentos em vasos com soja, o primeiro alterando os volumes de chuva artificial (0, 5, 10, 15 e 20 mm) e o segundo alterando os intervalos entre a aplicação e a chuva (sem chuva, 2, 6, 12 e 12 horas). Como resultados dos experimentos conduzidos à campo, foi possível observar que a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foi diretamente influenciada pelo produto mancozebe em formulação OD e pelo diâmetro mediano volumétrico. Na primeira safra as angulações F30° e B30° foram semelhantes e na segunda as angulações semelhantes foram a F30° e a 0°. Para os experimentos de chuva artificial, verificou-se que os volumes e os intervalos avaliados sem chuva influenciaram de maneira variada o depósito das formulações de fungicidas sobre os terços das plantas de soja. Entretanto, não influenciaram o controle da ferrugem asiática. Não houve redução de oxicloreto de cobre SC sob nenhum volume de chuva no terço superior da planta. Não houve redução de ingrediente ativo das formulações líquidas para nenhum intervalo entre a aplicação e a incidência da chuva. Para as sólidas houve redução mesmo após 24 horas no terço superior. Conclui-se que o produto mancozebe OD apresentou o maior controle da ferrugem asiática à campo. As angulações avaliadas não resultaram em diferenças para a AACPD e para a produtividade, agrupando-se de maneira distinta entre as safras. O fungicida oxicloreto de cobre SC apresenta maior resistência à remoção do ingrediente ativo no terço superior da planta após ser submetido a chuva. Devem ser aprofundados estudos sobre as condições que influenciam os resultados da angulação da barra pulverizadora assim como a relação entre o depósito de produtos nas folhas e o controle dos patógenos após a incidência de chuvas.

Palavras-chave - *Phakopsora pachyrhizi*, fungicidas multissítios, gotas, pulverização.

DEPOSITION OF FUNGICIDE SPRAY SOLUTION AND CONTROL OF ASIAN SOYBEAN RUST DUE TO THE SPRAY FAN ANGLE AND TO THE RAIN ON SOYBEAN CROP

ABSTRACT - The application of fungicides from different chemical groups and modes of action remains the most used alternative for the control of *Phakopsora pachyrhizi*. However, field applications still need a better understanding of the attributes in order to obtain a sufficient amount of deposition and persistence of the active ingredient on the leaf, resulting in effective control of the pathogen. Thus, the aim of the study was to evaluate the deposition of fungicidal spray solutions and the control of Asian soybean rust (ASR) at different angles of the spray fan and of the rain on the soybean crop. The experiments were conducted during the 2018/19 and 2019/20 seasons, where the physical and chemical characteristics of four fungicidal spray solutions were analyzed: 1- copper oxychloride SC formulation in the dosage 1.0 L ha⁻¹; 2- copper oxychloride WP formulation in dosage 1.0 L ha⁻¹; 3- mancozeb OD formulation in the dosage 1.5 L ha⁻¹ e; 4- mancozeb WG formulation in dosage 1.5 L ha⁻¹. To verify the effect of the angulations, the products were tested in the field under different positions of the spray fan: 30° forward in the displacement driving direction (F30°); vertical plane towards the crop (0°) and 30° backward in the opposite driving direction (B30°), besides an additional treatment as an untreated control. To verify the effect of the rain on the application of these products, two experiments were carried out on soybean vases, the first changing the rainfall volumes (0, 5, 10, 15 and 20 mm) and the second changing the intervals between application and rain simulation (without rain, 2, 6, 12 and 12 hours). As a result of the experiments conducted in the field, it was possible to observe that the area under the disease progress curve (AUDPC) was directly influenced by the mancozeb product in OD formulation and by the median volumetric diameter. In the first season, the angles F30° and B30° were similar and in the second, the similar angles were F30 ° and 0 °. For the rain simulation experiments, it was found that the volumes and intervals without rain tested in this study varied in a different way in the deposit of the fungicide formulations on the thirds of the soybean plants. However, they did not influence the control of ASR. There was no removal of the product SC copper oxychloride under any volume of rain in the upper third of the plant. There was no removal of active ingredient from liquid formulations for any interval between the application and the occurrence of rain, while for solid formulations there was removal even after 24 hours in the upper third. It is concluded that the OD mancozeb product presented the greatest control of ASR in the field. The fan angulations evaluated did not result in differences for AUDPC and yield, grouping differently between seasons. The fungicide SC copper oxychloride has greater resistance to the removal of the active ingredient in the upper third of the plant after being subjected to rain. Studies on the conditions which influence the results of the angle of the spray fan as well as on the relationship between the deposition of products on the leaves and the control of pathogens after being subjected to rain must be deepened.

Palavras-chave - *Phakopsora pachyrhizi*, multisite fungicides, drops, spraying.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1. Introdução e justificativa

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem como origem o continente asiático, sendo a cultura individual de maior área cultivada no Brasil, cuja produção tem crescido e se destacado no agronegócio brasileiro para abastecimento do consumo interno de óleos, produtos para consumo humano e animal e outros em diversos segmentos industriais (Bezerra et al., 2015; Conab, 2020). A produção nacional da soja na safra 2019/2020 deverá atingir 120,9 milhões de toneladas, com área plantada de 36,9 milhões de hectares, representando um aumento de 5,1% na produção e 3,0% em área plantada em relação à safra 2018/2019, colocando o Brasil como o maior produtor de soja do mundo (Conab, 2020).

Entre as doenças que prejudicam a produção da cultura está a ferrugem asiática da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* (Syd. & Syd), sendo a mais limitante, com perdas de até 90% da produção (Yorinori et al., 2005; Alves et al., 2006). As plantas infectadas apresentam lesões que se iniciam nas folhas da parte inferior da planta e a alta quantidade de lesões leva a desfolha prematura e maturação precoce, reduzindo o peso final de grãos (Carneiro, 2007; Hartman et al., 2015; Godoy et al., 2016).

Para o controle efetivo da ferrugem asiática, uma vez que se tenha optado pelo controle químico via pulverização, deve-se utilizar a tecnologia adequada para obter a correta colocação do produto no alvo (Matuo, 1990). A cobertura proporcionada pela aplicação de fungicidas no dossel da soja, geralmente é pouco uniforme, principalmente na parte inferior da planta, interferindo nos resultados de controle da doença (Cunha et al., 2014, Costa et al. 2015).

A correta colocação do produto no alvo requer boas práticas a campo, que contemplam a calibração do pulverizador. Dentre os ajustes está a angulação dos jatos em relação ao plano da cultura da soja, proporcionado por determinados modelos de pontas de pulverização ou pela angulação direta da barra de pulverização. Esta angulação interfere no depósito de fungicidas nas folhas do baixeiro do dossel da cultura. Em geral, pulverizações em que o ângulo dos bicos na barra está voltado

em direção ao movimento do equipamento resultam em maiores depósitos (Scudeler & Raetano, 2006; Tomazella et al., 2006). Entretanto, alguns estudos encontraram depósitos maiores quando o ajuste do ângulo da ponta é voltado para o contrário do movimento do equipamento, evidenciando a necessidade de aprofundamento de trabalhos nesta área, para melhor compreensão da relevância dos fatores que implicam no maior depósito (Quanquin et al., 1989; Andersen et al., 2000).

Ainda que as aplicações sejam bem-sucedidas e que a cobertura e depósito sejam satisfatórios, precipitações pluviométricas nas áreas tratadas afetaram a permanência dos fungicidas sobre as plantas, influenciando negativamente o controle de patógenos (Schepers, 1996). A frequência e intensidade da chuva, o intervalo entre a pulverização e a precipitação, a quantidade de caldas depositada e a sua uniformidade decorrente da aplicação, a natureza das formulações dos produtos e as características da superfície da folha são fatores que influenciam a aderência, a persistência e a quantidade dos fungicidas depositados (Cabras et al., 2001; Hunsche et al., 2007; Costa et al., 2015; Fonseca et al., 2016).

O depósito de caldas fungicidas e o controle da ferrugem asiática em função do posicionamento da barra quanto ao ângulo de emissão dos jatos sob a incidência de chuva ainda são pouco conhecidos no Brasil. Portanto, o estudo desses fatores torna-se importante para a melhoria da eficiência de controle fitossanitário nesta cultura a campo.

1.2. Revisão de Literatura

1.2.1. A ferrugem asiática da soja e o seu controle

Phakopsora pachyrhizi (Sydow & Sydow), fungo causador da ferrugem asiática, é um fungo basidiomiceto da Ordem *Uredinales*, membro da família *Melampsoraceae*. A espécie é descrita pela fase uredinial, onde são produzidos os urediniósporos, responsáveis pela a fase epidêmica da doença e pela fase telial, que ocorre juntamente com a uredinial, sendo que os teliósporos são formados sub-epidermicamente (Souza et al., 2006).

Fungos causadores de ferrugem atuam como parasitas biotróficos, portanto, necessitam que o hospedeiro esteja vivo para se desenvolver e reproduzir (Godoy et al., 2020). Este fungo foi identificado primeiramente no Japão em 1903, e detectado em todo o hemisfério oriental com registros severos nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia e Oceania (Bromfield, 1984). Na safra 2001/2002 a doença foi encontrada pela primeira vez no Paraguai e no oeste do Paraná, se espalhando por toda a América do Sul nos três anos posteriores (Yorinori et al., 2005).

Os sintomas causados pela doença iniciam-se nas folhas do baixeiro da cultura. São caracterizadas por pequenas lesões de cor bronzeada, formadas na parte abaxial da folha de soja. Nas lesões formam-se pústulas de cor castanha a marrom-escura, nas quais observaram-se as urédineas, caracterizadas por elevações que se rompem, liberando os urediniósporos (Carneiro, 2007; Godoy et al.; 2016; Juliatti et al., 2017) (Figura 1A). Com o passar do tempo as folhas infectadas ficam amarelas, secas e caem, sendo o principal dano causado pela doença. A desfolha precoce impede a formação completa dos grãos e como consequência, resulta perdas que podem chegar a 90% da produtividade (Yorinori et al., 2005; Godoy et al.; 2016) (Figura 1B).

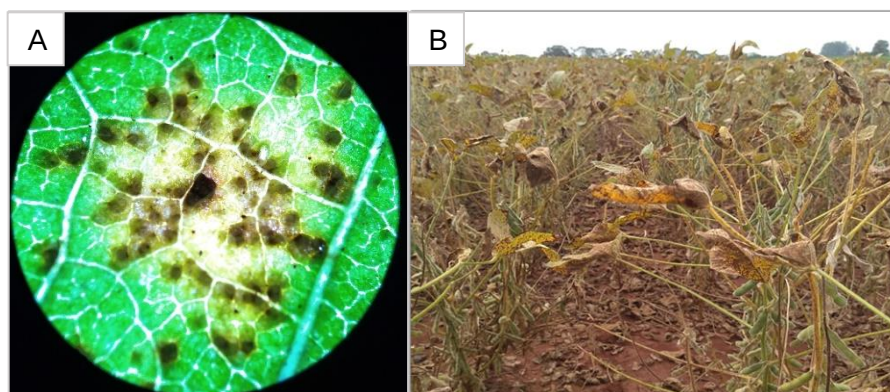


Figura 1. Urédineas na superfície foliar da soja (A). Desfolha causada por *Phakopsora pachyrhizi* em lavoura de soja (B).

Os sintomas podem ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta. No entanto, a maior incidência ocorre a partir do fechamento do dossel da lavoura, quando há formação de um microclima favorável à infecção, promovido pela maior umidade e pelo sombreamento que protege os esporos da radiação UV (Isard et al., 2006).

Geralmente as condições climáticas ideais para a cultura da soja favorecem o desenvolvimento da doença. A penetração do fungo ocorre de maneira direta na superfície foliar através da epiderme. O processo de infecção depende de um período de água livre na superfície foliar de no mínimo seis horas, e a temperatura ideal entre 20-23 °C (Alves, 2007). Por esse motivo a chuva é frequentemente relacionada aos níveis epidêmicos da doença (Del Ponte et al., 2006). A temperatura comumente afeta o período latente da doença, que é o tempo entre o início da infecção e a esporulação, sendo de seis dias à temperatura de 26 °C. Esse período pode aumentar conforme a temperatura se distancia desse ponto ótimo, podendo chegar a 12 dias em temperaturas abaixo de 20 °C (Alves et al., 2006).

Considerando que a doença ocorrerá quando houver o hospedeiro suscetível, o patógeno virulento e o ambiente favorável (Amorim et al., 2018), o monitoramento da probabilidade de ocorrência da doença pela iminência da ocorrência do fungo na área de cultivo (ocorrência circunvizinha em distância com potencial de infecção) e da meteorologia favorável (temperatura, umidade e vento), permitirão tomar decisões mais acertadas sobre a estratégia de manejo quanto ao momento, configurações e eventuais ajustes da tática selecionada. Se a técnica for a pulverização, envolverá a seleção do talhão, horário, volume de pulverização e tamanho de gotas prioritários para a etapa de ocorrência e de desenvolvimento da doença na área.

O manejo da ferrugem asiática envolve a integração de medidas culturais, da resistência genética e a utilização de fungicidas sob a instalação da doença na lavoura. Dentre as estratégias de manejo recomendadas no Brasil estão: a utilização de cultivares de ciclo precoce com semeadura no início da época recomenda, a eliminação de plantas de soja voluntária e ausência de cultivo de soja na entressafra por meio do vazio sanitário, a utilização de cultivares com genes de resistência e o controle químico com fungicidas no aparecimento dos sintomas ou preventivamente (Godoy et al, 2020).

A integração de diferentes manejos é essencial para evitar que a variabilidade do fungo ameace a estabilidade da produção da cultura, sendo o controle químico ainda uma das estratégias mais utilizadas para o controle da doença.

Os fungicidas podem ser classificados em sítio-específicos ou multissítios (McGrath, 2004). Os sítio-específicos agem em um único ponto da via metabólica ou

contra uma única enzima ou proteína essencial para a sobrevivência do fungo. Dessa maneira, uma vez que esses fungicidas são específicos em sua toxicidade, eles podem ser absorvidos pelas plantas e tendem a ter propriedades sistêmicas (McGrath, 2004; Godoy et al., 2020). Ao longo da última década, houve redução na sensibilidade do fungo aos fungicidas sitio-específicos (triazóis, estrobilurinas e carboxamidas), resultando em menor eficácia de controle por estes (Schimitz et al., 2014; Klosowski et al., 2016; Godoy et al., 2017; Simões et al., 2018).

A utilização de fungicidas não específicos ou multissítios, como o mancozebe, o clorotalonil e os cúpricos, tornou-se ferramenta fundamental e muito praticada para o manejo da resistência em razão a multiplicidade de sítios de atuação destas moléculas nos patógenos (Mcgrath, 2004). Os fungicidas multissítios atuam desde a germinação dos esporos, formando uma barreira protetora na superfície da folha e impedindo a penetração do patógeno nos tecidos do hospedeiro (Azevedo, 2017). Estes produtos em geral são pouco ou nada absorvidos e translocados pela planta. Além disso, há menor probabilidade de os patógenos apresentarem resistência para estes fungicidas, mantendo mais sustentável esta estratégia de controle da ferrugem na cultura da soja (Balardin et al., 2017).

1.2.2. Angulação da barra pulverizadora

Estudos envolvendo diferente ângulos de jatos de pulverização determinaram que ocorre maiores depósitos quando o ajuste do ângulo da ponta é voltado para a mesma direção do movimento do equipamento (Friesen & Wall, 1991; Bauer, 2002; Tomazella et al., 2006; Scudeler & Raetano, 2006).

Friesen & Wall (1991) estudaram o ângulo de pulverização (F45° e 0°) de bicos para determinar a eficiência de fluasifop-p-butyl no controle de *Setaria viridis*, *A. fatua*, *Hordium vulgare* e *T. aestivum*, na cultura do linho. Observaram que a orientação do bico de pulverização 45° posicionadas no sentido do deslocamento do pulverizador (F45°), apresentou maior controle sobre *A. fatua*, *H. vulgare* e *T. aestivum*.

Bauer (2002) estudou diferentes pontas de pulverização, pressões, alturas e ângulos do jato de aplicação, para avaliar o depósito da pulverização em dois estádios de desenvolvimento da cultura da soja. Concluiu que os melhores depósitos são

obtidos com o jato de calda na angulação de 45° em relação ao plano da cultura da soja, na mesma direção do deslocamento do equipamento.

Tomazella et al. (2006) ao avaliar depósito de marcadores no solo e nas plantas de *B. plantaginea* trabalhou com ângulo do jato de pulverização de B30°, B15°, 0°, F15° e F30° em relação a vertical. Os ângulos de 15° e 30° no sentido do deslocamento do equipamento (precedidos por “F”) proporcionaram maiores incrementos na porcentagem de depósito nas plantas de *B. plantaginea*, em torno de 53 e 70%, respectivamente.

Scudeler & Raetano (2006), objetivando avaliar o efeito da assistência de ar combinada a diferentes ângulos de aplicação sobre o depósito da pulverização, bem como perdas da calda para o solo, obtiveram maiores depósitos com a barra posicionada a 0° e a 30° no sentido do deslocamento do pulverizador em relação a vertical.

Alguns estudos indicam maiores depósitos quando o ajuste do ângulo da ponta ocorre em direção oposta ao movimento do equipamento (Quanquin et al., 1989; Andersen et al., 2000). Os depósitos da pulverização em folhas de batata utilizando-se a assistência de ar foram avaliados por Quanquin et al. (1989), os quais concluíram que o jato com ângulo de 30°, contrário ao deslocamento do equipamento e com velocidade do ar de 30 m s⁻¹, proporcionaram melhores resultados de depósito.

Andersen et al. (2000), avaliando os depósitos da pulverização na cultura do trigo com auxílio da assistência de ar e angulação da barra, obtiveram um aumento de 100% de depósito na posição inferior das plantas com ângulo de emissão do jato de calda em direção contrária ao deslocamento do equipamento.

