

GUSTAVO DARIO

**REDUÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO, ASSISTÊNCIA DE AR E
ELETROSTÁTICA NO TRATAMENTO FITOSSANITÁRIO DA CULTURA DO
PIMENTÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Botucatu

2022

GUSTAVO DARIO

**REDUÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO, ASSISTÊNCIA DE AR E
ELETROSTÁTICA NO TRATAMENTO FITOSSANITÁRIO DA CULTURA DO
PIMENTÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Dr. Carlos Gilberto Raetano

Botucatu

2022

D218r	Dario, Gustavo Redução da taxa de aplicação, assistência de ar e eletrostática no tratamento fitossanitário da cultura do pimentão em ambiente protegido / Gustavo Dario. -- Botucatu, 2022 101 p. : il., tabs., fotos Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Carlos Gilberto Raetano 1. Produto fitossanitário. 2. Casa de vegetação. 3. Exposição dérmica. 4. Pulverização. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

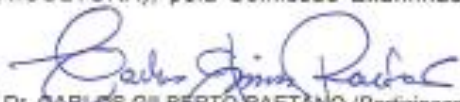
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: REDUÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO, ASSISTÊNCIA DE AR E ELETROSTÁTICA NO TRATAMENTO FITOSSANITÁRIO NA CULTURA DO PIMENTÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO

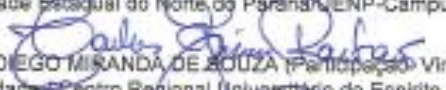
AUTOR: GUSTAVO DARIO

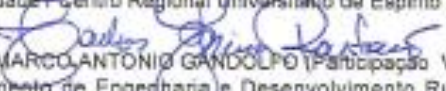
ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


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


Prof. Dr. RONE BATISTA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Universidade Estadual do Norte do Paraná / UNP-Campus Luiz Meneguel / Bandeirantes/PR


Prof. Dr. DIEGO MIRANDA DE SOUZA (Participação Virtual)
Fitossanidade / Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal


Prof. Dr. MARCOLANTONIO GANDOLFO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Desenvolvimento Rural / Universidade Estadual Do Norte do Paraná / Bandeirantes/PR


Prof. Dr. EVANDRO PEREIRA PRADO (Participação Virtual)
Sistemas de Produção / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Botucatu, 04 de março de 2022

Aos meus pais,
Claudinei e Fátima Dario,
dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais Claudinei e Fátima e minha irmã Amanda.

A minha noiva, Karina Aline Alves.

Ao Professor Dr. Carlos Gilberto Raetano.

Aos amigos do grupo de pesquisas em tecnologia de aplicação (PROTEC).

Aos amigos da república Santacruzense.

Aos membros da banca examinadora.

Aos funcionários do Departamento de Proteção de Plantas e do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida durante o período de doutorado.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

RESUMO

Há poucas informações sobre tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários para as hortaliças cultivadas em ambiente protegido no Brasil. Nesse sentido, alguns experimentos foram realizados objetivando avaliar os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, em aplicações de produtos fitossanitários na cultura do pimentão, sob ambiente protegido. Quatro técnicas de aplicação constituíram os tratamentos: HPA (Hidráulica Padrão Agricultor) – Pulverização hidráulica, com pontas de pulverização JA-2 (700 kPa) e taxa de aplicação variável de acordo com a altura das plantas; HVR (Hidráulica Volume Reduzido) – Pulverização hidráulica, com pontas de pulverização JA -1 (700 kPa) e 50% da taxa de aplicação do padrão agricultor; PAAE (Pneumática: assistência de ar e eletrostática) – Pulverização pneumática com eletrostática e 25% da taxa de aplicação do padrão agricultor; PAA (Pneumática: assistência de ar e eletrostática desligada) – Pulverização pneumática com eletrostática e 25% da taxa de aplicação do padrão agricultor. O trabalho foi dividido em três capítulos. No capítulo 1, foram avaliados os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, no depósito e na cobertura da aplicação, e nas perdas de produtos fitossanitários para o solo, em três fases de crescimento das plantas de pimentão (0,7; 1,4 e 2,1 m de altura). No capítulo 2, foram avaliados os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, na exposição dérmica de operadores aos produtos fitossanitários, nas mesmas alturas de plantas. No capítulo 3, avaliou-se o impacto da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, no controle do oídio em plantas de pimentão com 0,7 m de altura, utilizando-se o fungicida piraclostrobina mais fluxapiroxade (Orkestra®). A redução de 50% na taxa de aplicação do pulverizador hidráulico (HVR), reduz o depósito na superfície abaxial das folhas e a cobertura em ambas as superfícies das folhas do pimentão, em comparação ao padrão produtor (HPA). O uso da pulverização pneumática com eletrostática aumenta a cobertura da pulverização na superfície abaxial da parte externa das plantas de pimentão, em relação as demais técnicas em estudo. As técnicas pneumáticas com ou sem eletrostática proporcionam menor perda para o solo em relação as técnicas hidráulicas. Com relação a exposição dérmica do operador, o efeito das técnicas de aplicação durante a pulverização é variável entre as partes do

corpo do operador e alturas da cultura do pimentão. Na menor altura avaliada (0,7 m) a contaminação é mais acentuada nos membros inferiores do corpo do operador, no entanto, em maiores alturas (1,4 e 2,1 m), a exposição passa a ser acentuada também em outras partes do corpo. A técnica de aplicação pneumática com eletrostática (PAAE) aumenta a exposição do operador durante a pulverização, principalmente nas partes do corpo localizadas acima da parte inferior das pernas, em comparação as demais técnicas em estudo. A técnica hidráulica com redução de 50% da taxa de aplicação (HVR) aumenta os níveis de contaminação do operador em comparação ao padrão do agricultor (HPAP). Todas as técnicas de aplicação proporcionaram redução na severidade do oídio e da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Não há diferença para entre as técnicas de aplicação para a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Novas pesquisas devem ser realizadas considerando um maior período de avaliação da severidade do oídio, a fim de determinar o efeito das técnicas de pulverização em tratamento contínuo com fungicida na cultura do pimentão.