Há também estudos que dependendo do ajuste utilizado durante as aplicações mostraram comportamento diferentes quanto a melhor angulação. Christovam et al. (2010), ao estudar o efeito da angulação e da assistência de ar no controle da ferrugem asiática, obtiveram maior depósito na superfície adaxial nas folhas da parte inferior da planta com a angulação de 30° no sentido do deslocamento do pulverizador, quando utilizado a maior velocidade de assistência de ar. Porém, quando a assistência de ar não foi utilizada, o maior depósito foi com a angulação 0°.

Ao estudar diferentes técnicas de pulverização sobre o depósito de gotas na cultura do trigo, Christovam et al. (2018) verificaram maior depósito aos 67 dias após

a semeadura com a angulação de 30° no sentido do deslocamento do pulverizador (F30°), associados ou não com assistência de ar em uma área de experimento. Já na segunda área, não houve diferença entre as angulações 0° e F30° quanto ao depósito.

Estes resultados antagônicos podem ter sido obtidos por ajustes específicos dos pulverizadores, tais como o tamanho das gotas, o formato do jato da ponta de pulverização, às condições meteorológicas e a morfologia da cultura. Desta forma, estudos que considerem, informem e associem estas características podem contribuir para indicações mais objetivas às calibrações dos equipamentos à campo, baseadas em dados de pesquisa acadêmica.

1.2.3. Efeito da chuva sobre as aplicações

Nas principais regiões produtoras de soja do país, o clima é caracterizado por temperaturas elevadas, dias longos e índices pluviométricos altos durante o verão. A irregularidade dessas condições afeta diretamente o plantio, o desenvolvimento da cultura, a aplicação de insumos e a colheita, sendo a chuva uma das principais incertezas enfrentadas pelos produtores de soja no decorrer da safra (Antuniassi, 2012, Decaro et al., 2016).

As condições ideais para o cultivo dessa oleaginosa também constituem o ambiente propício para a reprodução e disseminação de insetos, plantas daninhas e doenças (Decaro et al., 2016; Araújo, 2020). A ocorrência de chuvas pode afetar a qualidade e a atividade dos produtos depositados sobre a folha por sua diluição, redistribuição e remoção física da superfície das plantas (Thacher e Young, 1999), influenciando a eficácia das aplicações (Ferreira et al., 2013; Stefanello et al., 2016).

Calore et al., (2015), objetivando caracterizar o efeito da incidência de chuva no controle de *Ipomea hederifolia* considerando diversos aspectos de caracterização de calda e tecnologia de aplicação, verificaram efeito negativo da incidência de chuva no controle da planta daninha, indicando remoção dos produtos aplicados.

Da mesma maneira, Decaro et al. (2016) estudaram o depósito de caldas fitossanitárias em mudas de citros antes e após chuva artificial e observaram redução no depósito dos produtos após a ocorrência de chuva.

Pensando em doenças, o êxito de controle de um fungicida não depende apenas de sua fungitoxicidade, mas também de uma série de outras variáveis, como aderência, tenacidade, persistência e fundamentalmente dependentes da tecnologia de aplicação empregada (Santos et al., 2002). A aderência e a persistência dos fungicidas nas superfícies foliares das culturas sob a ação do clima, são os principais fatores que definem a quantidade de ingrediente ativo para o controle dos fitopatógenos (Rich, 1954).

Fonseca et al. (2016), ao avaliar a tenacidade e persistência de fungicidas cúpricos em folhas de mudas cítricas sob ação da chuva, constataram que os fungicidas em formulação de suspensão concentrada apresentaram maior tenacidade e persistência de cobre nas folhas após serem submetidos a chuva artificial.

Vários fatores afetam a relação entre a chuva e os fungicidas, sendo que os mais importantes são a intensidade da chuva, quantidade, intervalo de tempo entre o tratamento e a chuva (Cabras et al., 2001), o ingrediente ativo, a formulação comercial, a solubilidade do produto em água e o tipo de cultura (Hunsche et al., 2007; Fonseca et al., 2016). Segundo Weber et al., (1937), uma única chuva forte remove muito mais fungicidas da superfície da folha do que várias chuvas fracas de mesmo volume.

Debortoli, (2008) estudou a interação entre cultivares de soja e caldas fungicidas em relação resistência à remoção do ingrediente ativo pela chuva e concluiu que a ocorrência de 20 mm de chuva após a aplicação de fungicidas reduz a eficiência no controle químico de oídio e de ferrugem asiática. Oliveira et al., (2011), Stefanello et al., (2016), Chechi, (2019) e Araújo, (2020) também verificaram esses resultados em seus estudos com fungicidas, confirmando que a chuva afeta negativamente o residual dos produtos e o controle das doenças em diferentes culturas.

O modo de ação do fungicida também pode interferir e na sua capacidade de ser lavado pela chuva. Töfoli et al., (2014) estudaram o efeito de 20 mm de chuva em quatro intervalos de tempo após a aplicação sobre o controle de requeima e pinta preta na cultura da batata e concluíram que fungicidas de ação sistêmica são menos afetados por precipitações simuladas do que fungicidas de contato. A dinâmica de depósitos de fungicidas protetores é um dos fatores que determinam a maior ou menor eficiência do controle da doença. A formação de filme com depósitos uniformemente

distribuídos na superfície foliar previne o estabelecimento de infecção, porém, por não penetrarem na planta, os fungicidas protetores estão mais sujeitos à remoção por chuva (Hunsche, 2007).

Outro fator que pode influenciar na remoção de fungicidas pela chuva é a utilização de adjuvantes. O uso desses produtos pode aumentar a superfície de contato do ingrediente ativo com a superfície vegetal e reduzir o tempo de absorção tornando-o menos vulnerável à lavagem (Gent et al., 2003). Debortoli, (2008) em seu trabalho para verificar o efeito da lavagem pela chuva de aplicações de fungicidas com e sem adjuvante na cultura da soja, verificou que a adição de adjuvante a calda fungicida proporcionou incremento de eficiência no controle da ferrugem asiática, tanto nos tratamentos submetidos a chuva, quanto na testemunha sem chuva.

1.3. Referências

Alves SAM, Furtado GQ, Bergamim Filho A (2006) Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: Zambolim L (Ed.). **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa MG, p. 37-59.

Alves, SAM (2007) **Quantificação dos parâmetros da pré-penetração e monocíclico relacionados ao patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja**. 64 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia), USP, Piracicaba.

Amorim L, Rezende JAM, Bergamin Filho A (2018) **Manual de Fitopatologia. Princípios e Conceitos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. 5 Ed., 1; 573p.

Andersen PG, Jorgensen MK, Taylor WA (1989) Hardi Twin Assistance for field. **ASAE Paper** 89:1523.

Antuniassi UR (2012) **Tecnologia de aplicação: conceitos básicos, inovações e tendências**. FCA/UNESP, Botucatu, São Paulo.

Araújo VCR (2020) **Dinâmica da remoção pela chuva de fungicidas utilizados no controle de ferrugem asiática da soja**. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, Botucatu.

Azevedo LAS (Eds.) (2017) **Fungicidas protetores: Fundamentos para o uso racional**. Jaboticabal/SP, 259 p.

Balardin RS, Madalosso MG, Stefanello MT, Marques LN, Debortoli MP (2017) **Mancozebe: muito além de um fungicida**. Porto Alegre: Bookman, 96 p.

Bauer FC (2002) **Distribuição e deposição da pulverização sob diferentes condições operacionais na cultura da soja [*Glycine max (L.) Merrill*]**. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - UNESP, Botucatu.

Bezerra ARG, Sedyama T, Borém A, Soares MM (2015) Importância econômica. In: Sedyama T, Silva F, Borém A. (Ed.) **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa, p. 9-26.

Bromfield KR (1984) **Soybean rust**. St. Paul: American Phytopathological Society, 65p. (Monography, 11).

Cabras P, Angioni A, Garau VL, Melis M, Pirisi FM, Cabiza F, Pala M (2001) The effect of simulated rain on folpet and mancozeb residues on grapes and wine leaves. **Journal of Environmental Science and Health** 36: 609-618.

Calore RA, Ferreira MC, Rodrigues NEL, Otuka AK (2015) Distribution pattern, surface tension and contact angle of herbicides associated to adjuvants on spraying and controle of *Ipomea hederifolia* under rainfall incidence. **Engenharia Agrícola** 35: 756-768.

Carneiro LC (2007) **Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática**. 64 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Usp, Piracicaba.

Cechi, A (2019) **Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja**. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - UPF, Passo Fundo.

Christovam RS, Raetano CG, Aguiar Junior HO, Dal Pogetto MHA, Prado EP, Gimenes MJ, Kunz VL (2010) Assistência de Ar em Barra Pulverização no Controle de Ferrugem Asiática na Soja, **Bragantia**, 69: 231-238.

Christovam RS, Raetano CG, Leite LAI, Prado EP, Dal Pogetto, MHFA (2018) Diferentes técnicas de pulverização sobre o depósito de gotas na cultura do trigo. **Revista de Agricultura Neotropical**, 5: 41-46.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2020) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.7 Safra 2019/2020 - décimo segundo levantamento, Brasília, p.1-73. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 04 ago. 2020.

Costa LL, Ferreira MC, Campos HBN, Carvalho GGF, Barbosa JC (2015) The mixture volume sprayed by hydraulic and centrifugal energy nozzles for the control of Asian soybean rust. **Acta Scientiarum Agronomy** 37: 425-433.

Cunha JPAR, Juliatti FC, Reis EF (2014) Tecnologia de aplicação de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em minas gerais e goiás. **Bioscience Journal** 30: 950-957.

Debortoli, M.P (2008) **Efeito do “rainfastness” e adjuvante na aplicação de fungicidas foliares em cultivares de soja**. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UFSM, Santa Maria.

Decaro RA, Decaro Junior ST, Ferreira MC (2016) Deposit of pesticides without and with adjuvants on citrus seedlings following different intervals of artificial rain. **Ciência Rural** 46: 13-19.

Del Ponte EM, Godoy CV, Li X, Yang XB (2006) Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology** 96: 797-803.

Ferreira MC, Lasmar O, Decaro Junior ST, Neves SS, Azevedo LH (2013) Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal** 29: 1431-1440.

Fonseca AE, Nunes BM, Ferreira Junior JB (2016) Tenacity and persistence of copper fungicides in citrus seedlings under simulated rainfall. **Revista Caatinga** 29: 677-684.

Friesen GH, Wall DA (1991) Effect of application factors on efficacy of fluazifop-p-butyl in flax. **Weed Technology** 5: 504-508.

Gent DH, Schwartz HF, Nissen SJ (2003) Effect of commercial adjuvants on vegetable crop fungicide coverage, and efficacy. **Plant Disease** 87: 591-597.

Godoy CV, Seixas CDS, Meyer MC, Soares RM (2020) **Ferrugem asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência**. Londrina: Embrapa Soja, 39 p. (Embrapa-Soja. Documentos 428).

Godoy CV, Seixas CDS, Soares RM, Marcelino-Guimarães FC, Meyer MC, Costamilan LM (2016) Asian soybean rust in Brasil: past, present and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51: 407-421.

Hartman GL, Sikora EJ, Rupe JC (2015) Rust. In: Hartman GL, Rupe JC, Sikora EJ, Domier LL, Davis JA, Steffey KL (Ed.). **Compendium of soybean diseases and pests**. St. Paul: American Phytopathological Society, p. 56-58.

Hunsche M, Damerow L, Schimitz-Eiberger M, Noga G (2007) Mancozeb wash-off from apple seedlings by simulated rainfall as affected by drying time of fungicide deposit and rain characteristics. **Crop Protection** 26: 768-774.

Isard AS, Dufault NS, Miles MR, Hartman GL, Russo JM, Wolf ED, Morel W (2006) The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. **Plant Disease**, 90: 941-945.

Juliatti FC, Polloni LC, Morais TP, Zacarias NRS, Silva EA, Juliatti BCM (2017) Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* to dithiocarbamate, chloronitrile, triazole, strobilurin and carboxamide fungicides. **Bioscience Journal** 33: 933-943.

Klosowki AC, May De Mio LL, Miessner S, Rodrigues R, Stammler G (2016) Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Management Science** 72: 211-215.

Matuo T (1990) **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 139 f.

Mcgrath MT (2004) What are fungicides? **The Plant Health Instructor**. DOI: 10.1094/PHI-I-2004-0825-01.

Oliveira MAP, Antuniassi UR, Velini ED (2011) Remoção pela chuva de diferentes formulações de flutriafol aplicadas em soja, com e sem adição de óleo mineral da calda. **Revista Energia na Agricultura** 26: 80-87.

Quanquin BJ, Anderson GW, Taylor WA, Andersen PG (1989) Spray drift reduction and on-target deposition using the Hardi Twin System air assisted boom sprayer. **ASAE Paper** 89: 1523.

Rich S (1954) Dynamics of deposition and tenacity of fungicides. **Phytopathology** 44: 203-213.

Santos JMF, Oliveira SHF, Domingues SD (2002) Avaliação da eficácia de fungicidas sistêmicos no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* L.) do cafeeiro, sob chuva simulada. **Arquivos do Instituto Biológico** 69: 45-49.

Schepers HTAM (1996) Effect of rain on efficacy of fungicide deposits on potato against *Phytophthora infestans*. **Potato Research** 39: 541-550.

Schimitz HK, Medeiros AC, Craig IR, Stammer G (2014) Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-oxidoreductase-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest Management Science** 7: 378-88.

Scudeler F, Raetano CG (2006) Spray deposition and losses in potato as a function of air-assistance and sprayer boom angle. **Scientia Agricola** 63: 515-521.

Simões K, Hawlik A, Rehfus A, Gava F, Stammer G (2018) First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Plant Diseases and Protection** 125: 21-26.

Souza PCF, Alves E, Castro HA (2006) Influência da temperatura no desenvolvimento de teliósporos de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Summa Phytopathologica**, 32: 227-231.

Stefanello MT, Marques LN, Pinto FF, Ramos JP, Cadore PC, Balardin RS (2016) Dinâmica do controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* em plantas de soja e diferentes regimes hídricos. **Arquivos do Instituto Biológico** 83: 1-6.

Thacker JRM, Young RDF (1999) The effect of six adjuvants on the rainfastness of chlorpyrifos formulated as an emulsifiable concentrate. **Pest Management Science** 55: 198-200.

Töfoli JG, Domingues RJ, Melo PCT, Ferrari JT (2014) Effect of simulated rain on the efficiency of fungicides in potato late blight and early blight control. **Semina: Ciências Agrárias** 35: 2977-2989.

Tomazella MS, Martins D, Marchi SR, Negrisoni E (2006) Avaliação da deposição de calda de pulverização em função da densidade populacional de *Brachiaria plantaginea*, do volume e do ângulo da aplicação. **Planta Daninha** 24: 183-189.

Weber AL (1937) Influence of different materials on coverage and adhesiveness of sprays and their effect on residue removal from apples. **New Jersey Agricultural Experimental Station Bulletin** 627: 1-16.

Yorinori JT, Paiva WM, Frederick D, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Godoy CV, Nunes Junior J (2005) Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease** 89:675-677.

CAPÍTULO 2 – Angulações da barra pulverizadora e formulações de fungicidas para controle de ferrugem asiática da soja

RESUMO – A ferrugem asiática da soja é a doença mais limitante da cultura. Formulações recentes de fungicidas e a angulação do jato de pulverização na barra podem colaborar para atingir a parte inferior da planta, local de difícil acesso e onde também há infecção, proporcionando um controle efetivo da doença. Contudo, a relação dessas técnicas ainda é pouco estudada. O objetivo desse estudo foi avaliar o controle da ferrugem asiática em diferentes angulações da barra pulverizadora e formulações de fungicidas. Os experimentos foram conduzidos durante as safras 2018/19 e 2019/20, onde foram analisadas as características físicas e químicas de 4 caldas fungicidas: 1- oxiclreto de cobre formulação SC na dosagem $1,0 \text{ L ha}^{-1}$; 2- oxiclreto de cobre formulação WP na dosagem $1,0 \text{ L ha}^{-1}$; 3- mancozebe formulação OD na dosagem $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ e; 4- mancozebe formulação WG na dosagem $1,5 \text{ L ha}^{-1}$. As avaliações realizadas nesta etapa foram: pH, condutividade elétrica, tensão superficial, ângulo de contato, coeficiente de uniformidade, porcentagem de volume de gotas menores que 100 micrometros e diâmetro mediano volumétrico. Os tratamentos foram avaliados à campo sob as angulações da barra pulverizadora: 30° a favor do deslocamento do pulverizador (F 30°); plano vertical da cultura (0°) e; 30° contrário ao deslocamento do pulverizador (B 30°), além de um tratamento adicional como testemunha não tratada. Foram quantificados o depósito nas partes superior, média e inferior da cultura, com avaliação periódica da severidade da doença, para cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e pesagem dos grãos para cálculo da produtividade. Os dados foram submetidos à estatística multivariada pelo método de análise dos componentes principais para verificar a influência dos produtos nas variáveis estudadas, análise de agrupamentos para verificar o comportamento das angulações e análise de variância pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) em delineamento fatorial 4×3 e correlação linear de Pearson. Como resultado, a AACPD foi diretamente influenciada pelo produto mancozebe em formulação OD e pelo diâmetro mediano volumétrico. Na primeira safra, entre as formulações de oxiclreto de cobre, a formulação SC apresentou maior controle. Não houve diferença entre formulações de mancozebe. Na segunda safra as formulações de mancozebe (OD e WP) apresentaram controle de 49% e 44% da ferrugem, respectivamente. Não houve diferença de produtividade da soja decorrente dos tratamentos. As angulações avaliadas não resultaram em diferença para a AACPD e para a produtividade, agrupando-se de maneira distinta entre as safras. Na primeira safra as angulações F 30° e B 30° foram semelhantes e na segunda as angulações semelhantes foram a F 30° e a 0° . As condições meteorológicas influenciaram o depósito da parte inferior das plantas, independente das angulações. Conclui-se que a utilização de formulações líquidas apontou melhor desempenho em relação às sólidas. O produto mancozebe OD apresentou o maior controle da ferrugem asiática nesse estudo. Devem ser aprofundados estudos sobre as condições que influenciam os resultados da angulação da barra pulverizadora.

Palavras-chave: fungicidas multissítios, pulverização, patógeno, caldas fitossanitárias.