Palavras-chave: produto fitossanitário; casa de vegetação; exposição dérmica; pulverização; *Leveillula taurica*.

ABSTRACT

There is little information on pesticides application technology for vegetables grown in a greenhouse in Brazil. Therefore, some experiments were carried out with the aim of evaluating the effects of reducing the application rate and the inclusion of pneumatic spraying with and without electrostatic, in applications of pesticides in the pepper crop, under a greenhouse. Four application techniques constituted the treatments: HPA (Farmer Standard Hydraulics) – Hydraulic spraying, with JA-2 spray tips (700 kPa) and variable application rate according to the height of the plants; HVR (Reduced Volume Hydraulics) – Hydraulic spraying, with JA -1 spray tips (700 kPa) and 50% of the farmer standard application rate; PAAE (Pneumatics: air and electrostatic assistance) – Pneumatic spraying with electrostatics and 25% of the farmer standard application rate; PAA (Pneumatics: air and electrostatic assistance off) – Pneumatic spraying with electrostatic and 25% farmer standard application rate. The work was divided into three chapters. In chapter 1, the effects of reducing the application rate and the inclusion of pneumatic spraying with and without electrostatics were evaluated on the deposit and coverage of the application, and on the losses of phytosanitary products to the soil, in three stages of growth of the plants of bell pepper (0.7, 1.4 and 2.1 m high). In chapter 2, the effects of reducing the application rate and the inclusion of pneumatic spraying with and without electrostatics on the dermal exposure of operators to phytosanitary products at the same plant heights were evaluated. In chapter 3, the impact of reducing the application rate and the inclusion of pneumatic spraying with and without electrostatics was evaluated on the control of powdery mildew in sweet pepper plants with 0.7 m in height, using the fungicide pyraclostrobin plus fluxapyroxad (Orkestra®). The 50% reduction in the application rate of the hydraulic sprayer, reduces the deposition on the abaxial surface of the leaves and the coverage on both surfaces of the bell pepper leaves, compared to the producer standard. The use of pneumatic electrostatic spraying increases the spraying coverage on the abaxial surface of the external part of the pepper plants, in relation to the other techniques under study. The pneumatic techniques with or without electrostatics provide less loss to the soil than hydraulic techniques. With respect to operator dermal exposure, the effect of application techniques during spraying is variable between operator body parts and pepper crop heights. At the lowest evaluated height (0.7 m) the contamination is more

accentuated in the lower limbs of the operator's body, however, at greater heights (1.4 and 2.1 m), the exposure is also accentuated in other parts of the body. The electrostatic pneumatic application technique (PAAE) increases operator exposure during spraying, especially on the operator's body parts located above the lower legs, compared to the other techniques under study. Hydraulic technique with 50% application rate reduction (HVR) increases operator contamination levels compared to farmer standard. All application techniques provided a reduction in powdery mildew severity and in the area under the disease progress curve (AACPD). There is no difference between the application techniques for the area under the disease progress curve (AACPD). Further research should be carried out considering a longer period of evaluation of powdery mildew severity, in order to determine the effect of spraying techniques in continuous treatment with fungicide on the pepper crop.

Keywords: pesticides; greenhouse; dermal exposure; spray; *Leveillula taurica*.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO 1 - IMPLICAÇÕES DE DIFERENTES TÉCNICAS NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO E PERDAS DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NO PIMENTÃO SOB AMBIENTE PROTEGIDO..	18
1.1 INTRODUÇÃO	22
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
1.2.1 Caracterização da área experimental	24
1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	24
1.2.3 Avaliação do índice de área foliar (IAF)	27
1.2.4 Avaliação do depósito e perdas para o solo	28
1.2.5 Avaliação da cobertura	32
1.2.6 Análise estatística	33
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
1.3.1 Depósito na safra 2019.....	34
1.3.2 Depósito na safra 2020	39
1.3.3 Perdas para o solo	44
1.3.4 Cobertura nas safras 2019 e 2020.....	46
1.4 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS.....	51
CAPÍTULO 2 - EXPOSIÇÃO DÉRMICA DO OPERADOR EM APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS COM PULVERIZADORES MANUAIS NO PIMENTÃO SOB AMBIENTE PROTEGIDO	54
2.1 INTRODUÇÃO.....	55
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
2.2.1 Caracterização da área experimental	57
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	58
2.2.3 Avaliação da exposição do operador	61
2.2.4 Análise estatística	65
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65

2.3.1	Safra 2019.....	65
2.3.2	Safra 2020.....	72
2.4	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS	78
	CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DE TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO CONTROLE DE OÍDIO EM PLANTAS DE PIMENTÃO	82
3.1	INTRODUÇÃO	83
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	85
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
3.4	CONCLUSÕES	94
	REFERÊNCIAS	95
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
	REFERÊNCIAS	99

INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo de hortaliças em ambiente protegido proporciona benefícios como, possibilidade de produção nas entressafras e ganhos qualitativos e quantitativos na produção. Em contrapartida, as condições microclimáticas geradas, aliadas a alta densidade de plantas, intensificam a ocorrência de pragas e doenças nesse ambiente de cultivo (PASCUZZI; CERRUTO; MANETTO, 2016; LIN *et al.*, 2021), principalmente quando a estrutura não dispõe de sistema de climatização.

Os produtos fitossanitários, sintéticos e/ou biológicos, constituem a principal ferramenta para garantir a proteção das plantas contra pragas e doenças na agricultura contemporânea (VELASCO *et al.*, 2020; SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.*, 2021). Nesse sentido, a tecnologia de aplicação tem papel fundamental, pois é a ciência responsável pela colocação desses produtos biologicamente ativos no alvo, em dose suficiente, de forma econômica e com o mínimo de contaminação ambiental (MATUO, 1990).

Na horticultura em ambiente protegido, é comum as aplicações de produtos fitossanitários serem realizadas com equipamentos de baixa tecnologia, como pulverizadores costais ou semiestacionários (SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.*, 2013a, RINCON *et al.*, 2020). São frequentes os relatos de problemas, como baixa deposição, distribuição irregular dos depósitos no alvo, perdas para o solo e exposição de operadores aos produtos fitossanitários (SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.*, 2011; SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.*, 2012; RINCON *et al.*, 2017; DARIO *et al.*, 2020).