2.1. Introdução

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é originária do continente asiático, sendo uma das culturas de maior destaque no cenário mundial. Possui grande importância socioeconômica, sendo utilizada na alimentação humana e animal como fonte rica em proteínas e carboidratos; e na indústria alimentícia de óleos, farelo, cosméticos, tintas, solventes e biodiesel (Bezerra et al., 2015; Ávila e Albrecht, 2010).

Entre as doenças que afetam a produção da cultura a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & Syd) é a mais limitante, causando perdas de até 90% da produção (Yorinori et al., 2005). A aplicação de fungicidas de diferentes grupos químicos, formulações e modos de ação permanece a alternativa mais frequente para o controle do patógeno.

O uso de fungicidas com tenso-ativos em suas formulações pode colaborar para o controle efetivo da doença, uma vez que modificam as propriedades físico-químicas, impactando na viscosidade, na tensão superficial, no ângulo de contato, no pH, na condutividade elétrica, na retenção e deposição das gotas (Prado et al., 2016; Cunha et al., 2017), interferindo na cobertura e depósito do ingrediente ativo sobre as folhas do cultivo.

Outro fator que interfere nos resultados de controle da doença é a distribuição do fungicida através do dossel da cultura, geralmente pouco uniforme, principalmente na parte inferior das plantas (Cunha et al., 2014; Costa et al., 2015). Desta forma, a penetração de gotas com fungicida no dossel é um aspecto fundamental para patógenos que infectam as folhas baixas, como é o caso de *Phakopsora pachyrhizi*, tornando-se um desafio à tecnologia de aplicação (Tormen et al., 2012).

Dentre os ajustes está a angulação dos jatos em relação ao plano da cultura, obtido por determinados modelos de pontas de pulverização ou pela angulação direta da barra de pulverização. Esta angulação interfere na distribuição da calda e no depósito de fungicidas nas folhas do baixeiro do dossel. Em geral, pulverizações em que o ângulo dos bicos na barra está voltado à mesma direção do movimento do equipamento resultam em maiores depósitos (Scudeler e Raetano 2006; Tomazella et al., 2006). Entretanto, há também resultados com depósitos maiores quando o ângulo da ponta é voltado para o sentido contrário ao movimento do equipamento (Andersen

et al., 2000), evidenciando a necessidade de aprofundar estudos nesta área, para compreender melhor os fatores que implicam no controle de fitopatógenos.

A relação entre o posicionamento da barra quanto ao ângulo de emissão dos jatos em relação ao plano da cultura e entre formulações de fungicidas com o controle da ferrugem asiática da soja ainda são pouco conhecidos, sendo necessários estudos que considerem as variações de calibrações dos equipamentos à campo, as formulações de produtos utilizados e as condições meteorológicas, contribuindo para indicações embasadas e objetivas.

2.2. Objetivo

Avaliar a influência de angulações da barra pulverizadora e formulações de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja.

2.3. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos durante as safras 2018/19 e 2019/20, em latitude 21°15'19" Sul e longitude 48°19'21" Oeste (Jaboticabal/SP – Brasil).

Foram analisadas as características físicas e químicas das caldas fungicidas descritas a seguir: 1- oxicleto de cobre (Difere® 588 g i. a. L⁻¹, formulação SC, Oxiquímica Agrociência Ltda.) na dosagem 1,0 L ha⁻¹; 2- oxicleto de cobre (Reconil® 588 g i. a. kg⁻¹, formulação WP, Albaugh Agro Brasil Ltda.) na dosagem 1,0 L ha⁻¹; 3- mancozebe (produto codificado, 400 g i. a. L⁻¹, formulação OD) na dosagem 1,5 L ha⁻¹ e; 4- mancozebe (Unizeb Gold® 750 g i. a. kg⁻¹, formulação WG, UPL do Brasil Industria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A.) na dosagem 1,5 L ha⁻¹. Posteriormente, os produtos foram avaliados a campo sob diferentes angulações da barra pulverizadora.

2.3.1. Caracterização das caldas fungicidas

As avaliações de condutividade elétrica (condutivímetro de bancada Marte® MP-11P) e pH (peagâmetro de bancada Quimis® Q400RS) foram realizadas através da inserção de sensores nas caldas fungicidas preparadas em provetas (250 mL) com

água destilada para um volume de calda de 150 L⁻¹ e a leitura realizada após a estabilização dos valores.

Para a avaliação de tensão superficial e ângulo de contato foi utilizado o equipamento Contact Angle System OCA 15-plus (Dataphysics®) equipado com câmera digital de alta velocidade e o software SCA20® para automatização e processamento das imagens obtidas em um computador. A tensão superficial foi determinada pelo método da gota pendente, onde o cálculo da tensão superficial é realizado com base na equação de Yang-Laplace, em função da deformação das gotas emitidas em cada amostragem (Ferreira et al., 2013). Para a determinação do ângulo de contato, gotas de cada calda fungicida foram depositadas sobre folhas de soja na parte adaxial, as quais foram dispostas horizontalmente com auxílio de uma pequena prensa para que ficassem planas evitando o escorrimento após a aplicação. Para efeito de comparação foi padronizado como valor útil de tensão superficial e ângulo de contato aos 10 segundos para todos os tratamentos, uma vez que a partir desse ponto os valores decresce mais lentamente.

O espectro do diâmetro de gotas produzidas pelas diferentes caldas fitossanitárias foi determinado em analisador de tamanho de partículas Mastersizer S® (Malvern Instruments Co.), versão 2.19. Neste equipamento uma unidade óptica determina o diâmetro das gotas do espectro pulverizado, por meio do desvio de trajetória sofrido pelo laser ao atingi-las (Calore et al., 2015). A pulverização foi acionada com ar comprimido e mantida a pressão constante de 289,6 KPa. Dessa maneira, o jato de calda atravessou transversalmente o feixe de laser, e as leituras de diâmetro mediano volumétrico (DMV), porcentagem de volume em gotas menores que 100 µm (V%<100) e o coeficiente de uniformidade (Span) são realizadas. Essas variáveis foram mensuradas para as pontas de pulverização de jato plano TP 11004 (safra 2018-19) e XR 11004 (safra 2019-20).

2.3.2. Angulação da barra pulverizadora

A localidade experimental possui altitude aproximada de 615 metros em clima Cwa, segundo a classificação de Koppen (Koppen e Geiger, 1928). O primeiro experimento foi conduzido durante a safra 2018/19, onde a precipitação total, a temperatura e a umidade relativa média durante a condução do estudo foram 721,7

mm, 24,4 °C e 73,3%, respectivamente. Para o experimento conduzido na safra 2019/20 os dados foram 833,7 mm, 24,0 °C e 75,5%, respectivamente, ambos no período de dezembro a março.

Os tratamentos avaliados foram quatro caldas fungicidas, já descritas no experimento de caracterização de caldas, combinadas com três angulações da barra pulverizadora: 30° a favor do deslocamento do pulverizador (F30°), plano vertical da cultura (0°) e 30° contrário ao deslocamento do pulverizador (B30°), além de um tratamento adicional como testemunha não tratada.

A fim de obter os dados durante bom desenvolvimento da ferrugem asiática, os experimentos um e dois foram semeados de forma tardia, mas ainda no período recomendada ao plantio, nos dias 28 de novembro de 2018 e 16 de dezembro de 2019 respectivamente, com emergência nos dias 03 e 21 de dezembro dos respectivos anos. Em ambos os experimentos foi semeada a variedade Monsoy 7739 IPRO, suscetível a ferrugem asiática, com 16 sementes por metro. A adubação de base constou em aplicação da formulação comercial 04-20-20 na quantidade de 500 kg ha⁻¹ no experimento um e 350 kg ha⁻¹ no experimento dois, conforme a indicação de análise do solo, ambas no sulco de semeadura. O controle de plantas daninhas e insetos foi realizado conforme indicações técnicas da cultura. As parcelas do experimento um foram constituídas de sete linhas de cinco metros de comprimento (17,5 m²), sendo consideradas para a área útil da parcela as cinco linhas centrais desprezando-se meio metro de cada extremidade (10,0 m²). Para o experimento dois foram utilizadas seis linhas de 10 metros de comprimento (30,0 m²) e, utilizando o mesmo critério da safra anterior, a área útil considerada foi de 18,0 m² (Figura 1A). Para a quantificação do depósito de pulverização, foram coletados quatro folíolos em cada parcela de cada altura das plantas, representando os terços superior, médio e inferior, aproximadamente 60 minutos após a aplicação na primeira aplicação de cada safra (Figura 1 B).

As aplicações dos tratamentos foram realizadas em intervalos aproximados de 10 dias para a safra 2018/19 e 7 dias para a safra 2019/20 (Tabela 1). Foi utilizado um termo-higroanemômetro digital LM 8000A (Lutron®) para o monitoramento das condições meteorológicas a cada tratamento aplicado.

O equipamento utilizado foi um pulverizador montado (quadriciclo Honda® 4x4) pressurizado com CO₂, dotado de barra com seis pontas de pulverização (descritas nas análises de tamanho de gota) a 310,3 KPa de pressão e velocidade de 12,5 km h⁻¹, aplicando um volume de calda de 150 L ha⁻¹.



Figura 1. Aplicação das formulações de fungicidas (A). Coleta de folíolos nos terços superior, médio e inferior para avaliação de depósito dos produtos (B).

Tabela 1. Amplitude das condições meteorológicas durante as cinco aplicações realizadas nas safras 2018-19 e 2019-20.

Safr	Aplicação	Momento (DAE ¹)	Temp. ² (°C)	U.R. ³ (%)	Vento ⁴ (km h ⁻¹)
2018/19	1	50	28,2 – 31,3	63 - 74	2,0 - 6,5
	2	61	34,3 - 37,6	40 - 52	2,0 - 6,5
	3	72	23,6 - 25,4	79 - 84	0,0 - 5,5
	4	81	32,4 - 34,7	57 - 64	0,7 - 7,7
	5	94	33,1 - 35,0	52 - 50	4,0 - 4,5
2019/20	1	55	26,7 - 28,8	60 - 63	1,4 – 3,5
	2	62	30,0 - 33,7	46 - 59	3,3 - 10,4
	3	69	27,8 - 34,4	60 - 70	0,0 - 3,5
	4	75	25,2 - 27,4	52 - 66	2,7 - 7,4
	5	82	30,3 - 32,3	48 - 52	1,1 - 8,7

¹DAE= dias após emergência; ²Temp.= temperatura; ³U.R.= umidade relativa; ⁴Velocidade média do vento.

Os folíolos foram acondicionados em sacos de plástico e posteriormente foi adicionado uma solução 0,2N de HCl (50 mL) para a extração do cobre (oxicloreto de cobre) e do manganês (mancozebe) e assim mantidos por 60 min em repouso para extração dos elementos da superfície dos folíolos (Machado-Neto e Matuo, 1989; Oliveira e Machado-Neto, 2003). Em seguida as amostras foram filtradas e, com o uso

da curva de calibração obtida por meio de soluções-padrão, foram analisadas utilizando um espectrofotômetro de emissão atômica (PerkinElmer Optima 8000®), obtendo-se a concentração de íons de cobre e manganês presente na solução. Foi aferida a área foliar real das amostras através do método do integrador eletrônico de superfície (LI-3100C Area Meter®) (Silva et al., 2008). As concentrações obtidas nas leituras do espectrofotômetro foram correlacionadas às áreas foliares medidas, resultando nas quantidades de Cu^{2+} e Mn^{2+} expressa em $\mu\text{g cm}^{-2}$. Após esse cálculo, de posse da concentração inicial de íons presentes em cada produto e do volume de aplicação, os dados foram convertidos à μL de calda cm^{-2} .

As avaliações para determinação da severidade da ferrugem asiática foram iniciadas após a primeira aplicação e realizadas em intervalos de aproximadamente 7 e 4 dias para as safras 2018-19 e 2019-20, respectivamente, totalizando 6 avaliações para a primeira safra e 7 avaliações para a segunda. Utilizou-se notas visuais do percentual de área foliar com sintomas da doença, em relação a área sadia da planta, a partir do aparecimento dos sintomas na testemunha, com auxílio da escala diagramática (Godoy et al., 2006). Os dados de severidade foram utilizados para o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) através da equação: $\text{AACPD} = \sum [(y_1 + y_2)/2] \cdot (t_2 - t_1)$, na qual y_1 e y_2 são duas avaliações consecutivas realizadas nos tempos t_1 e t_2 (Campebell e Madden, 1990).

Para avaliação de produtividade a soja foi colhida manualmente, considerando as duas linhas centrais e 4 metros de comprimento dentro de cada parcela. A produção foi acondicionada em sacos de papel previamente identificados e levados para o laboratório para pesagem. A umidade dos grãos foi determinada por um medidor de umidade de grãos G650i (Gehaka®) e os dados de pesagem de cada parcela foram corrigidas para 13%. Posteriormente, os valores corrigidos foram transformados para produtividade em kg ha^{-1} .

2.3.3. Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à Análise Multivariada, onde inicialmente os dados foram padronizados subtraindo do valor de cada observação o valor médio da variável, seguida pela divisão do resultado pelo desvio padrão do conjunto de dados da variável. Com os dados padronizados, utilizou-se a análise de

componentes principais (ACP) para verificar a influência dos produtos sobre as variáveis estudadas descritas a seguir: tensão superficial (TS), ângulo de contato (AC), coeficiente de uniformidade (Span), porcentagem de volume de gotas menores que 100 micrometros ($V\% < 100$), diâmetro mediano volumétrico (DMV), condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), depósito nos terços superior, médio e inferior (DEP-S, DEP-M e DEP-I), respectivamente, e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). A análise de agrupamentos foi feita pelo método de ligação completa para verificar o comportamento das angulações. Utilizando o delineamento experimental em blocos ao acaso com 4 repetições e esquema fatorial $4 \times 3 + 1$ (Produtos vs. Angulações e uma testemunha não tratada), os dados de AACPD e produtividade das duas safras foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). A relação das condições meteorológicas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (UR%) e velocidade do vento em (km h^{-1}) no momento da aplicação com o depósito de produtos em cada angulação foi verificada pela correlação linear de Pearson.

2.4. Resultados e Discussão

Para verificar o efeito dos produtos nas variáveis analisadas em laboratório (caracterização das caldas fungicidas) e a campo (aplicação dos fungicidas) foi realizada a análise dos componentes principais para as safras 2018-19 e 2019-20.

Para a safra 2018-19 (Figuras 2A e 2B) as variáveis dispostas nas duas principais componentes explicaram cerca de 89% da variabilidade total dos dados. A componente caracterização da calda oferece a maior explicação da variância do total neste estudo, isto é, mais de 53% (Figura 2A). As variáveis que contribuíram nesta componente e seus auto-valores foram: tensão superficial (TS; 0,98), ângulo de contato (AC; 1,00), coeficiente de uniformidade (Span; 0,99), porcentagem de volume de gotas menores que 100 micrometros ($V\% < 100$; 0,98) e diâmetro mediano volumétrico (DMV; 0,97).

A componente campo explicou 36%, sendo as variáveis que contribuíram para esta componente: condutividade elétrica (CE; 0,89), depósito nos terços superior,

médio e inferior (DEP-S; 0,82, DEP-M; 0,98 e DEP-I; 0,92) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).

As variáveis DEP-M e DMV estão agrupadas no quadrante I juntamente com a AACPD, dessa maneira, pode-se dizer que a AACPD é influenciada positivamente por essas variáveis (Figura 2A). A variável DEP-S está localizada exatamente em posição oposta à AACPD (quadrante III), exercendo influência negativa nesta variável. As demais variáveis, apesar de grande representatividade no experimento, não exerceram influência direta sobre a AACPD, uma vez que se encontram distribuídas nos demais quadrantes (Figura 2A).

O mancozebe na formulação óleo dispersível (MCZ-OD) influenciou positivamente na AACPD e nas variáveis que estavam localizadas no mesmo quadrante (Figura 2B). O produto oxicleto de cobre na formulação pó molhável (OCC-WP) exerceu influência negativa na AACPD, pois está localizado no quadrante oposto à esta variável (quadrante III). Já o oxicleto de cobre na formulação suspensão concentrada (OCC-SC) não influenciou nenhuma variável estudada nesta safra (Figuras 2A e 2B – quadrante II).

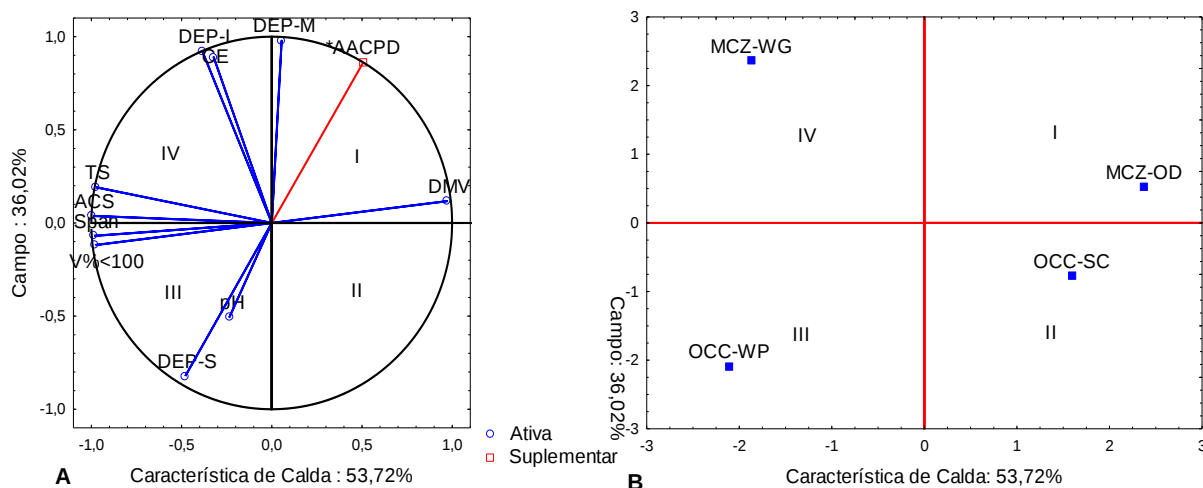


Figura 2. Análise de componentes principais para as variáveis no círculo de correlações com a área abaixo da curva de progresso da doença (A) e o efeito dos produtos sobre as variáveis (B) para a safra 2018-19.

Legenda: pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; TS = tensão superficial; AC = ângulo de contato; DMV = diâmetro mediano volumétrico; V%<100 = porcentagem de volume de gotas menores que 100 μm ; Span = coeficiente de uniformidade; DEP-S = depósito no terço superior; DEP-M = depósito no terço médio; DEP-I = depósito no terço inferior; AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença; PROD = produtividade; OCC SC = oxicleto de cobre em formulação suspensão

concentrada; OCC WP = oxicleto de cobre em formulação pó molhável; MCZ-OD = mancozebe em formulação óleo dispersível e MCZ-WG = mancozebe em formulação grânulo dispersível.

Para a safra 2019-20 (Figura 3A e 3B) a componente caracterização da calda explicou 53% do total da variância, com a contribuição das variáveis: TS (0,85), AC (0,84), V%<100 (0,99), DMV (0,90), DEP-M (0,71) e DEP-I (0,95). A componente campo explicou 28,4%, sendo as variáveis que contribuíram para essa componente: CE (0,77), Span (0,88), DEP-S (0,71) e AACPD (0,99). Portanto, as variáveis resumiram 81,4% da variabilidade encontrada neste experimento nessas duas componentes.

De forma semelhante ao experimento conduzido na safra 2018-19, o DMV exerceu influência positiva na AACPD e o DEP-S influência negativa e, entre os produtos, o MCZ-OD mais uma vez exerceu influência positiva nesta variável (Figuras 3A e 3B - quadrante III). Nesta safra, a variável DEP-M se agrupou com as demais variáveis em outros quadrantes, onde os produtos também exerceram influência de maneira variada.

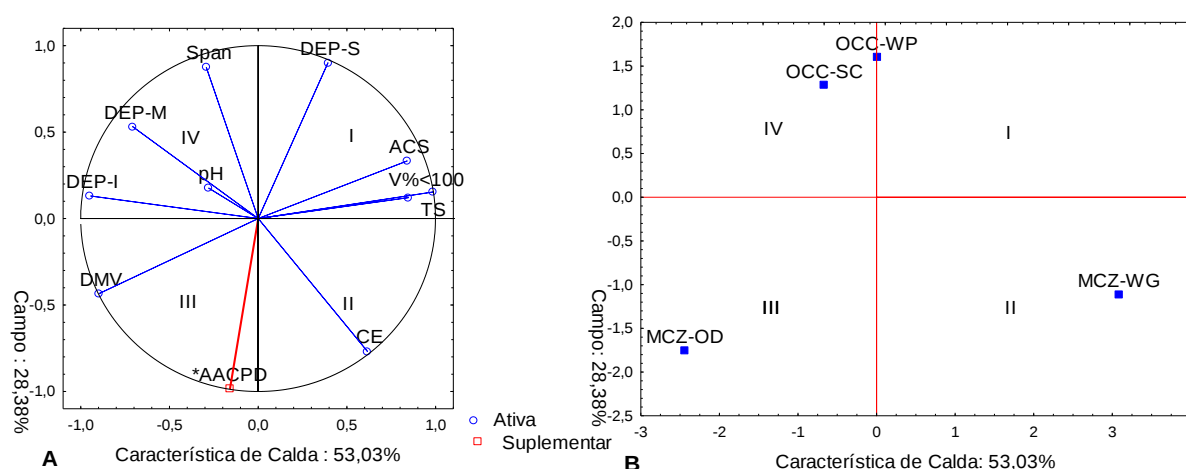


Figura 3. Análise de componentes principais para as variáveis no círculo de correlações com a área abaixo da curva de progresso da doença (A) e o efeito dos produtos sobre as variáveis (B) para a safra 2019-20.

Legenda: pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; TS = tensão superficial; AC = ângulo de contato; DMV = diâmetro mediano volumétrico; V%<100 = porcentagem de volume de gotas menores que 100 μ m; Span = coeficiente de uniformidade; DEP-S = depósito no terço superior; DEP-M = depósito no terço médio; DEP-I = depósito no terço inferior; AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença; PROD = produtividade; OCC SC = oxicleto de cobre em formulação suspensão concentrada; OCC WP = oxicleto de cobre em formulação pó molhável; MCZ-OD = mancozebe em formulação óleo dispersível e MCZ-WG = mancozebe em formulação grânulo dispersível.

Visto que o diâmetro mediano volumétrico influenciou positivamente na AACPD, fica claro que conhecimento das gotas de uma aplicação fitossanitária é um fator de grande importância para atingir o alvo biológico com eficácia. Gotas finas são mais facilmente carregadas pelo vento e mais propensas a evaporação, sendo menos seguras do ponto de vista ambiental (Viana et al., 2008). Em contrapartida, proporcionam uma cobertura do alvo maior e mais uniforme, sendo indicadas para aplicação de fungicidas (Cunha et al., 2006; Tomen et al., 2012), principalmente os protetores de contato, que necessitam de maior uniformidade de depósito para o controle dos fitopatógenos. Esta maior cobertura ocorre devido ao acréscimo do número de gotas ser de terceira potência, ou seja, para um mesmo volume de aplicação, quando reduzimos um determinado tamanho de gotas pela metade, por exemplo, de 200 para 100 μm , significa produzir oito vezes mais gotas, se considerássemos todas as gotas do mesmo tamanho. Entretanto, como se trata do diâmetro da mediana do volume (DMV), como gotas maiores deslocam o diâmetro para maior, para se obter um valor da metade do anterior, via de regra a quantidade de gotas menores que o DMV deve aumentar à uma razão ainda maior que a cúbica. Neste caso, mesmo que ocorra uma certa perda de volume em gotas pequenas, por deriva ou por evaporação, a cobertura comumente permanece maior do que a obtida por gotas maiores, dado o aumento do número de gotas maior que polinomial de terceiro grau.

A utilização de gotas de diâmetro de 101 a 200 μm geralmente proporcionam maior penetração pelo dossel da cultura, e conseqüentemente acarretam maior cobertura na parte inferior da planta (Viana et al., 2008; Cunha et al., 2006; Chechi et al., 2020). O controle de ferrugem asiática da soja por diferentes pontas de pulverização, apontam à eficiência de penetração de gotas finas, demonstrada pelo menor número de urédias no terço inferior da cultura, após as aplicações de fungicida (Nascimento et al., 2009). A deposição de calda em pulverização terrestre, com várias pontas, em cultivares de soja no estágio R1, não resultou em bom desempenho no uso de gotas finas para a parte basal das plantas (Farinha et al., 2009). Porém, como visto neste trabalho, isto depende de diversos fatores, como a meteorologia no momento das aplicações.

As gotas grossas são menos susceptíveis à deriva e carregam uma maior quantidade de ingrediente ativo, podendo escorrer ou se espalhar (Hilz e Vermeer, 2013). Diferentes equipamentos de aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem asiática, resultaram em menor depósito de gotas nos terços mediano e inferior do dossel, pelas pontas que produziram gotas grossas (Ozkan et al., 2006). Esse tamanho de gota pode comprometer a cobertura do alvo e essa distribuição desuniforme das gotas proporcionar baixa eficácia no controle de doenças (Cunha et al., 2006). Isso pode ter acontecido neste estudo, uma vez que gotas maiores podem ter se depositado na parte superior da cultura, sem penetrar à parte inferior, onde também há infecção da doença.

Na safra 2018-19 o produto OCC-WP diferenciou-se dos demais com a maior AACPD (controle da ferrugem em 31,6%) e uma produtividade inferior ao produto MCZ-OD (Figura 4A).

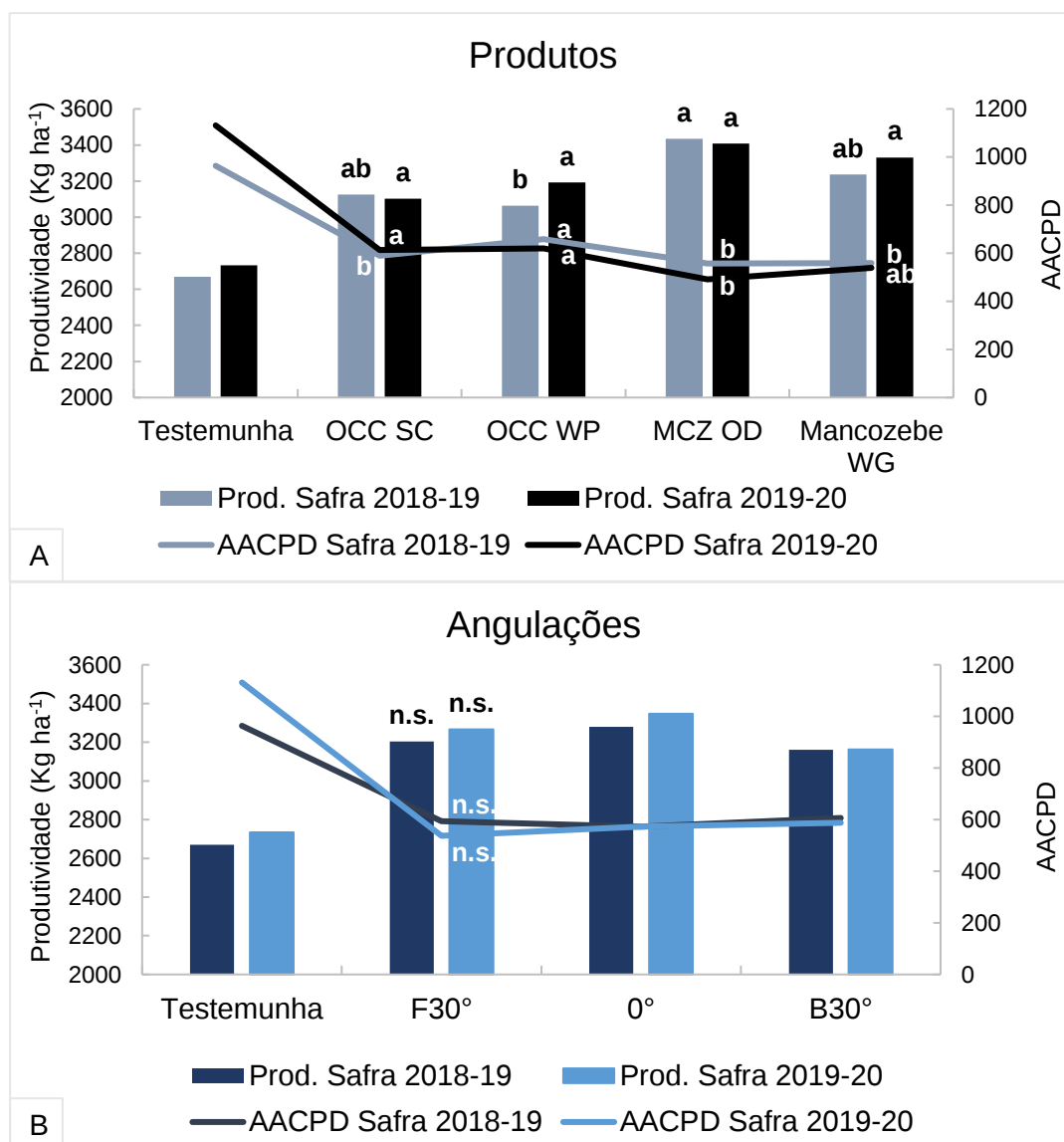


Figura 4. Produtividade (Prod.) em Kg ha⁻¹ e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) nas safras 2018-19 e 2019-20. As letras referem-se à comparação entre os produtos (A) e angulações (B) e, quando iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de ($p < 0,05$). Coeficientes de variação (CV%) para produtividade e AACPD na safra 2018-19 foram 9,8 e 7,0, respectivamente e na safra 2019-20 foram 9,3 e 14,5, respectivamente. Coeficiente de correlação de 90% ($R = -0,90$) entre produtividade e AACPD.

Legenda: OCC SC = oxicleto de cobre em formulação suspensão concentrada; OCC WP = oxicleto de cobre em formulação pó molhável; MCZ-OD = mancozebe em formulação óleo dispersível e MCZ-WG = mancozebe em formulação grânulo dispersível. Angulações F30° = sentido do deslocamento do equipamento; 0° = vertical e B30° = sentido oposto ao deslocamento do equipamento.

Portanto, entre as formulações de oxiclreto de cobre, o produto OCC-SC apresentou melhor desempenho e, entre as formulações de mancozebe não houve diferença.

Para a safra 2019-20, os dois produtos à base de mancozebe obtiveram menores valores de AACPD, apresentando controle de 49,0% e 44,0%, para o MCZ-OD e MCZ-WG, respectivamente. Contudo, não houve diferença de produtividade entre os produtos. Deste modo, as formulações de oxiclreto de cobre se comportaram de maneira semelhante entre si, e isso também aconteceu para as formulações de mancozebe.

As angulações estudadas neste trabalho não resultaram em diferença para a AACPD e para a produtividade (Figura 4B), possibilitando a escolha entre qualquer uma delas.

Este estudo também relevou alto grau de dependência entre as variáveis AACPD e produtividade, uma vez que apresentaram correlação negativa de -0,90.

Uma vez que o produto MCZ-OD influenciou positivamente na AACPD, geralmente, formulações que contem alta concentração de óleos emulsionáveis, como é o caso do produto MCZ-OD, podem influenciar o desempenho da aplicação, reduzindo a quantidade de gotas finas, o que reduz diretamente à deriva, possibilitando que o produto atinja o alvo (Hilz et al., 2012). Emulsões também aumentam a velocidade da gota, aumentando a probabilidade de impacto e aumentando também a uniformidade do espectro, enquanto formulações WG, WP e SC se esperada efeito semelhante a água, uma vez que possuem partículas não deformáveis, o que não causa influência no processo de pulverização (Hilz et al., 2012). Porém devido a formulação SC ser líquida, a adição de componentes emulsionáveis ou surfactantes é comum, sendo capazes de alterar a distribuição do tamanho de gotas, podendo ser bastante eficientes na redução de deriva, assim como em formulações de óleo dispersível em água (Hilz e Vermeer, 2013).

Nas formulações de produtos fitossanitários, principalmente as líquidas, é comum a presença de aditivos que influenciam tanto nos custos de desenvolvimento, processo de fabricação, teores na composição dos produtos comerciais e na aplicação, tendo em vista sua influência no molhamento da superfície foliar, retenção do produto na superfície tratada, na absorção do líquido pela superfície foliar, na

ativação dos produtos e visando manter o efeito biológico esperado (Decaro Junior et al., 2015; Calore et al., 2015). Isso pode explicar o efeito melhor das formulações líquidas deste estudo, uma vez que em mesma concentração (oxicloreto de cobre) ou mesmo em concentrações menores (MCZ-OD), as formulações resultaram em bom controle da ferrugem asiática para fungicidas multissítios, mesmo com alta incidência da doença.

Para analisar o efeito das angulações estudadas a campo, foi realizada uma análise de agrupamento pelo método de ligação completa para verificar quais angulações se comportaram de forma semelhante em cada safra.

No dendrograma podemos verificar que na safra 2018-19 (Figura 5A) foi formado um grupo abaixo da distância euclidiana na qual a angulação da barra pulverizadora voltada para o sentido do deslocamento do equipamento (F30°) e a angulação voltada para o sentido oposto ao deslocamento do equipamento (B30°) se comportaram de maneira semelhante, devido à proximidade observada do grupo I.

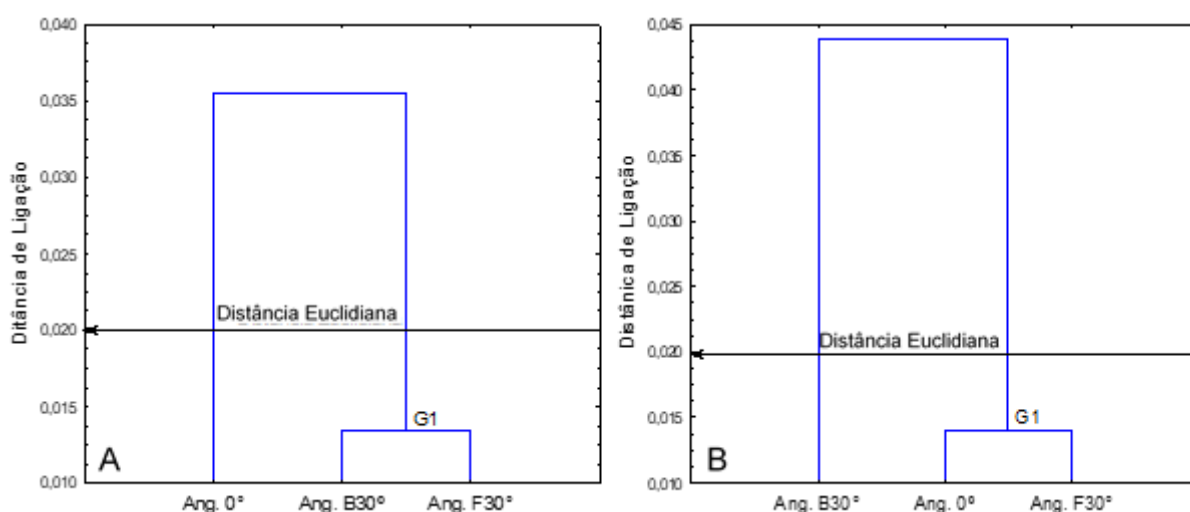


Figura 5. Dendrograma representando os grupos formados pelas angulações: F30° (no sentido do deslocamento do equipamento), 0° (em relação a vertical) e B30° (no sentido oposto ao deslocamento do equipamento) para as safras 2018-19 (A) e 2019-20 (B).

Já na safra 2019-20 (Figura 5B) não foi observado o mesmo comportamento, uma vez que as angulações que se agruparam foram a F30° e a 0° (vertical em relação ao plano da cultura). Apesar de a angulação F30° aparecer com maior frequência em resultados positivos, como as angulações se comportaram de maneira diferente nas

duas safras, não é possível afirmar que esta é a angulação mais adequada para os produtos aplicados nesse estudo.