Outra realidade é a falta de informações que auxiliem no estabelecimento da taxa de aplicação (volume de calda/hectare) (SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.*, 2013). Nesse sentido, têm se generalizado o uso de altas taxas de aplicação, pois os agricultores relatam que se sentem mais confiantes, com relação à qualidade da aplicação, quando conseguem visualizar o molhamento das gotas sobre o dossel da cultura após a operação (DERKSEN *et al.*, 2008).

Como consequência da alta incidência de pragas e doenças em ambiente protegido, aliada a baixa eficiência dos métodos de aplicação de produtos fitossanitários, um número elevado de aplicações tem sido realizado por ciclo da cultura (RINCON *et al.*, 2020) e fatos indesejáveis, como resíduos nos alimentos, são recorrentes (MOHAMED *et al.*, 2019, CHEN *et al.*, 2021).

Com intuito de melhorar a qualidade das aplicações de produtos fitossanitários na agricultura, algumas tecnologias estão disponíveis. Como exemplo, a pulverização eletrostática, que consiste na transferência de cargas elétricas as gotas de pulverização, promovendo atração das mesmas pelo alvo (APPAH *et al.*, 2019; MARTIN; LATHEEF, 2017) e consequentemente, aumento na quantidade depositada no alvo, principalmente na superfície abaxial das folhas (CERQUEIRA *et al.*, 2017; SALCEDO *et al.*, 2020). Por outro lado, algumas pesquisas demonstram aumento da deposição apenas nas extremidades do dossel, posicionadas mais próximas ao bico de pulverização (BAYER *et al.*, 2011; CERQUEIRA *et al.*, 2017).

O acréscimo de deposição na parte externa do dossel em pulverizações eletrostáticas ocorre devido ao fato de que um objeto dotado de carga elétrica tende a descarregar no corpo aterrado mais próximo (SASAKI *et al.*, 2013). Para minimizar esse problema, autores associaram a eletrostática a assistência de ar (CERQUERA *et al.*, 2017; SILVA, 2019). Sendo essa ultima considerada eficiente em melhorar penetrabilidade e uniformidade da deposição dos produtos fitossanitários no dossel das culturas (LI *et al.*, 2018; LLOP *et al.*, 2015).

Em cultivo protegido, são escassas as pesquisas que envolvam o uso de técnicas de pulverização com eletrostática e/ou assistência de ar. Considerando as dificuldades do setor relacionadas a aplicação de produtos fitossanitários, faz-se necessário a avaliação de alternativas que visem melhorar a qualidade da aplicação e consequentemente, aumentar a eficiência no controle de pragas e doenças.

Em adição aos problemas relacionados a qualidade, os métodos de aplicação convencionais apresentam altos níveis de risco de exposição dos operadores. Este fato inconveniente pode ocorrer durante o preparo da calda, carregamento, pulverização e reentrada na casa de vegetação para realização de outros tratamentos culturais (FRIEDRICHS *et al.*, 2020). O nível de exposição varia em função de diversos fatores, como a técnica de aplicação a ser utilizada (FRENICH *et al.*, 2002), o estágio de desenvolvimento da cultura (CERRUTO *et al.*, 2018; REN *et al.*, 2018), o modelo de pulverizador e a direção de caminhar do operador, podem ser citados como exemplo (RINCÓN; PÁEZ; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, 2018).

As condições de segurança costumam ser agravadas pela falta de uso de equipamentos de proteção individual (EPI), representando perigo a saúde do operador (CERRUTO *et al.*, 2018; FRIEDRICHS *et al.*, 2020). Erroneamente, o EPI nem sempre é utilizado por consequência do desconforto gerado pelas altas temperaturas no

interior das casas de vegetação e da falta de conhecimento dos riscos (BONDORI *et al.*, 2018).

Na tentativa de reduzir a exposição humana e melhorar a qualidade das aplicações, alguns equipamentos automotrizes ou até autônomos foram desenvolvidos (KO *et al.*, 2015; LIN *et al.*, 2021). No entanto, a expansão do uso desses equipamentos é limitada pelas estruturas das casas de vegetação, que dificultam o deslocamento e manobra de sistemas mecanizados em seu interior (LIN *et al.*, 2021). Além da indisponibilidade de equipamentos no mercado e os altos custos de aquisição.

Em consideração aos problemas relacionados a aplicação de produtos fitossanitários em cultivo protegido, alguns experimentos foram realizados na cultura do pimentão. No capítulo 1, foram avaliados os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, no depósito e na cobertura da aplicação, e nas perdas de produtos fitossanitários para o solo. No capítulo 2, foram avaliados os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, na exposição dérmica de operadores aos produtos fitossanitários. No capítulo 3, avaliou-se o impacto da redução da taxa de aplicação, e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, no controle do oídio em plantas de pimentão.

CAPÍTULO 1

¹ IMPLICAÇÕES DE DIFERENTES TÉCNICAS NA QUALIDADE DA APLICAÇÃO E PERDAS DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NO PIMENTÃO SOB AMBIENTE PROTEGIDO

RESUMO

Para a cultura do pimentão em ambiente protegido, há carência de informações científicas que auxiliem na definição da técnica a ser utilizada na aplicação de produtos fitossanitários. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, no depósito e cobertura da aplicação, e nas perdas de produtos fitossanitários para o solo, na cultura do pimentão sob ambiente protegido. Quatro técnicas de aplicação constituíram os tratamentos: HPA (Hidráulica Padrão Agricultor) – Pulverização hidráulica, com pontas de pulverização JA-2 (700 kPa) e taxa de aplicação variável de acordo com a altura da cultura; HVR (Hidráulica Volume Reduzido) – Pulverização hidráulica, com pontas de pulverização JA-1 (700 kPa) e 50% da taxa de aplicação do padrão agricultor; PAAE (Pneumática: assistência de ar e eletrostática) – Pulverização pneumática com eletrostática e 25% da taxa de aplicação do padrão agricultor; PAA (Pneumática: assistência de ar e eletrostática desligada) – Pulverização pneumática com eletrostática e 25% da taxa de aplicação do padrão agricultor. O depósito da pulverização e as perdas para o solo foram avaliados em três fases de crescimento das plantas de pimentão, correspondendo as alturas de 0,7, 1,4 e 2,1 m. Na altura de 2,1 m, também foi avaliada a cobertura da pulverização. O efeito das técnicas de aplicação sobre o depósito é variável em função da altura de plantas, profundidade do

¹: Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico Crop Protection

dossel e superfície foliar. A técnica com redução de 50% na taxa de aplicação do pulverizador hidráulico (HVR) reduz o depósito na superfície abaxial das folhas e a cobertura em ambas as superfícies das folhas do pimentão, em comparação a técnica padrão agricultor (HPA). O uso da pulverização pneumática com eletrostática (PAAE) aumenta a cobertura da pulverização na superfície abaxial da parte externa das plantas de pimentão, em relação as demais técnicas em estudo. A técnica pneumática com eletrostática ligada (PAAE) proporciona depósito e cobertura igual ou superior a técnica pneumática com eletrostática desligada (PAA). O depósito proporcionado pela técnica padrão agricultor (PAA) situa-se entre os maiores níveis para a superfície adaxial das folhas, enquanto que o depósito proporcionado pela técnica pneumática com eletrostática (PAAE) situa-se entre os maiores níveis para a superfície abaxial das folhas do pimentão. As técnicas pneumáticas, com ou sem eletrostática (PAAE e PAA), proporcionam menor perda para o solo em relação as técnicas hidráulicas (HVR e HPA).

Palavras-chave: Taxa de aplicação. Pulverização. Eletrostática. Assistência de ar.

CHAPTER 1 - PESTICIDE APPLICATION TECHNIQUES IN GREENHOUSE BELL PEPPERS CROPS

ABSTRACT

For the cultivation of peppers in greenhouse, there is a lack of scientific information to help define the technique to be used in the application of phytosanitary products. The objective of this research was to evaluate the effects of the reduction of the application rate and the inclusion of pneumatic spraying with and without electrostatic, in the deposit and coverage of the application, and in the losses of pesticides to the soil, in the pepper crop, under a greenhouse. Four application techniques constituted the treatments: HPA (Farmer Standard Hydraulics) – Hydraulic spraying, with JA-2 spray tips (700 kPa) and variable application rate according to the height of the plants; HVR (Reduced Volume Hydraulics) – Hydraulic spraying, with JA -1 spray tips (700 kPa) and 50% of the farmer standard application rate; PAAE (Pneumatics: air and electrostatic assistance) – Pneumatic spraying with electrostatics and 25% of the farmer standard application rate; PAA (Pneumatics: air and electrostatic assistance off) – Pneumatic spraying with electrostatic and 25% farmer standard application rate. The spray deposit and soil losses were evaluated in three growth phases of the pepper crop, corresponding to heights of 0.7, 1.4 and 2.1 m. At the height of 2.1 m, spray coverage was also evaluated. The effect of application techniques on the deposit is variable as a function of plant height, canopy depth and leaf surface. The technique with a 50% reduction in hydraulic sprayer application rate (HVR) reduces deposition on the abaxial leaf surface and coverage on both surfaces of bell pepper leaves, compared to the standard farmer technique (HPA). The use of pneumatic electrostatic

spraying (PAAE) increases the spraying coverage on the abaxial surface of the external part of the pepper plants, in relation to the other techniques under study. The pneumatic technique with electrostatics on (PAAE) provides deposit and coverage equal to or greater than the pneumatic technique with electrostatics off (PAA). Pneumatic techniques, with or without electrostatics (PAAE and PAA), provide less loss to the soil than hydraulic techniques (HVR and HPA). The deposit provided by the standard farmer technique (PAA) is between the highest levels for the adaxial surface of the leaves, while the deposit provided by the pneumatic technique with electrostatic (PAAE) it is among the highest levels for the abaxial surface of bell pepper leaves.

Keywords: Application rate. Spray. Electrostatics. Air-assistance.

80 1.1 INTRODUÇÃO

81 Na olericultura brasileira, há crescente demanda de produtos fitossanitários para
82 o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Em contrapartida, denota-se
83 que o setor está atrasado em termos de equipamentos e informações científicas sobre
84 tecnologia de aplicação, quando comparado aos outros setores da agricultura, como
85 o de grãos e fruticultura (LLOP et al., 2015).

86 Em olerícolas cultivadas sob ambiente protegido, as dificuldades são ainda
87 maiores. Isso ocorre principalmente devido às estruturas das casas de vegetação, que
88 dificultam o deslocamento e manobra de sistemas mecanizados em seu interior
89 (NUYTTENS; WINDEY; SONCK, 2004, GONZALES et al., 2009; WANG et al., 2021).
90 Dessa forma, são comuns as aplicações com pulverizadores costais e
91 semiestacionários, que demandam mão de obra intensiva e possuem alto risco de
92 contaminação dos operadores (RINCÓN et al., 2018; CERRUTO et al., 2018).

93 Pesquisas realizadas em diversos países mostram que as técnicas de aplicação
94 convencionais utilizadas em cultivo protegido resultam baixo nível de depósito no alvo
95 e perdas por deriva (SÁNCHEZ - HERMOSILLA et al., 2013, RINCON et al., 2017;
96 RINCON et al., 2020). Também é frequente a distribuição irregular do produto
97 fitossanitário no alvo. A superfície abaxial das folhas e partes internas do dossel são
98 os pontos mais difíceis de alcance pelas gotas de pulverização (LLOP et al., 2015,
99 DARIO et al., 2020).

100 Outro problema é o estabelecimento da taxa de aplicação (volume de
101 calda/hectare) sem considerar as características do dossel das culturas no momento
102 da aplicação (SÁNCHEZ-HERMOSILLA et al., 2013). Sem esse ajuste, o volume
103 aplicado pode exceder o necessário para garantir a qualidade da aplicação,

104 ocasionando desperdício de recursos e/ou contaminação ambiental (FERGUSON *et*
105 *al.*, 2016; OLIVEIRA NETO *et al.*, 2018).