Visto que as angulações não resultaram em efeito de controle da ferrugem asiática e produtividade e, os agrupamentos entre as angulações tenham sido diferentes entre as safras, não é possível indicar uma angulação mais eficiente baseado neste estudo. Em avaliação da deposição da calda de pulverização em função da densidade populacional de *Brachiaria plantagínea*, do volume e do ângulo de aplicação, a modificação do ângulo de pulverização, tanto para o sentido do deslocamento do equipamento ou para o sentido oposto, proporcionou maiores porcentagens de depósito nas plantas, semelhante ao resultado obtido na condução da safra 2018-19 (Tomazella et al., 2006).

A pulverização na cultura da batata em função da assistência de ar e o ângulo da barra pulverizadora, apresentou maiores depósitos na parte inferior da cultura com a barra posicionada a 0° e a F30° (no sentido do deslocamento do pulverizador) com assistência de ar. Porém, a aplicação sem assistência de ar apresentou melhores depósitos na parte inferior da cultura obtidos pela angulação B30° e F30° (Scudeler e Raetano, 2006). Contudo, há estudos mostrando que em condições diferentes de aplicação, há diferentes respostas quanto a melhor angulação da barra pulverizadora (Christovam et al., 2010; Christovam et al., 2018), o que também foi encontrado neste estudo.

A fim de verificar a relação existente entre as condições meteorológicas no momento das aplicações e o depósito de produto encontrado em cada parte da planta, foi feita uma correlação entre estas variáveis.

Para a safra 2018-19 verificou-se uma correlação positiva entre a umidade relativa (U.R.) e o depósito dos produtos na parte inferior da planta (DEP-I) para as três angulações (Figuras 6A, 6B e 6C), ou seja, quanto maior a umidade relativa, maior foi o depósito dos produtos nessa parte da planta. A temperatura (Temp.) teve influência negativa sobre o depósito nesta parte da planta para as angulações 0° e B30° (Figuras 6B e 6C).

Nas angulações F30° e 0° (Figura 6A e 6B) houve uma influência positiva da temperatura no depósito do terço superior (DEP-S) e uma influência negativa da U.R. neste terço. O oposto ocorreu para o depósito no terço médio (DEP-M) na angulação

0° (Figura 5B), uma vez que ocorreu uma correlação positiva da temperatura e negativa da U.R.

A velocidade média do vento (vento) influenciou negativamente o DEP-I na angulação F30° (Figura 6A) e positivamente o DEP-S na angulação 0° (Figura 6B).

Já na safra 2019-20 (Figura 6D, 6E e 6F) houve menor quantidade de correlações significativas comparado a safra 2018-19 (Tabela 1). A temperatura exerceu influência negativa no DEP-S. Para a U.R. a influência foi positiva à angulação F30° (Figura 6D). De forma oposta, na angulação B30° (Figura 6F) a temperatura se correlacionou positivamente com o DEP-M. A U.R. se correlacionou negativamente com este terço. Já o vento teve influência negativa no DEP-I nesta mesma angulação.

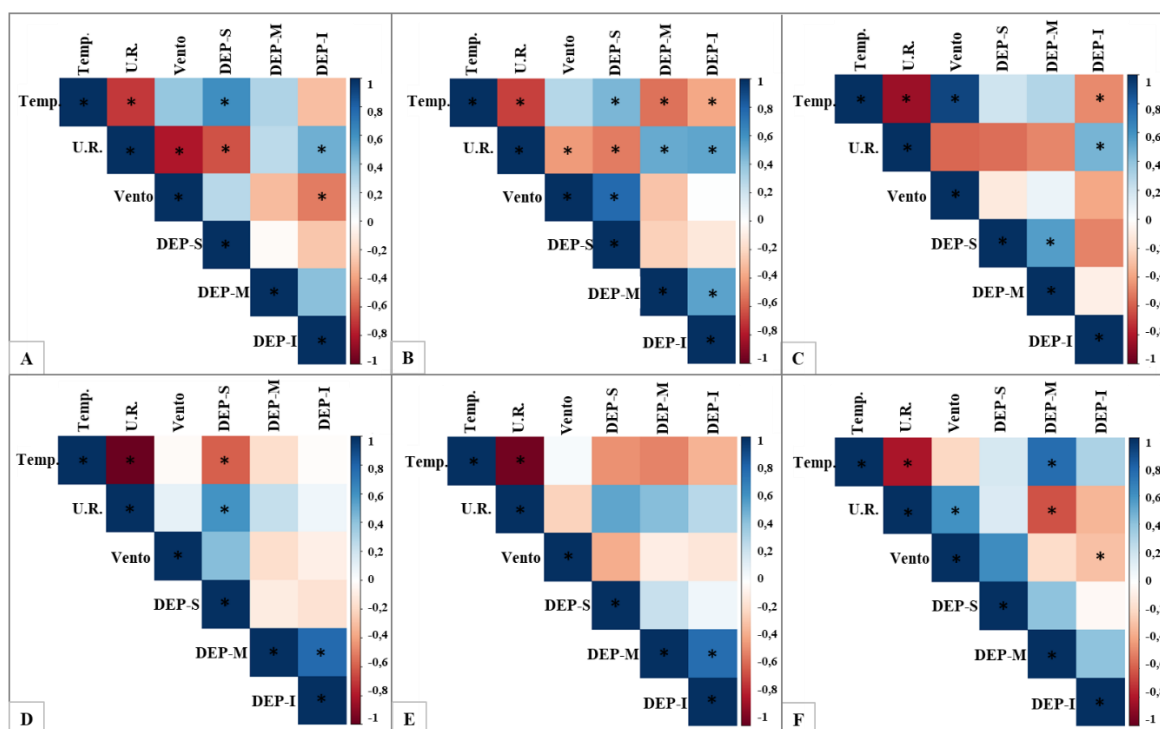


Figura 6. Correlação linear de Pearson para as variáveis temperatura média (Temp.), umidade relativa (U.R.), vento, depósito nos terços superior médio e inferior, respectivamente (DEP-S, DEP-M e DEP-I), para a safra 2018-19 nas angulações F30° (A), 0° (B) e B30° (C), e para a safra 2019-20 também nas angulações F30° (D), 0° (E) e B30° (F). O nível de significância adotado foi de ($p < 0,05$) representado pelo asterisco.

A diferença encontrada na quantidade de correlações entre as duas safras pode ser explicada pelas próprias condições meteorológicas durante as aplicações. De maneira geral, as condições limites para uma pulverização são umidade relativa

mínima de 55%; velocidade do vento de 3 a 10 km h⁻¹; temperatura abaixo de 30° C (Andef, 2004; Antuniassi, 2012). Portanto, durante a aplicação na safra 2018-19 a temperatura estava ligeiramente elevada, e para a safra 2019-20 o vento encontrava-se abaixo do recomendado. Uma vez que as angulações não apresentaram um comportamento padrão durante as duas safras, não houve correlação com os efeitos das condições meteorológicas sobre elas.

A relação positiva entre a umidade relativa e o depósito na parte inferior e, a relação negativa entre a temperatura e este mesmo terço favoreceram o depósito dos fungicidas neste terço. A umidade relativa baixa e temperaturas altas podem evaporar o produto pulverizado, que serão carregados pelos movimentos atmosféricos, precipitando apenas quando se liquefazem novamente, com o aumento da umidade, caindo sobre lugar incerto (Andef, 2004; Antuniassi e Baio, 2008).

A relação negativa entre a velocidade média do vento e o depósito na parte inferior da soja pode ser explicada devido a possibilidade das gotas menores, que possuem maior capacidade de atravessar o dossel da cultura, terem sido arrastadas pelo vento. Ventos com velocidades altas arrastam as gotas pulverizadas para além das áreas alvos resultando na deriva do produto. Porém, pulverizações com ausência de vento não são recomendáveis, pois pode haver inversão térmica e formação de correntes ascendentes, que elevarão as gotículas ao invés de propiciar sua precipitação sobre a lavoura em tratamento (Andef, 2004; Antuniassi e Baio, 2008).

Aplicações em condições agrometeorologias distintas, resultaram depósitos menores ao aplicar com gotas finas em condição meteorológica limitante, em relação a condições ideais para a aplicação (Nuytens et al., 2011; Nascimento et al., 2012). Para as gotas grossas, não houve diferença entre as duas condições, uma vez que são menos influenciadas por condições adversas. Pontas de pulverização com indução de ar produzem gotas maiores e reduzem drasticamente a deriva (Griesang et al., 2017), mas requerem atenção quanto à cobertura esperada. Dessa maneira, as condições meteorológicas nos horários do dia em que a aplicação é realizada podem influenciar tanto na eficiência da aplicação quanto na eficácia de controle de coberturas vegetais (Almeida et al., 2014).

2.5. Conclusões

O produto MCZ-OD apresentou o melhor controle da ferrugem asiática nesse estudo.

A utilização de formulações líquidas apontou melhor desempenho em relação às sólidas.

O tamanho de gota utilizado em aplicações de fungicidas multissítios influencia o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja.

A temperatura, a umidade relativa e a velocidade média do vento influenciam no depósito dos fungicidas na parte inferior do dossel da cultura da soja.

Estudos que considerem as variações que influenciam nos resultados da angulação da barra pulverizadora devem ser aprofundados, visto a divergência de resultados relacionados a este assunto.

2.6.Referências

Almeida DP, Timossil PC, Lima SF, Silva UR, Reis EF (2014) Condições atmosféricas e volumes de aplicação na dessecação de *Urochloa ruziziensis* e vegetação espontânea. **Revista Brasileira de Herbicidas** 13: 245-251.

Andersen PG, Jorgensen MK, Taylor WA (2000) Hardi Twin Assistance for field crop sprayers – The status after 10 years in use. **Hardi International Application Technology Course** 1: 138-144.

Antuniassi UR, Baio FHR (2008) Tecnologia de aplicação de defensivos. In: Leandro Vargas Erivelton Scherer Roman. (Org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo/RS, p. 173-212.

Antuniassi UR (2012) **Tecnologia de aplicação: conceitos básicos, inovações e tendências**. FCA/UNESP, Botucatu, São Paulo.

Andef - Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Campinas, p.49 (2004).

Ávila MR, Albrecht LP (2010) **Isoflavonas e a qualidade das sementes de soja.** *ABRATES* 20:15-29.

Bezerra ARG, Sediyaama T, Borém A, Soares MM (2015) Importância econômica. In: **Soja: do plantio à colheita**, ed by Sediyaama T, Borém A, Soares MM, UFV, Viçosa, p. 9-26.

Calore RA, Ferreira MC, Galli JC (2015) Efeitos de adjuvantes no controle de *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: trypidae) na cultura do amendoim. **Revista Brasileira Ciências Agrárias** 10: 74-81.

Campbell CL, Madden LV (1990) **Introduction to plant disease epidemiology.** New York NY. John Wiley & Sons.

Chechi A, Roehrig R, Piton B, Ribeiro da Luz M, Deuner CC, Forcelini CA, & Boller W (2020) The combined use of spray volumes and droplet sizes in the chemical control of Asian soybean rust in cultivars with different leaf area indices. **Crop Protection**, doi:10.1016/j.cropro.2020.105212.

Christovam RS, Raetano CG, Aguiar Junior HO, Dal Pogetto MHA, Prado EP, Gimenes MJ, Kunz VL (2010) Assistência de Ar em Barra Pulverização no Controle de Ferrugem Asiática na Soja, **Bragantia**, 69: 231-238.

Christovam RS, Raetano CG, Leite LAI, Prado EP, Dal Pogetto, MHFA (2018) Diferentes técnicas de pulverização sobre o depósito de gotas na cultura do trigo. **Revista de Agricultura Neotropical**, 5: 41-46.

Costa LL, Ferreira MC, Campos HBN, Carvalho GGF, Barbosa JC (2015) The mixture volume sprayed by hydraulic and centrifugal energy nozzles for the control of Asian soybean rust. **Acta Scientiarum Agronomy** 37: 425-433.

Cunha JPAR, Alves GS, Marques RS (2017) Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica** 30: 950-957.

Cunha JPAR, Juliatti FC, Reis EF (2014) Tecnologia de aplicação de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja: resultados de oito anos de estudos em minas gerais e goiás. **Bioscience Journal** 30: 950-957.

Cunha JPAR, Reis EF, Santos RO (2006) Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. **Ciência Rural** 36: 1.360-1366.

Decaro Junior ST, Ferreira MC, Lasmar O (2015) Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. **Engenharia Agrícola**, 35: 588-600.

Farinha JV, Martins D, Costa NV & Domingos VD (2009) Deposição da calda de pulverização em cultivares de soja no estádio R1. **Ciência Rural** 39:1738-1744.

Ferreira MC, Lasmar O, Decaro Junior RST, Neves SS, Azevedo LH (2013) Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal** 29: 1431-1440.

Godoy CV, Koga LJ, Canteri MG (2006) Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira** 31: 63-68.

Griesang F, Decaro RA, Santos CAM, Santos ES, Roque NHL, Ferreira MC (2017) How Much Do Adjuvant and Nozzles Models Reduce the Spraying Drift? Drift in Agricultural Spraying. **American Journal of Plant Sciences** 8: 2785-2794.

Hilz E, Vermeer AVP, Leermakers FAM, Cohen Stuart MA (2012) Spray drift: how emulsions influence the performance of agricultural sprays produced through a conventional flat fan nozzle. In: International Advances in Pesticide Application. **Aspects of Applied Biology** 114.

Hilz E, Vermeer AWP (2013) Spray drift review: the extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection** 44: 75-83.

Koppen W, Geiger R (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes.

Machado-Neto JG, Matuo T (1989) Avaliação de um amostrador para estudo da exposição dérmica de aplicadores de defensivos agrícolas. **Ciência Agrônômica** 4: 22.

Nascimento BA, de Oliveira GM, Balan MG, Higashibara LR, Abi-Saab OJG (2012) Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de

pulverização e horário de aplicação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias** 5: 105-116.

Nascimento JM, Souza CMA, Gavassoni WL, Bacchi LM & Fengler GW (2009) Controle de ferrugem asiática da soja utilizando-se diferentes pontas de pulverização em Maracaju-MS. **Ciências Técnicas Agropecuárias** 18:1-6.

Nuyttens D, De Shamphelre M, Baetens K, Brusselman E, Dekeyser D, Verboven P (2011) Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five-year study. **American Society of Agricultural and Biological Engineers** 54: 403-408.

Oliveira ML, Machado-Neto JG (2003) Use of tracer in the determination of respiratory exposure and relative importance of exposure routes in safety of pesticide applicators in citrus orchards. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 70: 415-421.

Ozkan HE, Zhu H, Derksen RC, Guler H, Krause C (2006) Evaluation of various spraying equipment for effective application of fungicides to control Asian soybean rust. In: International Advances in Pesticide Application. **Aspects of Applied Biology** 77.

Prado EP, Raetano CG, Dal Pogetto MHFA, Chechetto RG, Ferreira Filho PJ, Magalhães AC, Miasaki ST (2016) Effects of agricultural spray adjuvants in surface tension reduction and spray retention on Eucalyptus leaves. **African Journal of Agricultural Research** 40: 3959-3965.

Scudeler F, Raetano CG (2006) Spray deposition and losses in potato as a function of air-assistance and sprayer boom angle. **Scientia Agricola** 63: 515-521.

Silva AR, Leite MT, Ferreira MC (2008) Estimativa da área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. **Bioscience Journal** 24: 66-73.

Tomazella MS, Martins D, Marchi SR, Negrisoni E (2006) Avaliação da deposição de calda de pulverização em função da densidade populacional de *Brachiaria plantaginea*, do volume e do ângulo da aplicação. **Planta Daninha** 24: 183-189.

Tomazella MS, Martins D, Marchi SR, Negrisoni E, Avaliação da deposição de calda de pulverização em função da densidade populacional de *Brachiaria plantaginea*, do volume e do ângulo da aplicação. **Planta Daninha**, 24: 183-189.

Tormen NR, Silva FDL, Debortoli MP, Uebel JD, Dalla Fávera, D, Balardin RS (2012) Deposição de gotas no dossel e controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* na soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental** 16: 802-808.

Viana RG, Ferreira LR, Teixeira MM, Cecon PR, Souza GVR (2008) Deposição de gotas no dossel da soja por diferentes pontas de pulverização hidráulica e pressões de trabalho. **Engenharia na Agricultura** 16: 428-435.

Yorinori JT, Paiva WM, Frederick RD, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Godoy CV, Nunes Junior J (2005) Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease** 89: 675-677.