106 Diante das dificuldades em promover a deposição e cobertura da pulverização das
107 partes mais internas do dossel e superfície adaxial das folhas, associada à escassez
108 de informações para melhorar eficiência da aplicação de produtos fitossanitários em
109 olerícolas, técnicas alternativas precisam ser avaliadas na olericultura em cultivo
110 protegido no Brasil. Algumas pesquisas indicam que o uso de assistência de ar e a
111 transferência de carga elétrica às gotas da pulverização (eletrostática) podem
112 constituir alternativa para melhorar a eficiência das aplicações.

113 A inclusão da assistência de ar nos equipamentos de aplicação incrementa a
114 penetração das gotas de pulverização no dossel da cultura (BADULES *et al.*, 2018),
115 principalmente em cultivos com alta densidade foliar (LLOP *et al.*, 2015). Em tomateiro
116 cultivado em ambiente protegido, a pulverização com assistência de ar permitiu
117 reduzir a taxa de aplicação, mantendo ou até melhorando a cobertura do alvo (LLOP
118 *et al.*, 2015).

119 A pulverização eletrostática transfere carga elétrica às gotas de pulverização
120 resultando na atração das gotas pelo alvo, podendo aumentar a deposição
121 principalmente em pontos de difícil acesso, como a superfície abaxial das folhas
122 (DURAIRAJ, 2010; YANLIANG; QI; WEI, 2017, APPAH *et al.*, 2019; MASKI; MARTIN;
123 LATHEEF, 2017).

124 Em consideração aos problemas acima mencionados, o objetivo desta pesquisa
125 foi avaliar os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização
126 pneumática, com e sem eletrostática, no depósito e cobertura da aplicação, e nas
127 perdas de produtos fitossanitários para o solo, na cultura do pimentão sob ambiente
128 protegido.

129

130 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

131 1.2.1 Caracterização da área experimental

132

133 Duas replicações do experimento foram conduzidas nas safras 2019 e 2020, em
134 área de cultivo comercial de pimentão (22°47'03"S, 49°30'14"W), no município de
135 Santa Cruz do Rio Pardo, SP, Brasil.

136 Os cultivos foram conduzidos em casa de vegetação modelo londrina, com 600
137 m² (30 x 20 m), pé direito de 3,8 m (lado mais alto) e 3,0 (lado mais baixo), coberta
138 com filme de polietileno de 100 µm.

139 O híbrido de pimentão cultivado foi o Pampa®/HM Clause, de frutos do tipo lamuyo
140 vermelho. As mudas foram transplantadas nas respectivas safras em 18/03/2019 e
141 03/02/2020, com espaçamento de 0,35 m entre plantas e 1,52 m entre as linhas de
142 plantio. As plantas foram tutoradas na vertical e sustentadas em fios horizontais de
143 polietileno fixados em hastes de bambu.

144 Os tratos culturais como adubação, irrigação, fertirrigação, desbrota, tutoramento
145 e controle de pragas, doenças e plantas daninhas foram realizados pelo produtor na
146 área comercial de acordo com a recomendação feita pela assistência técnica.

147

148 1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

149

150 Como o dossel da cultura estava homogêneo em toda a casa de vegetação, foi
151 adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em cinco repetições. Cada
152 unidade experimental foi representada por oito metros de uma linha de cultivo, sendo
153 que somente os seis metros centrais foram considerados como parcela útil. As

154 unidades experimentais foram distribuídas de forma alternada na casa de vegetação,
155 deixando uma linha em ambos os lados como bordadura.

156 As avaliações de depósito da pulverização e perdas para o solo foram realizadas
157 em três fases de crescimento das plantas, correspondendo as alturas de 0,7, 1,4 e 2,1
158 m. A cobertura foi avaliada somente quando as plantas estavam com 2,1 m de altura.

159 Quatro técnicas de aplicação constituíram os tratamentos: HPA (Hidráulica
160 Padrão Agricultor) – Padrão do agricultor, lança manual contendo duas pontas de
161 pulverização hidráulicas de jato cônico vazio, modelo JA - 2 (700 kPa), gotas finas e
162 taxa de aplicação variável de acordo com a altura da cultura; HVR (Hidráulica Volume
163 Reduzido) – lança manual contendo duas pontas de pulverização hidráulicas de jato
164 cônico vazio, modelo JA - 1 (700 kPa), gotas finas e 50% da taxa de aplicação utilizada
165 no padrão agricultor; PAAE (Pneumática: assistência de ar e eletrostática) –
166 Pulverizador pneumático com pistola manual contendo bocal com assistência de ar +
167 eletrostático, gotas extremamente finas e 25% da taxa de aplicação utilizada no
168 padrão agricultor; PAA (Pneumática: assistência de ar) – Pulverizador pneumático
169 com pistola manual contendo bocal assistido por ar, sem eletrostática (desligado),
170 gotas extremamente finas e 25% da taxa de aplicação utilizada no padrão agricultor

171 O tratamento HPA (Hidráulica Padrão Agricultor) utilizou a taxa de aplicação
172 empregada pelo agricultor no momento das três alturas de plantas em que os
173 experimentos foram realizados (Tabela 1). Desta forma, HPA utiliza a taxa de
174 aplicação padrão do agricultor na área comercial, enquanto as técnicas HVR, PAAE e
175 PAA, possuem intuito de avaliar o efeito da utilização de taxas de aplicação menores.

176 Como a aplicação manual dificulta a obtenção da velocidade de deslocamento
177 precisa, a velocidade de aplicação de cada técnica foi mensurada individualmente

178 para possibilitar a obtenção da taxa de aplicação real (Tabela 1), considerando as
179 condições operacionais.

180

181 **Tabela 1** - Taxas de aplicação ($L\ ha^{-1}$) reais obtidas nas diferentes alturas de plantas
182 de pimentão, para as diferentes técnicas, nas safras 2019 e 2020.

Safra	Técnica de aplicação	Altura das plantas de pimentão (m)		
		0,7	1,4	2,1
2019	HPA	662	850	1360
	HVR	323	401	695
	PAAE	152	196	356
	PAA	146	207	370
2020	HPA	570	746	1102
	HVR	304	396	556
	PAAE	147	192	258
	PAA	152	193	265

183 HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com
184 assistência de ar e eletrostático e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostático.

185

186 Para aplicação das técnicas HPA e HVR, foi usado um pulverizador
187 semiestacionário, marca Yamaho®, equipado com uma lança manual com duas
188 pontas de pulverização hidráulicas. A lança conecta-se por uma mangueira de 40 m
189 de comprimento e 1/4" de diâmetro interno a uma bomba de três pistões, com vazão
190 máxima de $18\ L\ min^{-1}$, acionada por um motor ciclo Otto, quatro tempos de 3,73 kW
191 de potência. O sistema possui um controlador de pressão com manômetro na saída
192 da bomba de pulverização e retorno ao reservatório de calda (capacidade de 50 L).
193 Para monitorar a pressão de trabalho com maior precisão, também foi instalado um
194 manômetro junto à lança de pulverização.

Para aplicação das técnicas PAAE e PAA, foi utilizado um pulverizador eletrostático (modelo MBP 4.0, Electrostatic Spraying Systems, Watkinsville, GA, USA), provido de assistência de ar e sistema de indução eletrostática. A transferência de cargas elétricas às gotas é feita por indução indireta. A tensão do sistema é de 1 kV e a bateria recarregável contida na lança de pulverização é de 9 Volts (V). A formação e fracionamento das gotas é feita pelo princípio pneumático, com geração de ar por um compressor, acionado por um motor ciclo Otto, quatro tempos e 4,85 kW de potência. O ar gerado pelo compressor é conduzido até a pistola de pulverização por uma mangueira de 30 m de comprimento e 1/2" de diâmetro interno. O diâmetro mediano volumétrico (DMV) do espectro de gotas gerado é de 40 micrometros de acordo com o fabricante, resultando em uma relação carga/massa de 5,3 $\mu\text{C/g}$. O equipamento possui reservatório de calda com capacidade de 15 L e alças para adaptação costal.

1.2.3 Avaliação do índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) foi quantificado nas vésperas de cada aplicação para avaliação do depósito e perdas para o solo (Tabela 1). Seis plantas foram escolhidas aleatoriamente e retiradas todas as folhas, para mensuração da área foliar com o equipamento de bancada, marca Licor, modelo LI-3100C Area Meter®. Posteriormente o IAF foi calculado pela Equação 1.

$$IAF = \frac{AF}{E.D.N} \quad (1)$$

Em que: IAF é o Índice de Área Foliar; AF é a soma da área foliar das plantas amostradas (m^2); E é o espaçamento entre plantas (m), D é o espaçamento entre linhas (m) e N é o número de plantas amostradas.

221

1.2.4 Avaliação do depósito e perdas para o solo

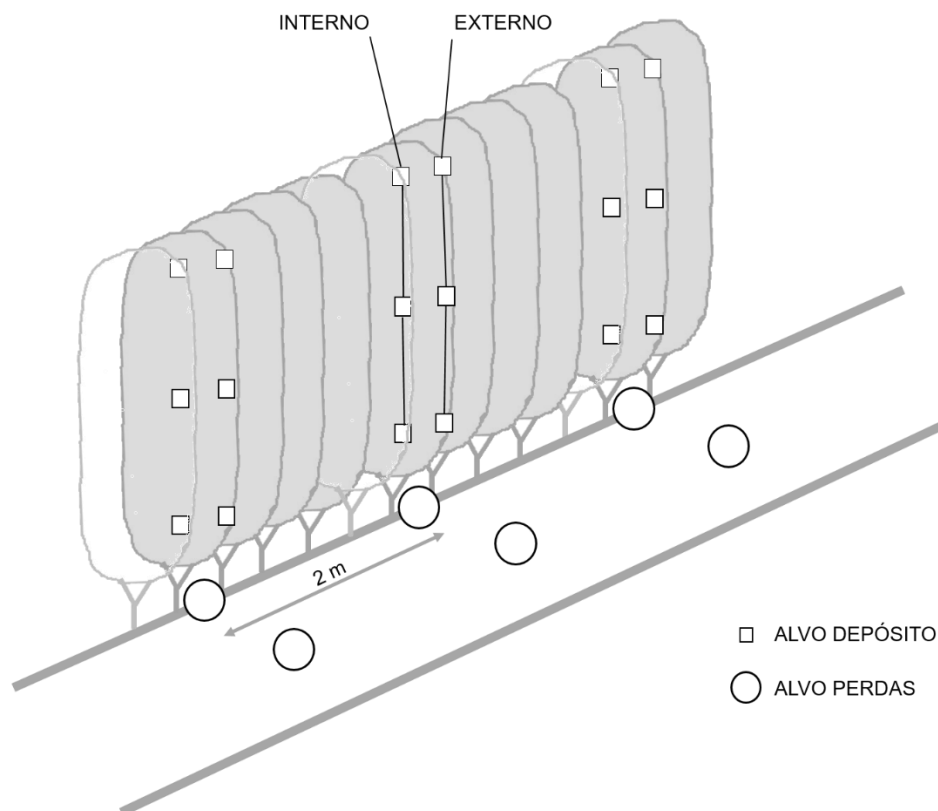
223

A mensuração foi realizada em duas profundidades no dossel no sentido vertical (parte interna e parte externa às plantas) e ambas as superfícies foliares (abaxial e adaxial). Como o dossel tem certa simetria, foi utilizado apenas o lado direito para ser considerado como parte externa, porém as aplicações foram realizadas em ambos os lados da linha cultivo, conforme prática comumente adotada nas lavouras comerciais.