CAPÍTULO 3 – Depósito de formulações de fungicidas após a ocorrência de chuva artificial e o controle da ferrugem asiática da soja

RESUMO – A chuva é um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores em tratamentos fitossanitários. Interfere na retenção dos fungicidas na superfície vegetal que define a quantidade de ingrediente ativo restante para o controle de fitopatógenos. Contudo, o efeito de formulações de fungicidas protetores, a ocorrência de chuvas e o controle da ferrugem asiática da soja ainda são pouco estudadas. O objetivo desse estudo foi avaliar o depósito de diferentes formulações de fungicidas nas folhas após a ocorrência de chuva e seu efeito sobre o controle da ferrugem asiática da soja. Foram conduzidos dois experimentos durante as safras 2018/19 e 2019/20. Para o experimento A foi utilizado um delineamento inteiramente ao acaso (DIC) em esquema fatorial 4x5+1, cujos fatores foram: 4 caldas de formulações de fungicidas (oxicloreto de cobre SC na dosagem 1,0 L ha⁻¹, oxicloreto de cobre WP na dosagem 1,0 L ha⁻¹, mancozebe OD na dosagem 1,5 L ha⁻¹ e mancozebe WG na dosagem 1,5 L ha⁻¹; 5 volumes de chuva (0 mm - sem chuva, 5 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm), mais um tratamento adicional com testemunha. Após a aplicação das caldas, aguardou-se duas horas para a simulação da chuva em todos os tratamentos. O Experimento B também foi conduzido em DIC e esquema fatorial 4x5+1, com os seguintes fatores: 4 caldas já descritas; 5 intervalos entre a aplicação e a chuva (sem chuva, 2, 6, 12 e 24 horas), mais um tratamento adicional como testemunha. Foi utilizado um volume de 5 mm para todos os tratamentos. Foram avaliados os depósitos nas partes superior, média e inferior da cultura e a severidade da ferrugem asiática, utilizadas para cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença. Os dados foram submetidos à análise de variância e o teste de comparação de médias utilizado foi o teste de Tukey (p<0,05). Os volumes de chuva estudados influenciaram de maneira variada o depósito das formulações de fungicidas sobre os terços das plantas de soja. Entretanto, não influenciaram o controle da doença. Não houve remoção do produto oxicloreto de cobre SC sob nenhum volume de chuva artificial no terço superior da planta. Os intervalos entre a aplicação dos fungicidas e a chuva também influenciaram de maneira variada no depósito das formulações. Para o controle da ferrugem asiática influenciaram apenas para a safra 2018-19. Não houve remoção de ingrediente ativo das formulações líquidas para nenhum intervalo entre a aplicação e chuva. Porém, para as formulações sólidas, houve remoção para todos os intervalos entre a aplicação e a chuva, no terço superior. Conclui-se que o fungicida oxicloreto de cobre na formulação SC apresenta maior resistência à remoção do ingrediente ativo no terço superior da planta após ser submetido a chuva. A adição de adjuvantes em formulações líquidas as tornam mais resistentes à remoção de ingrediente ativo pela chuva. O volume de chuva maior aumenta a remoção dos ingredientes ativos. Mais estudos sobre a relação entre o depósito de produtos nas folhas e o controle dos patógenos após a chuva devem ser realizados.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*, fungicidas multissítios, tecnologia de aplicação, ingrediente ativo.

3.1. Introdução

O clima é um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores na atualidade, principalmente quanto a ocorrência de chuvas (Decaro et al., 2016). Predominantemente, nas principais regiões produtoras de soja do país, o clima é caracterizado por temperaturas elevadas, dias longos e índices pluviométricos altos durante o verão. A irregularidade dessas condições afeta diretamente o plantio, o desenvolvimento da cultura, a aplicação de insumos e a colheita (Antuniassi 2012).

As condições ideais para o cultivo dessa oleaginosa também constituem o ambiente propício para a reprodução e disseminação de insetos, plantas daninhas e doenças, principalmente a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* (Decaro et al., 2016; Araújo, 2020). As folhas infectadas por este fungo, com o passar do tempo, ficam amarelas, secas e caem, impedindo a completa formação dos grãos e, como consequência, causam perdas de até 90% da produção (Yorinori et al., 2005; Godoy et al., 2016).

Para o controle da ferrugem asiática a integração de diferentes estratégias manejos é essencial para evitar que a variabilidade do fungo ameace a estabilidade da produção da cultura. Portanto, o uso de fungicidas ainda é uma das estratégias mais usadas para o controle da doença. Ao longo da última década, houve redução na sensibilidade do fungo aos fungicidas sitio-específicos (triazóis, estrobilurinas e carboxamidas), resultando em menor eficácia de controle por estes (Schimitz et al., 2014, Klosowski et al., 2016, Godoy et al., 2020, Simões et al., 2018). Dessa maneira, a utilização de fungicidas não específicos ou multissítios, tornou-se ferramenta fundamental para o manejo da resistência em razão a multiplicidade de sítios de atuação destas moléculas nos patógenos (Mcgrath, 2004).

O modo de ação do fungicida interfere na sua capacidade de ser lavado pela chuva. A dinâmica de depósitos de fungicidas protetores é um dos fatores que determinam a maior ou menor eficiência do controle da doença. A formação de filme com depósito distribuído uniformemente na superfície foliar previne o estabelecimento de infecção, mas, por não penetrarem na planta, os fungicidas protetores estão sujeitos à remoção por chuva ou água de irrigação (Hunsche et al., 2007).

A ocorrência de chuva pode afetar a qualidade e a atividade dos produtos depositados sobre a folha por sua diluição, redistribuição e remoção física da superfície das plantas (Thacher e Young, 1999), influenciando a eficácia das aplicações (Ferreira et al., 2013; Stefanello et al., 2016). A água pode lavar os fungicidas da superfície foliar e essa perda depende de diversos fatores como duração da exposição, intervalo entre a aplicação do produto e o início da chuva, formulação do fungicida, solubilidade do ingrediente ativo em água, morfologia e fisiologia da cultura sobre o qual é aplicado (Cabras et al., 2001; Lenz, 2011). A aderência e a persistência dos fungicidas nas superfícies foliares das culturas sob a ação do clima, são os fatores principais que definem a quantidade de ingrediente ativo para o controle dos fitopatógenos (Rich, 1954).

Diversos estudos verificaram que a chuva afeta negativamente o residual dos produtos e também o controle das doenças após a aplicação de fungicidas em diferentes culturas (Hunsche et al., 2007, Debortoli, 2008, Oliveira et al., 2011, Pigati et al., 2010, Stefanello et al., 2016, Chechi, 2019 e Araújo, 2020).

A relação entre os aspectos pertinentes às formulações de fungicidas protetores, a ocorrência de chuvas e o controle da ferrugem asiática da soja ainda são pouco conhecidos no Brasil. Portanto, são necessários estudos que considerem e associem as variações que ocorrem, contribuindo para indicações mais assertivas, baseadas em dados de pesquisa acadêmica.

3.2. Objetivo

Avaliar o depósito de diferentes formulações de fungicidas nas folhas após a ocorrência de chuva e seu efeito sobre o controle da ferrugem asiática da soja.

3.3. Material e Métodos

3.3.1. Instalação dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos na safra 2018-19 e repetidos na safra 2019-20 no município de Jaboticabal/SP, em 21° 14' 23" de latitude sul; 48° 17' 20" de longitude oeste e 583 m de altitude.

Na safra 2018-19 as sementes de soja da cultivar Monsoy 7739 IPRO foram tratadas com fertilizante foliar (Enervig leg), tiametoxam (Cruiser), carboxina + thiram (Vitaxax Thiram) e inoculante à base de *Bradyrhizobium* (0,2 + 0,3 + 0,3 + 0,15 L 100 kg⁻¹ de sementes, respectivamente) e cultivadas em vasos de 5 litros contendo substrato à base de terra, areia e esterco bovino curtido na proporção 3:1:1. Foram semeadas seis sementes por vaso e, após a emergência, foram mantidas 3 plantas por vaso para a aplicação dos tratamentos. As plantas foram mantidas em ambiente aberto, em condições naturais e regas diárias (Figura 1A). Durante a condução, foram realizadas duas adubações no solo nos vasos com a formulação 4-14-8, aos 25 e 55 dias após a emergência (DAE), uma aplicação de fertilizante foliar (Torped Gold; dosagem de 1,5 L ha⁻¹) aos 45 DAE e uma aplicação de tiametoxam + lambda-cialotrina (Engeo Pleno; dosagem de 0,15 L ha⁻¹) aos 55 DAE.

Durante a safra 2019-20 as sementes de mesma cultivar foram tratadas com fertilizante foliar (Enervig leg), piraclostrobina + tiofanato metílico (Standak Top) e inoculante à base de *Bradyrhizobium* (0,2 + 0,2 + 0,15 L 100 Kg de sementes⁻¹, respectivamente) e cultivadas da mesma maneira que na safra anterior. Nesta safra, as plantas foram mantidas em casa de vegetação e irrigadas três vezes ao dia, durante 15 minutos (Figura 1B). Foi aplicado fertilizante na formulação 4-20-20, na semeadura e aos 33 DAE e aos 22 DAE aplicou-se fertilizante foliar + clorfenapir + clorantraniliprole (Torped Gold + Pirate + Prêmio) nas dosagens de 1,5 + 0,8 + 0,05 L ha⁻¹, respectivamente.



Figura 1. Condução dos vasos em ambiente aberto durante a safra 2018-19 (1A); condução dos vasos em casa de vegetação durante a safra 2019-20.

3.3.2 Experimento A – Volume de chuva

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso (DIC), em esquema fatorial $4 \times 5 + 1$, cujos fatores foram: 4 caldas já descritas, 5 volumes de chuva: 0 mm (sem chuva), 5 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm, mais um tratamento adicional como testemunha não tratada. Foram utilizadas 3 repetições durante a condução na safra 2018-19 e 4 repetições durante a safra 2019-20. Após a aplicação das caldas aguardou-se duas horas a secagem das folhas para a simulação da chuva.

3.3.3 Experimento B – Intervalo sem chuva

Para o experimento de intervalo sem chuva foi utilizado o delineamento experimental inteiramente ao acaso (DIC), também em esquema fatorial $4 \times 5 + 1$, cujos fatores foram: as mesmas quatro caldas, cinco intervalos entre a aplicação e a chuva artificial (sem chuva, 2, 6, 12 e 24 horas) e um tratamento adicional como testemunha não tratada. Foram utilizadas três repetições durante a condução na safra 2018-19 e na safra 2019-20 utilizou-se quatro repetições para as avaliações de depósito e duas repetições para as avaliações de severidade da doença, pois houve perda de identificação de uma quantidade de vasos. Para a simulação de chuva foi utilizado o volume de 5 mm para todos os tratamentos para a maior possibilidade de obter diferenças entre os tratamentos.

3.3.4. Aplicações e chuva artificial

As aplicações das formulações de fungicidas (Tabela 1) foram realizadas por um pulverizador montado (quadriciclo Honda® 4x4) pressurizado com CO₂, dotado de barra com três pontas de pulverização a 310,3 KPa de pressão e velocidade de 12,5 km h⁻¹, aplicando um volume de calda de 150 L ha⁻¹ (Figura 2A). As condições meteorológicas foram monitoradas a cada tratamento aplicado (Tabela 2), utilizando um termo-higroanemômetro digital LM 8000A (Lutron®).

Tabela 1. Formulações de fungicidas utilizadas para as aplicações nas safras 2018-19 e 2019-20.

Ingrediente Ativo	Nome Comercial	Sigla	Concentração (g i.a. L ou Kg ⁻¹)	Dosagem (L ou Kg ha ⁻¹)
Oxicloreto de cobre	Difere	OCC-SC ²	588	1,0
Oxicloreto de cobre	Reconil	OCC-WP ³	588	1,0
Mancozebe	OXI 0094ABF ¹	MCZ-OD ⁴	400	1,5
Mancozebe	Unizeb Gold	MCZ-WG ⁵	750	1,5

¹OXI 0094 ABF = produto codificado; ²SC = suspensão concentrada; ³WP = pó molhável; ⁴OD = óleo dispersível em água; ⁵WG = grânulo dispersível em água.

Tabela 2. Condições meteorológicas nos experimentos A (volume de chuva) e B (intervalo sem chuva) durante as aplicações nas safras 2018-19 e 2019-20.

Experimento	Safra	Momento (DAE ¹)	Temp. ² (°C)	U.R. ³ (%)	Vento ⁴ (km h ⁻¹)
A	2018-19	51	27,5 – 28,5	82 - 83	0,0 - 0,5
	2019-20	63	22,6 – 23,5	74 - 84	0,3 - 0,7
B	2018-19	52	27,0 – 27,7	77 - 80	0,0 - 3,0
	2019-20	62	28,5 - 30,0	77 - 83	0,1 - 0,8

¹DAE= dias após emergência; ²Temp.= temperatura; ³U.R.= umidade relativa; ⁴Velocidade média do vento.

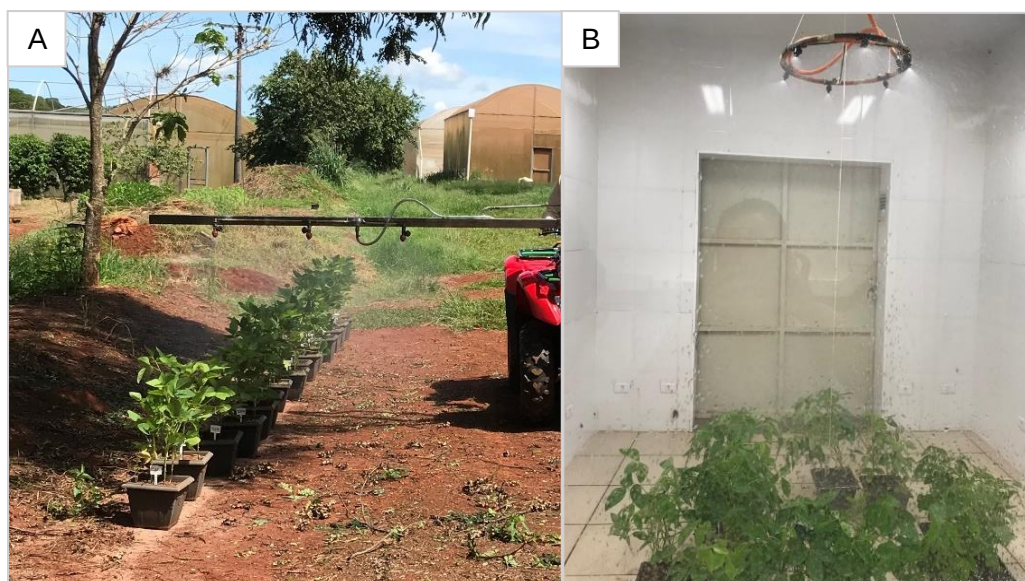


Figura 2. Aplicação das formulações fungicidas nos vasos de soja (1A); simulação de chuva após as aplicações conforme tratamentos (1B).

Após as aplicações das formulações de fungicidas, conforme programado nos experimentos, os tratamentos foram submetidos a chuva artificial em sala equipada com simulador. Antes da chuva foi realizado uma aferição pluviométrica, para mapear a área em que os vasos seriam posicionados para garantir que todos receberiam a mesma quantidade de chuva. Após a aferição foi encontrada uma intensidade de chuva de 120 mm h^{-1} , sendo utilizada em todas as simulações deste experimento.

A chuva artificial foi produzida por seis pontas de pulverização modelo FL10 que possuem espectro de gotas muito grossas (Teejet Technologies, 2014), posicionadas a 2,7 m de altura, cobrindo um raio aproximado de 40 cm, com uniformidade de distribuição pluviométrica (Figura 2B).

3.3.5. Inoculação

Foram obtidos isolados de *Phakopsora pachyrhizi* a partir de plantas de soja infectadas em área experimental, conduzidas a campo. O inóculo foi obtido pela lavagem de folíolos frescos com água destilada para coleta dos uredósporos do fungo.

O inóculo foi composto por água, espalhante adesivo (Tween) e uredósporos de *Phakopsora pachyrhizi* na concentração de 2×10^5 esporos mL^{-1} , obtidos pela contagem em câmara de Neubauer, com auxílio de um microscópio óptico (Lenz et al.,

2011). A inoculação dos uredósporos sobre as folhas de soja foi realizada em período noturno em até 24 horas após as aplicações dos fungicidas, com auxílio de pulverizador manual elétrico. As plantas foram mantidas em ambiente fechado a fim de se obter um maior período de molhamento foliar e, após esse período, foram transferidas novamente para o local em que se desenvolveram.

3.3.6. Avaliações

Para a quantificação do depósito de pulverização, foram coletados quatro folíolos em cada vaso de cada altura das plantas, representando os terços superior, médio e inferior, aproximadamente 60 minutos após as simulações de chuva, ou quando as plantas estavam secas. Os folíolos foram acondicionados em sacos de plástico e posteriormente foi adicionada uma solução 0,2N de HCl (50 mL) para a extração do cobre (oxicloreto de cobre) e do manganês (mancozebe), e assim mantidos por 60 minutos em repouso para extração dos elementos da superfície dos folíolos (Machado-Neto e Matuo, 1989; Oliveira e Machado-Neto, 2003). Em seguida as amostras foram filtradas e, com o uso da curva de calibração obtida por meio de soluções-padrão, foram analisadas utilizando um espectrofotômetro de emissão atômica (PerkinElmer Optima 8000®), resultando na quantidade de íons de cobre e manganês presente na solução.

Foi medida a área foliar das amostras em um integrador eletrônico de superfície (LI-3100C Area Meter®) que fornece a área foliar real (Silva et al., 2008). As concentrações obtidas nas leituras do espectrofotômetro foram correlacionadas às áreas foliares medidas, resultando na quantidade de calda expressa em $\mu\text{g cm}^{-2}$. Após esse cálculo, de posse da concentração inicial de íons presentes em cada produto e do volume de aplicação, os dados foram convertidos à $\mu\text{L cm}^{-2}$.

As avaliações para determinação da severidade da ferrugem asiática foram iniciadas após a primeira aplicação e realizadas em intervalos de aproximadamente 7 dias, totalizando 5 avaliações para a primeira safra e 4 avaliações para a segunda. Utilizou-se notas visuais do percentual de área foliar com sintomas da doença, em relação a área sadia da planta, a partir do aparecimento dos sintomas na testemunha, com auxílio da escala diagramática (Godoy et al., 2006). Os dados de severidade

foram utilizados para o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) através da equação: $AACPD = \sum [(y_1 + y_2)/2] \cdot (t_2 - t_1)$, na qual y_1 e y_2 são duas avaliações consecutivas realizadas nos tempos t_1 e t_2 (Campbell e Madden, 1990).

3.3.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F e para a comparação de médias foi utilizado o teste de Tukey ($p < 0,05$). Os dados foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$, com as exceções indicadas nas tabelas dos resultados.

3.4. Resultados e Discussão

3.4.1. Experimento A – Volume de chuva

Os volumes de chuva avaliados neste estudo influenciaram de maneira variada no depósito das formulações de fungicidas sobre os terços das plantas de soja e não influenciaram no controle da ferrugem asiática.

Para as avaliações de depósito das caldas fungicidas, houve interação entre as formulações de fungicidas e os volumes de simulação de chuva, exceto para o terço médio durante a safra 2018-19 (Tabela 3). Neste terço, foi possível verificar que houve remoção de produtos quando simulado os volumes de 5 e 20 mm, ou seja, mesmo com o menor volume de chuva há remoção de ingrediente ativo das folhas de soja. Em seu trabalho sobre remoção de mancozebe por chuva simulada em mudas de macieira, Hunsche et al. (2007) verificaram que o ingrediente ativo foi eliminado facilmente da superfície das folhas de maçã com poucos milímetros de chuva e, mesmo com o aumento do volume de chuva em mesma intensidade, houve pouco incremento na quantidade de ativo removida.