Para o experimento realizado com altura de 0,7 m, cada unidade experimental foi dividida em 6 pontos amostrais na parte interna e 6 na parte externa do dossel. Para os experimentos realizados com alturas de plantas de 1,4 e 2,1 m, cada unidade experimental, foi dividida em 9 pontos amostrais na parte interna e 9 na parte externa do dossel, conforme figura 1. Em cada ponto amostral, foi escolhida uma folha aleatoriamente e fixado um papel filtro (3 x 3 cm) na superfície adaxial e outro na superfície na abaxial da mesma.

236

Figura 1 - Disposição dos pontos amostrais de avaliação do depósito no sentido vertical, externo e interno ao dossel, e de perdas para o solo na posição abaixo das plantas e corredores da casa de vegetação.



Como marcador, foi adicionado à calda de pulverização o fungicida Status® SC (350 g L⁻¹ de oxicleto de cobre), na concentração de 2,0 mL p.c L⁻¹ para a técnica HPA; 4,0 mL p.c L⁻¹ para a técnica HVR; e 8,0 mL p.c L⁻¹ para as técnicas PAAE e PAA. A diferença de concentração do marcador entre as técnicas ocorreu em função da taxa de aplicação, com intuito de aplicar valores próximos de massa de marcador por área.

Durante as aplicações, os dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foram monitorados, visando identificar as variações das condições meteorológicas (Tabela 2).

251

252 **Tabela 2** - Índice de área foliar (IAF) e condições meteorológicas no momento das
 253 aplicações, nas diferentes alturas da cultura do pimentão, nas safras 2019
 254 e 2020.

Safra	Altura das plantas (m)	IAF	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)
2019	0,7	1,11	27 ± 3	60 ± 4
	1,4	3,21	28 ± 3	55 ± 5
	2,1	4,66	28 ± 2	62 ± 3
2020	0,7	0,95	22 ± 2	70 ± 3
	1,4	2,65	23 ± 2	65 ± 4
	2,1	3,92	27 ± 3	69 ± 4

255

256 Após as aplicações, os alvos artificiais (papel filtro) foram retirados das folhas
 257 e colocados individualmente em frascos plásticos com capacidade de 100 mL.
 258 Posteriormente, em laboratório, foi adicionado 20 mL de solução de ácido nítrico a 1,0
 259 Mol/L em cada frasco, os quais foram agitados por 15 minutos, em mesa orbital com
 260 velocidade de 220 rpm, para remoção do marcador. O líquido resultante da agitação
 261 foi submetido a análise em espectrofotômetro de absorção atômica, marca
 262 SHIMADZU, model AA-6300, para quantificação da concentração do íon cobre (Cu),
 263 conforme metodologias utilizadas por Braekman et al. (2009) e Christovam et al.
 264 (2010).

265 De posse dos valores de concentração, foi determinada a massa de cobre
 266 metálico capturada por área de alvo artificial ($\mu\text{g cm}^{-2}$) (Equação 2).

267

268
$$D = \frac{[] \times v}{A} \quad (2)$$

269 Em que: D é o depósito de cobre metálico ($\mu\text{g cm}^{-2}$), $[]$ é a concentração na amostra
270 (mg L^{-1}), v é o volume de solução utilizada na remoção (mL) e A é a área da superfície
271 do alvo artificial (cm^2).

272

273 Multiplicando-se a taxa de aplicação real (L ha^{-1}) (Tabela 1) pela concentração de
274 marcador adicionado a calda (mL p.c L^{-1}), obteve-se a massa real de marcador por
275 área (mg ha^{-1}).

276 Em seguida, foram estabelecidos fatores de correção afim de normalizar a massa
277 de marcador por área (mg ha^{-1}) entre os tratamentos e corrigir diferentes ocorridas em
278 função de pequenos erros na velocidade de deslocamento do operador. Para isso,
279 dividiu-se o valor do tratamento que aplicou maior massa de marcador por área (mg
280 ha^{-1}) pelo massa aplicada no respectivo tratamento. Posteriormente, os dados de
281 depósito ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de cada tratamento foram multiplicados pelos seus respectivos
282 fatores de correção.

283 As perdas para o solo foram avaliadas concomitantemente as avaliações de
284 depósito. Imediatamente antes da aplicação dos tratamentos, alvos de papel filtro em
285 formato circular (8,5 cm de diâmetro) foram colocados em placas de Petri, as quais
286 foram dispostas sobre o solo, abaixo das plantas (linha de cultivo) e no corredor
287 (entrelinha) (Figura 1). Em cada unidade experimental, três placas de Petri foram
288 colocadas abaixo das plantas e três no corredor, sempre espaçadas de dois metros
289 entre si.

290 Após a aplicação dos tratamentos, as placas de Petri foram recolhidas e tampadas
291 para evitar contaminação. Em seguida, o papel filtro foi retirado da placa de Petri e
292 fracionado em seis partes iguais, para facilitar a remoção do marcador cúprico, e

colocados em frascos de 100 mL. Posteriormente foram adicionados 35 mL da solução extratora de ácido nítrico a 1,0 Mol/L para remoção do marcador. A quantificação do marcador foi realizada com a mesma metodologia anteriormente descrita, para o depósito no dossel.

1.2.5 Avaliação da cobertura

A cobertura da pulverização foi avaliada somente na maior altura (2,1 m), em ambas as safras, concomitantemente as avaliações de depósito. Os pontos amostrais seguiram a mesma disposição para avaliação do depósito.

A avaliação foi realizada pela determinação da porcentagem de cobertura das folhas pelo marcador Amarelo Fluorescente FD&C Yellow n.5, adicionado à calda de pulverização (7,0 g L⁻¹). A concentração de 7,0 g L⁻¹ foi estabelecida em testes prévios, visando obter visualização adequada do marcador nas pulverizações com o equipamento eletrostático, o qual produz gotas extremamente finas.