Quanto a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), houve diferença entre os tratamentos e a testemunha, evidenciando um controle químico satisfatório da ferrugem pelas formulações de fungicidas (Tabela 3).

Tabela 3. Depósito das formulações dos fungicidas nos terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) em função do volume de chuva simulada (mm) nas safras 2018-19 e 2019-20.

FATORES	VARIÁVEIS	Depósito ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$)						AACPD	
		S 18-19			S 19-20			S 18-19	S 19-20
		TS	TM	TI	TS	TM	TI		
Volume	0 mm	0,65 a ⁷	0,50 a	0,45 a	0,82 a	0,47 a	0,26 ab	67 a	498 a
	5 mm	0,42 bc	0,27 b	0,18 c	0,76 a	0,36 b	0,27 ab	70 a	531 a
	10 mm	0,43 bc	0,37 ab	0,21 c	0,70 a	0,34 b	0,19 b	81 a	549 a
	15 mm	0,55 ab	0,39 ab	0,36 b	0,71 a	0,42 ab	0,20 b	94 a	534 a
	20 mm	0,40 c	0,34 b	0,16 c	0,71 a	0,33 b	0,29 a	103 a	552 a
Produto	OCC SC ¹	0,75 a	0,56 a	0,37 a	1,00 a	0,46 a	0,30 a	88, ab	509 bc
	OCC WP ²	0,56 b	0,43 ab	0,29 b	0,69 b	0,46 a	0,23 a	112 a	597 a
	MCZ OD ³	0,41 c	0,32 b	0,27 b	0,68 b	0,41 a	0,27 a	74 b	486 c
	MCZ WG ⁴	0,24 d	0,19 c	0,16 c	0,58 c	0,22 b	0,16 b	58 b	540 b
Testemunha		-	-	-	-	-	-	723	761
Volume vs. Produto		4,68**	1,67 ^{ns}	9,53**	3,50*	4,64**	3,11**	1,89 ^{ns}	0,68 ^{ns}
Test. vs. Trat. ⁵		-	-	-	-	-	-	343,39**	49,30**
CV ⁶ (%)		5,9	7,2	5,1	5,7	5,4	5,5	16,7	11,6***

Legenda: ¹OCC SC = oxicleto de cobre em formulação suspensão concentrada; ²OCC WP = oxicleto de cobre em formulação pó molhável; ³MCZ-OD = mancozebe em formulação óleo dispersível; ⁴MCZ-WG = mancozebe em formulação grânulo dispersível; ⁵Test. vs. Trat.= Testemunha versus Tratamentos; ⁶CV= coeficiente de variação; ⁷Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$); ^{ns} não significativo; *significativo a 5% de probabilidade; **= significativo a 1% de probabilidade; ***dados não transformados.

Entre os volumes de chuva não houve diferença nas duas safras conduzidas para a AACPD. Já entre os produtos, para a safra 2018-19 o MCZ-OD e o MCZ-WG resultaram em maior controle da doença, com valores menores de AACPD, diferindo do OCC-WP. Na safra 2019-20 MCZ-OD resultou maior controle da ferrugem asiática, mas sem diferença para o OCC-SC. Nesta safra, o produto OCC-WP apresentou a maior AACPD novamente, com menor controle da doença. Em média das safras 2017-18 e 2018-19, Godoy et al. (2020) verificou que o produto mancozebe apresentou 36% e 58% de controle da ferrugem asiática e o produto oxicleto de cobre variou entre 30% e 52%, semelhante ao comportamento neste estudo.

Para o produto OCC-SC, é possível observar que a chuva não influenciou na remoção de ingrediente ativo do terço superior para as duas safras estudadas (Figuras 3A e 3B). Para terço inferior das plantas de soja, houve remoção deste produto apenas após 20 mm de chuva durante a condução da primeira safra (Figura 3D).

Para o produto OCC-WP, houve remoção no terço superior após a simulação de 20 mm de chuva para as duas safras. No terço médio, o produto foi removido após a aplicação de 5 mm de chuva na safra 2019-20 (Figura 3C) e no terço inferior após 5 e 10 mm de chuva na safra 2018-19 (Figura 3D), sem diferença para a safra seguinte (Figura 3E).

Para o produto MCZ-OD houve remoção de ingrediente ativo após 10 mm de chuva no terço superior para a safra 2018-19 (Figuras 3A), e não houve remoção do produto durante a safra 2019-20 (Figura 3B). Para o terço médio, houve remoção a partir de 15 mm de chuva (Figura 3C). Para o terço inferior a remoção foi a partir de 5 mm de chuva durante a primeira safra (Figura 3D).

Para o produto MCZ-WG no terço superior, a menor retenção de ingrediente ativo foi após a incidência de 5 mm de chuva na primeira safra (Figura 3A) e 15 mm de chuva na segunda (Figura 3B). No terço médio, houve perda após 10 mm de chuva (Figura 3C) e no terço inferior após 5 mm na primeira safra (Figura 3D) e após a chuva de 10 mm na segunda safra (Figura 3E).

Baseado nestes resultados, pode-se dizer que a formulação de oxicloreto de cobre WP é mais passível de lavagem pela chuva que a formulação SC, uma vez que mesmo com as mesmas concentrações de ingrediente ativo, foi observado menor retenção após as chuvas artificiais.

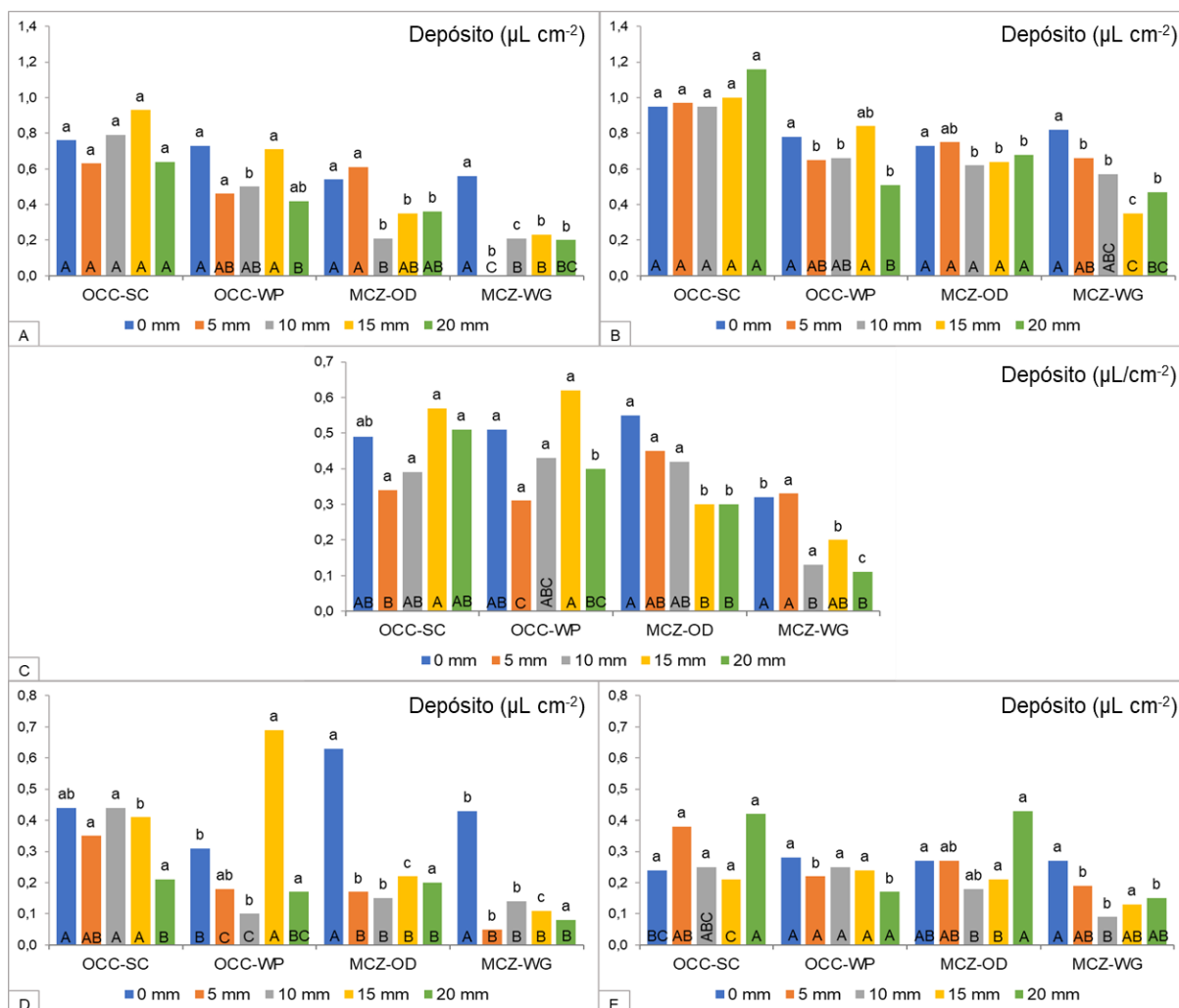


Figura 3. Interações entre o depósito ($\mu\text{L cm}^{-2}$) dos fungicidas oxiclóreto de cobre em suspensão concentrada (OCC-SC), oxiclóreto de cobre em pó molhável (OCC-WP), mancozebe em óleo dispersível em água (MCZ-OD) e mancozebe em grânulo dispersível em água (MCZ-WG) e os volumes de chuva (0, 5, 10, 15 e 20 mm). 3A- parte superior da planta de soja na safra 2018-19; 3B- parte superior na safra 2019-20; 3C- parte média na safra 2019-20; 3D- parte inferior na safra 2018-19; 3E- parte inferior na safra 2019-20. Letras maiúsculas referem-se aos volumes dentro de produtos e letras minúsculas referem-se aos produtos dentro de cada volume.

Nas formulações SC serem líquidas, é comum a presença de aditivos que podem alterar as características físico-químicas das caldas. Esses aditivos podem interferir na distribuição do tamanho de gotas, aumentar o molhamento da superfície foliar, a retenção do produto na superfície tratada, a absorção do líquido pela folha, a ativação dos produtos, podendo aumentar o efeito biológico almejado (Hilz et al., 2012; Decaro Junior et al., 2015; Calore et al., 2015).

Uma vez que o resultado esperado seria que, com o aumento do volume de chuva em mesma intensidade houvesse um aumento na remoção de ingrediente ativo ou, que após o menor volume de chuva já houvesse remoção significativa do ingrediente ativo (Hunsche et al., 2007), um comportamento semelhante a este foi observado na parte superior da planta.

Nesse terço da planta a formulação de mancozebe OD, resultou maior retenção após a chuva, uma vez que o ingrediente ativo foi pouco removido (safra 2019-20), requerendo maior volume de chuva para sua remoção (safra 2018-19). Isso pode ser explicado pela concentração de óleos alta nesta formulação que podem influenciar o resultado da aplicação (Hilz et al., 2012). Em estudos de lavagem pela chuva artificial verificou-se efeito negativo no controle da ferrugem asiática. Porém, a adição de óleo a calda fungicida recuperou a eficiência no controle da doença (Debortoli, 2008). Também já foi observado que a adição de óleo mineral proporcionou maior adesão e/ou absorção diferentes formulações do fungicida flutriafol em comparação às caldas sem óleo, sob incidência de chuva (Oliveira et al., 2009).

Em cada volume de chuva artificial é possível observar que na grande maioria das vezes o produto OCC-SC é o que tem maior retenção de ingrediente ativo. Conforme comentado anteriormente, isso pode estar relacionado aos componentes de sua formulação. Já se observou que fungicidas à base de cobre em formulação SC sobre mudas de citros sob chuva artificial, por terem baixa tensão superficial, resultaram em boa tenacidade e persistência do cobre sobre as folhas das mudas de citros após a incidência da chuva (Fonseca et al. 2016). A baixa tensão superficial na formulação de cobre SC deve resultar de surfatantes que proporcionam um maior espalhamento e maior contato entre as gotas e a superfície vegetal.

Espalhantes e adesivos são amplamente utilizados para um melhor contato entre as gotas e a superfície, aumentando a taxa de absorção na planta, reduzindo a evaporação e aumentando a retenção da solução nas folhas (Tu e Randall 2003).

3.4.2. Experimento B – Intervalo sem chuva

Os intervalos entre a aplicação dos fungicidas e a simulação de chuva testados neste estudo influenciaram de maneira variada no depósito das formulações sobre os terços das plantas de soja. Entretanto, para o controle da ferrugem asiática influenciaram apenas para a safra 2018-19.

Para as avaliações de depósito das caldas, houve interação entre as formulações de fungicidas e os intervalos sem chuva, exceto para o terço superior durante a safra 2018-19 (Tabela 4). Neste terço, foi possível verificar que não houve remoção de produtos nos intervalos sem chuva analisados. Quanto aos produtos para o mesmo terço, as formulações de oxicloreto de cobre apresentaram maiores depósitos, seguidas pelas formulações de mancozebe, sem diferença entre elas.

Quanto à AACPD, houve diferença entre os tratamentos e a testemunha, evidenciando que houve controle da ferrugem exercido pelas formulações de fungicidas (Tabela 4). Entre os volumes de chuva, a menor AACPD foi verificada apenas para o período de 12 horas após a aplicação para a safra 2018-19, diferindo da chuva ocorrida duas horas após a aplicação. Para a segunda safra não houve diferença. Entre os produtos, para a safra 2018-19 o MCZ-OD e o MCZ-WG apresentaram maior controle da doença, com valores menores de AACPD, diferindo do OCC-SC e do OCC-WP. Na safra 2019-20 não houve diferença entre os produtos para o controle da ferrugem asiática.

Diversos estudos demonstram que o efeito da tenacidade do produto está diretamente ligado ao intervalo entre a aplicação e a ocorrência da chuva, ou seja, quanto maior o tempo entre a aplicação e a ocorrência da chuva, maior será o controle da doença. Em seu trabalho sobre controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* em plantas de soja submetidas a diferentes regimes hídricos, Stefanello et al. (2016) verificaram que quanto maior o intervalo de tempo entre a aplicação do fungicida e a chuva artificial, menor foi o tempo para o aparecimento da primeira pústula.

Oliveira et al. (2011) observaram que o aumento do tempo entre a aplicação do fungicida e a chuva ocasionou redução do percentual de remoção, independente da intensidade da chuva. Os autores também verificaram um aumento da importância da maior quantidade de chuva para remover o fungicida ao longo do tempo.

Lenz et al. (2011) também demonstraram que a eficiência dos fungicidas foi crescente com o aumento do intervalo entre a aplicação e a simulação de chuva, independente da intensidade dela. Quando a simulação ocorreu aos 60 e 120 minutos após a aplicação, a remoção dos produtos sistêmicos foi menor, sendo que para muitas das situações, mesmo com chuvas 60 minutos após a aplicação, não houve influência sobre a absorção dos produtos.

Tabela 4. Depósito das formulações dos fungicidas nos terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) em função do intervalo entre a aplicação e a simulação de chuva (h) nas safras 2018-19 e 2019-20.

FATORES	VARIÁVEIS	Depósito ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$)						AACPD	
		S 18-19			S 19-20			S 18-19	S 19-20
		TS	TM	TI	TS	TM	TI		
Intervalo	s/ chuva	0,44 b ⁷	0,38 a	0,24 a	0,86 a	0,47 a	0,30 a	202 ab	496 a
	2 h	0,35 b	0,31 b	0,17 b	0,49 b	0,30 b	0,27 a	242 a	544 a
	6 h	0,39 b	0,27 b	0,25 a	0,43 b	0,28 b	0,16 b	203 ab	542 a
	12 h	0,54 a	0,30 b	0,20 ab	0,54 b	0,30 b	0,29 a	182 b	525 a
	24 h	0,39 b	0,25 b	0,17 b	0,53 b	0,32 b	0,24 ab	218 ab	556 a
Produto	OCC SC ¹	0,51 a	0,37 a	0,27 a	0,60 ab	0,34 a	0,16 c	228 a	547 a
	OCC WP ²	0,51 a	0,31 b	0,23 a	0,48 c	0,30 a	0,20 bc	259 a	548 a
	MCZ OD ³	0,34 b	0,38 a	0,17 b	0,53 bc	0,39 a	0,36 a	171 b	502 a
	MCZ WG ⁴	0,34 b	0,15 c	0,15 b	0,68 a	0,31 a	0,29 ab	181 b	533 a
Testemunha		-	-	-	-	-	-	745	771
Intervalo vs. Produto		1,69 ^{ns}	4,79 ^{**}	3,67 ^{**}	3,59 ^{**}	4,05 ^{**}	2,36 [*]	1,26 ^{ns}	1,43 ^{ns}
Test. vs. Trat. ⁵		-	-	-	-	-	-	201,17 ^{**}	28,14 ^{**}
CV ⁶ (%)		19,4 ^{***}	18,9 ^{***}	3,8	7,2	7,1	7,2	10,2	11,4 ^{***}

Legenda: ¹OCC SC = oxicleto de cobre em formulação suspensão concentrada; ²OCC WP = oxicleto de cobre em formulação pó molhável; ³MCZ-OD = mancozebe em formulação óleo dispersível; ⁴MCZ-WG = mancozebe em formulação grânulo dispersível; ⁵Test. vs. Trat.= Testemunha versus Tratamentos; ⁶CV= coeficiente de variação; ⁷Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$); ^{ns} não significativo; ^{*}significativo a 5% de probabilidade; ^{**}= significativo a 1% de probabilidade; ^{***}dados não transformados.

Para o produto OCC-SC, houve remoção do ingrediente ativo apenas após 12 horas para o terço médio na safra 2018-19 (Figura 4B). Nos demais terços, a chuva não influenciou a remoção de ingrediente ativo, independente do período analisado.

Para o produto OCC-WP, houve remoção no terço superior 2 horas após a aplicação para a safra 2019-20 (Figura 4A). No terço médio, o produto foi removido a partir de 6 horas após a aplicação para a safra 2018-19 (Figura 4B) e 12 horas após a aplicação para a safra 2019-20 (Figura 4C). No terço inferior o produto foi removido

2 horas após a aplicação na primeira safra (Figura 4D) e 24 horas após a aplicação durante a segunda safra (Figura 4E).

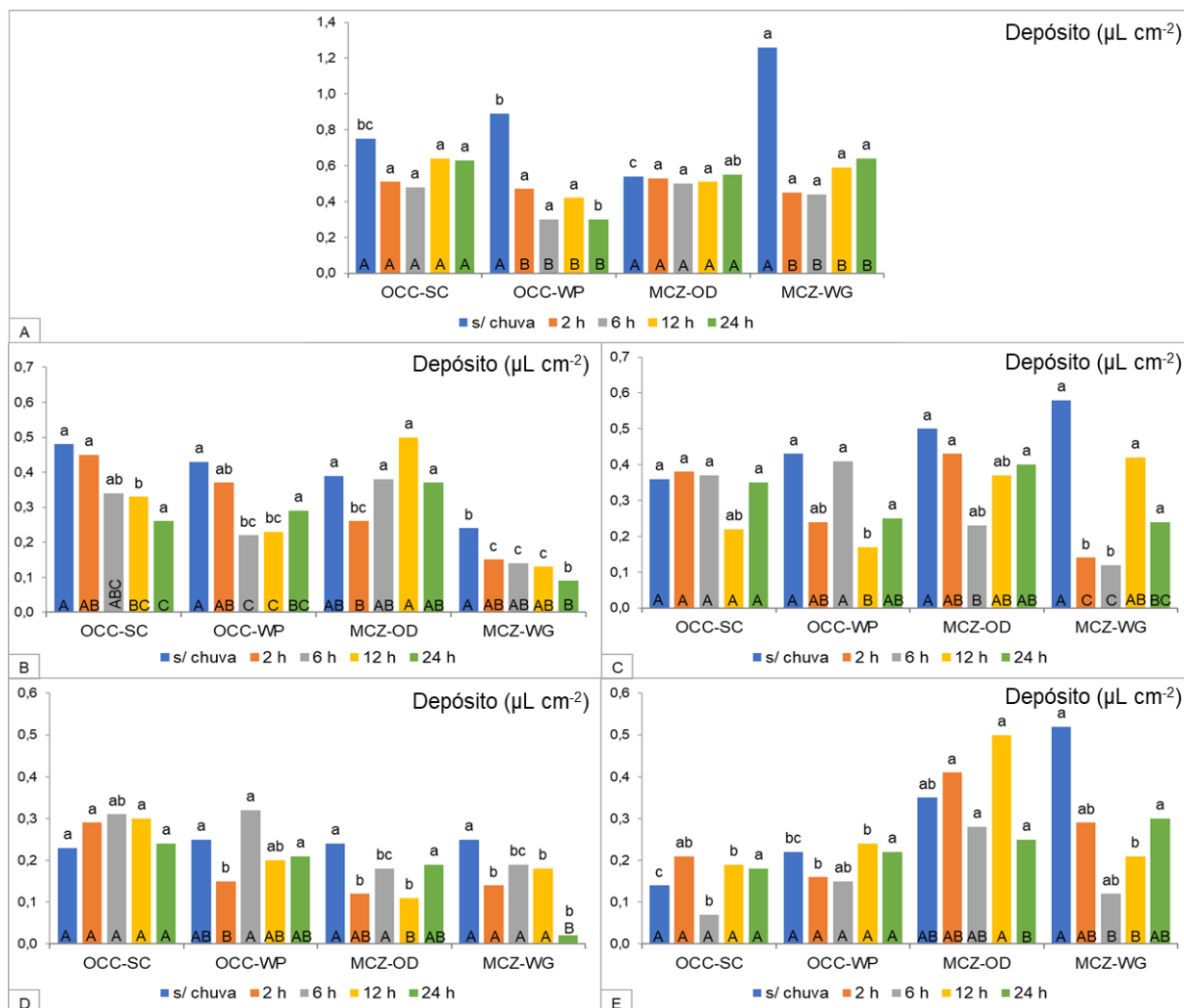


Figura 4. Interações entre o depósito ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$) dos fungicidas oxicleto de cobre em suspensão concentrada (OCC-SC), oxicleto de cobre em pó molhável (OCC-WP), mancozebe em óleo dispersível em água (MCZ-OD) e mancozebe em grânulo dispersível em água (MCZ-WG) e os intervalos entre a aplicação e a chuva (sem chuva, 2, 6, 12 e 24 horas). 4A- parte superior da planta de soja na safra 2019-20; 4B- parte média na safra 2018-19; 4C- parte média na safra 2019-20; 4D- parte inferior na safra 2018-19; 4E- parte inferior na safra 2019-20. Letras maiúsculas referem-se aos intervalos dentro de produtos e letras minúsculas referem-se aos produtos dentro de cada intervalo.

Para o produto MCZ-OD não houve remoção de ingrediente ativo no terço superior (Figura 4A). No terço médio, houve remoção 12 horas após a aplicação para a safra 2018-19 (Figura 4B) e 6 horas após a aplicação para a safra 2019-20 (Figura

4C). Para terço inferior houve remoção do ingrediente ativo 12 horas após a aplicação durante a primeira safra (Figura 4D) e 24 horas para a segunda safra (Figura 4E).

Para o produto MCZ-WG no terço superior, houve perda de ingrediente ativo em todos os intervalos de tempo entre a aplicação e a simulação de chuva na segunda safra (Figura 4A). No terço médio, houve perda após 12 horas de intervalo na safra 2018-19 (Figura 3B) e após 24 horas para a safra 2019-20 (Figura 4C). Para o terço inferior, houve remoção do produto 24 horas após a aplicação na primeira safra (Figura 3D) e 6 horas após a aplicação na segunda (Figura 3E).

De maneira semelhante ao experimento A e conforme estudos já citados, o resultado esperado para esse estudo seria que, com o aumento do intervalo entre a aplicação e a simulação da chuva, houvesse uma diminuição na remoção de ingrediente ativo, principalmente na parte superior da planta. Isso pode ter ocorrido pelo escoamento dos ingredientes ativos da parte superior para os demais terços da planta, fazendo com que a quantidade de depósito encontrada nestas partes não correspondesse à esperada. Essas irregularidades no depósito também foram verificadas entre as safras, onde não foi encontrado padrões semelhantes com a repetição dos experimentos. Estudos específicos para avaliar a retenção podem ser sugeridos, com as folhas destacadas ou mesmo com plantas artificiais, em que podem ser isolados os fatores relacionados à retirada pela chuva (Barbosa et al. 2013, Silva et al. 2008). Entretanto, para a correlação com o controle da ferrugem asiática é adequado se avaliar a retenção em plantas vivas. Portanto, ainda são necessários aprimoramento dos métodos de segregação da retenção, a fim de isolar os fatores sem prejudicar as avaliações de controle, o que pode ter ocorrido no presente estudo.

Embora não tenha refletido em controle da doença, esse padrão de comportamento foi verificado pela quantidade de ingrediente ativo retido na folha após os intervalos estudados. É possível observar que independente do tempo entre a aplicação e a simulação de chuva, os produtos OCC-SC e MCZ-OD não apresentaram remoção dos seus ingredientes ativos após a chuva. Para os produtos OCC-WP e MCZ-WG foi verificado a remoção dos ingredientes ativos até quando submetidos à simulação de chuva após 24 horas entre a aplicação e a simulação da chuva. Conforme comentado no experimento A, muito possivelmente isso correu pela presença de adjuvantes que as formulações líquidas permitem acrescentar (Decaro

et al., 2015). Já para as formulações sólidas não é possível acrescentar adjuvantes modernos, que são predominantemente líquidos.

A baixa relação entre os resultados de depósito dos produtos e a AACPD pode ter ocorrido pela alta pressão da ferrugem asiática durante as duas safras conduzidas. Uma vez que houve a inoculação e ótimas condições de desenvolvimento da doença, é improvável que a sutil diferença de depósito proporcionada pelos produtos após serem submetidos a diferentes volumes de chuva e intervalos entre as aplicações e as simulações de chuva, sejam capazes de mostrar diferenças na AACPD sob alta pressão de desenvolvimento da doença.

Há diversos estudos que relacionam o efeito dos produtos na ocorrência de chuvas diretamente com o controle dos patógenos (Hunsche et al., 2007, Debortoli, 2008, Oliveira et al., 2011, Pigati et al., 2010, Stefanello et al., 2016, Chechi, 2019 e Araújo, 2020), mas poucos verificam a relação existente entre o depósito destes com o controle.

3.5. Conclusões

O fungicida oxicleto de cobre em formulação SC apresenta maior resistência à remoção do ingrediente ativo no terço superior da planta após ser submetido a chuva.

A possibilidade da adição de adjuvantes em formulações líquidas as tornam mais resistentes à remoção de ingrediente ativo pela chuva.

Mais estudos sobre a relação entre o depósito de produtos nas folhas e o controle dos patógenos após serem submetidos à chuva devem ser realizados.

3.6. Referências

Antuniassi UR (2012) **Tecnologia de aplicação: conceitos básicos, inovações e tendências**. FCA/UNESP, Botucatu, São Paulo.

Araújo VCR (2020) **Dinâmica da remoção pela chuva de fungicidas utilizados no controle de ferrugem asiática da soja**. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, Botucatu.

Barbosa GF, Nais J, Ferreira, MC (2013) Estimativa da área e capacidade de retenção foliar de calda em citros. **Bioscience Journal** 29: 1225-1230.

Cabras P, Angioni A, Garau VL, Melis M, Pirisi FM, Cabiza F, Pala M (2001) The effect of simulated rain on folpet and mancozeb residues on grapes and wine leaves. **Journal of Environmental Science and Health** 36: 609-618.

Calore RA, Ferreira MC, Galli JC (2015) Efeitos de adjuvantes no controle de *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: trypidae) na cultura do amendoim. **Revista Brasileira Ciências Agrárias** 10: 74-81.

Campbell CL, Madden LV (1990) **Introduction to plant disease epidemiology**. New York NY. John Wiley & Sons.

Chechetto RG, Antuniassi UR (2012) Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. **Energia na Agricultura** 27: 130-142.

Cechi, A (2019) **Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas, lixiviação pela chuva volume de calda e tamanho de gota no controle da ferrugem em soja**. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Upf, Passo Fundo.

Debortoli, M.P (2008) **Efeito do “rainfastness” e adjuvante na aplicação de fungicidas foliares em cultivares de soja**. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Ufsm, Santa Maria.

Decaro Junior ST, Ferreira MC, Lasmar O (2015) Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. **Engenharia Agrícola**, 35: 588-600.

Decaro RA, Decaro Junior ST, Ferreira MC (2016) Deposito of pesticides without and with adjuvants on citrus seedlings following diferente intervals of artificial rain. **Ciência Rural** 46: 13-19.

Ferreira MC, Lasmar O, Decaro Junior ST, Neves SS, Azevedo LH (2013) Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal** 29: 1431-1440.

Fonseca AE, Nunes BM, Ferreira Junior JB (2016) Tenacity and persistence of copper fungicides in citrus seedlings under simulated rainfall. **Revista Caatinga** 29: 677-684.

Godoy CV, Koga LJ, Canteri MG (2006) Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira** 31: 63-68.

Godoy CV, Seixas CDS, Meyer MC, Soares RM (2020) **Ferrugem asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência**. Londrina: Embrapa Soja, 39 p. (Embrapa-Soja. Documentos 428).

Godoy CV, Seixas CDS, Soares RM, Marcelino-Guimarães FC, Meyer MC, Costamilan LM (2016) Asian soybean rust in Brasil: past, present and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51: 407-421.

Hilz E, Vermeer AVP, Leermakers FAM, Cohen Stuart MA (2012) Spray drift: how emulsions influence the performance of agricultural sprays produced through a conventional flat fan nozzle. In: International Advances in Pesticide Application. **Aspects of Applied Biology** 114.

Hunsche M, Damerow L, Schimitz-Eiberger M, Noga G (2007) Mancozeb wash-off from apple seedlings by simulated rainfall as affected by drying time of fungicide deposit and rain characteristics. **Crop Protection** 26: 768-774.

Klosowski AC, May De Mio LL, Miessner S, Rodrigues R, Stammeler G (2016) Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Management Science** 72: 211-215.

Lenz G, Balardin RS, Minuzzi SG, Tormen NR, Marques LN (2011) Espectro de gotas e idade de trifólios na taxa de absorção e efeito residual de fungicidas em soja. **Ciência Rural** 41; 1702-1708.

Machado-Neto JG, Matuo T (1989) Avaliação de um amostrador para estudo da exposição dérmica de aplicadores de defensivos agrícolas. **Ciência Agrônômica** 4: 22.

Mcgrath MT (2004) What are fungicides? **The Plant Health Instructor**. DOI: 10.1094/PHI-I-2004-0825-01.

Oliveira MAP, Antuniassi UR, Velini ED (2011) Remoção pela chuva de diferentes formulações de flutriafol aplicadas em soja, com e sem adição de óleo mineral da calda. **Revista Energia na Agricultura** 26; 80-87.

Oliveira ML, Machado-Neto JG (2003) Use of tracer in the determination of respiratory exposure and relative importance of exposure routes in safety of pesticide applicators in citrus orchards. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 70: 415-421.

Pigati RL, Dernoeden PH, Grybauskas AP (2010) Simulated rainfall and mowing impact fungicide performance when targeting Dollar Spot in Creeping Bentgrass. **Plant Disease** 94; 596-603.

Schimitz HK, Medeiros AC, Craig IR, Stammers G (2014) Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-oxidoreductase-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest Management Science** 7: 378-88.

Silva AR, Leite MT, Ferreira MC (2008) Estimativa da área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. **Bioscience Journal** 24: 66-73.

Simões K, Hawlik A, Rehfus A, Gava F, Stammers G (2018) First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Plant Diseases and Protection** 125: 21-26.

Stefanello MT, Marques LN, Pinto FF, Ramos JP, Cadore PC, Balardin RS (2016) Dinâmica do controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* em plantas de soja e diferentes regimes hídricos. **Arquivos do Instituto Biológico** 83: 1-6.

Thacker JRM, Young RDF (1999) The effect of six adjuvants on the rainfastness of chlorpyrifos formulated as an emulsifiable concentrate. **Pest Management Science** 55: 198-200.

Teejet Technologies (2014) **Catálogo 51A-PT**. Wheaton: Spraying Systems Co. 164p.

Tu M, Randall JM (2003) Adjuvants. In: Tu M. et al. **Weed control methods handbook the nature conservancy**. Davis: TNC p. 1-24.

Yorinori JT, Paiva WM, Frederick D, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Godoy CV, Nunes Junior J (2005) Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease** 89:675-677.

CAPÍTULO 4 – Considerações Finais

Esta pesquisa se propôs a verificar se as características físico-químicas das diferentes formulações de fungicidas avaliadas neste trabalho implicariam em diferenças na quantidade do depósito em folhas e se isso refletiriam em melhor controle da ferrugem asiática.

Outro aspecto desejado foi verificar se adaptações simples na configuração do equipamento de aplicação, como a angulação da barra pulverizadora para frente ou para trás, refletiria em melhor qualidade e uniformidade de depósito dos produtos na superfície foliar das plantas de soja e, conseqüentemente, no controle da doença foco.

Por fim, após conseguir atingir o alvo desejado, o terceiro questionamento era verificar como as diferentes formulações se comportariam em função da incidência de chuva e se o depósito restante de ingrediente ativo sobre as folhas refletiria sobre o controle da doença.

Baseado nos resultados obtidos, foi possível esclarecer aspectos importantes do sistema como um todo, atendendo as expectativas.

Dentre as variáveis analisadas neste estudo, representativas quanto ao controle da doença, o diâmetro mediano volumétrico é a variável que mais interferiu no desenvolvimento da ferrugem asiática.

O produto mancozebe na formulação óleo dispersível em água destacou-se entre os produtos avaliados para o controle da ferrugem asiática à campo.

O fungicida oxicleto de cobre SC apontou maior resistência à remoção do ingrediente ativo no terço superior da planta após ser submetido a chuva.

As angulações avaliadas não resultaram em diferenças para a AACPD e para a produtividade, agrupando-se de maneira distinta entre as safras. Porém, uma vez que a angulação no sentido do deslocamento do pulverizador se agrupou nas duas safras avaliadas, há uma tendência de melhor resultado.

No âmbito metodológico, um aspecto que merece destaque neste estudo foi a maneira de identificar a quantidade de ingrediente ativo para a análise de depósito. A maioria dos estudos utilizam marcadores nas caldas para a quantificação do depósito, o que pode influenciar nos resultados. Neste trabalho foi utilizado o próprio ingrediente ativo dos produtos. Para a extração e análise do cobre essa metodologia está bastante consagrada. Porém, para a quantificação do mancozebe a metodologia mais comum

é a utilização de cromatografia, que é um método oneroso e de custo elevado. Neste estudo, uma vez que a molécula de mancozebe contém 20% de manganês em sua formulação, foi utilizada a espectrofotometria de absorção atômica para quantificar o manganês, método mais simples e de custos mais acessíveis. Como a quantidade de Mn no extrato era muito pequena, o método poderia não detectar o elemento. Porém, os resultados obtidos permitem constatar que o método é válido e pleno. Outra dificuldade foi haver pouca informação sobre o método de extração do mancozebe das amostras. Foi realizado estudo prévio neste trabalho, no qual constatou-se que a utilização de HCL a 0,2 N (mesma concentração utilizada na extração do cobre) é adequada.

Portanto o trabalho traz contribuições na área da fitossanidade, além de contribuições metodológicas. Porém, estudos sobre as condições que influenciam os resultados da angulação da barra pulverizadora assim como a relação entre o depósito de produtos nas folhas e o controle dos patógenos após a incidência de chuvas devem ser continuados e aprofundados, contribuindo para a melhoria da eficiência do tratamento fitossanitário na cultura da soja.