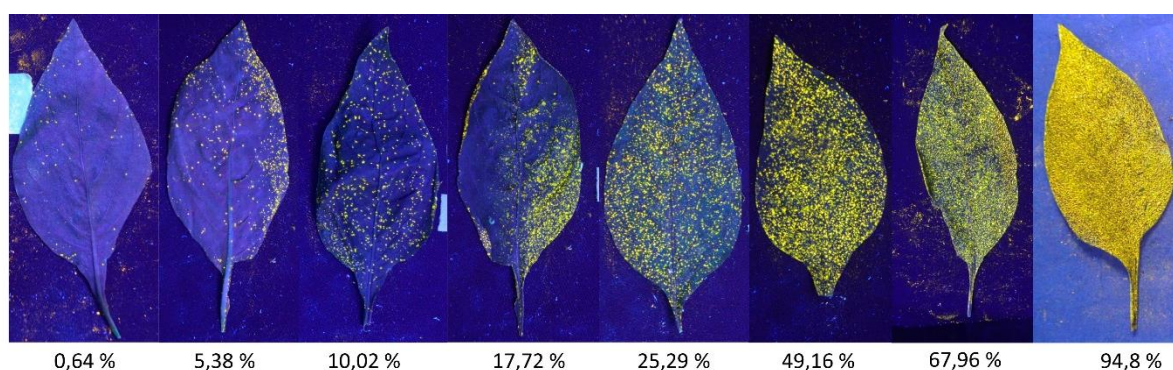
Imediatamente após a aplicação das técnicas, em cada ponto de avaliação, uma folha foi coletada de forma aleatória e armazenada em saco de papel (10 x 25 cm). Para permitir a visualização do marcador fluorescente nas folhas, utilizou-se um ambiente desprovido de luz natural, com projeção de luz ultravioleta (BL 15 BLB).

A porcentagem da superfície coberta pelo marcador foi determinada visualmente por duas pessoas (duplo cego), comparando as folhas pulverizadas com uma escala de níveis absolutos de cobertura, previamente estabelecida (Figura 2).

Para estabelecimento dessa escala, foram selecionadas oito folhas pulverizadas na mesma condição do experimento, de forma que as mesmas apresentassem diferentes níveis de cobertura. As folhas selecionadas foram fotografadas no mesmo

ambiente de avaliação visual da cobertura, com câmera digital NIKON D5100, lente de 18-55 mm, a distância de 0,30 m, sem flash e zoom definido de acordo com o ajuste do foco, obtendo imagens em formato JPEG, resolução de 350 dpi. Posteriormente, as imagens foram submetidas ao software Assess[®] versão 2.0 (Lamari, Department of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada), para quantificação da porcentagem de cobertura foliar pelo marcador.

Figura 2 - Escala de níveis absolutos de cobertura em folhas de pimentão.



1.2.6 Análise estatística

Para o depósito e a cobertura, os dados de cada profundidade do dossel (interno e externo) e superfícies da folha (abaxial e adaxial) foram analisados separadamente. Relativo às perdas para o solo, os dados da posição abaixo das plantas e corredor foram analisados separadamente.

A normalidade de todos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e a homogeneidade das variâncias pelo teste Levene.

Os dados de depósito e perdas para o solo não apresentaram distribuição normal, portanto o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) foi aplicado para verificar

338 diferença entre os tratamentos e quando significativo, as medianas foram
339 diferenciadas pelo Kruskal-Wallis Rank's ($p < 0,05$).

340 Os dados de cobertura foram normais com variâncias homogêneas, portanto
341 aplicou-se a análise de variância conjunta ($p < 0,05$) das safras de 2019 e 2020,
342 conforme os critérios propostos por Pimentel Gomes (1985). As médias conjuntas dos
343 tratamentos foram comparadas pelo teste LSD ($p < 0,05$).

344

345 **1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

346 **1.3.1 Depósito na safra 2019**

347

348 O efeito das técnicas de aplicação no depósito foi variável entre as alturas de
349 plantas, profundidades no dossel e superfícies foliares. Portanto, os resultados foram
350 apresentados e discutidos separadamente, visando elucidar as características das
351 técnicas de aplicação para as diferentes situações.

352 Na superfície adaxial das folhas da parte externa do dossel, a técnica PAA
353 apresentou depósito inferior às demais técnicas, com exceção da fase de 0,7 m de
354 altura de plantas, onde a mesma não diferiu de PAAE e HVR, porém, foi inferior a HPA
355 (Tabela 3).

356 Na parte interna do dossel, as técnicas com pulverizador hidráulico (HPA e HVR)
357 foram superiores as pneumáticas (PAAE e PAA), resultando em maior deposição na
358 superfície adaxial das folhas de pimentão, independente da altura de plantas.

359 Esses resultados podem ter ocorrido devido ao menor tamanho das gotas
360 proporcionado pelas técnicas pneumáticas. Durante a pulverização na cultura do
361 pimentão, a gota é lançada em sentido horizontal, portanto, deve vencer a resistência

362 do ar para atingir a parte mais interna do dossel. Gotas menores tem maior dificuldade
363 de vencer a resistência gravitacional devido a sua menor massa, o que pode ter
364 dificultado sua penetração no interior do dossel, mesmo com a assistência de ar
365 inclusa no pulverizador pneumático.

366 Segundo Holterman (2003), se uma gota for projetada horizontalmente, ela
367 desacelera, sendo a distância total percorrida horizontalmente chamada de 'distância
368 de parada', e quanto menor o diâmetro dessa gota, menor a distância horizontal
369 percorrida pela mesma. Além disso, é amplamente difundido na literatura que gotas
370 menores possuem maior potencial de perda por evaporação e/ou desvio de sua
371 trajetória (HOLTERMAN, 2003).

Tabela 3 - Medianas de depósito do marcador cúprico ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em função das diferentes técnicas de aplicação, em ambas superfícies foliares, posições do dossel e alturas da cultura do pimentão, na safra 2019.

Técnicas de aplicação	Adaxial		Abaxial	
	Externo	Interno	Externo	Interno
Cultivo de pimentão com 0,7 m de altura (estádio 1)				
HPA	5,02 a	3,06 a	0,55	0,84
HVR	4,24 ab	3,44 a	0,47	0,56
PAAE	3,65 ab	1,49 b	0,81	0,96
PAA	2,76 b	1,70 b	0,60	0,82
Cultivo de pimentão com 1,4 m de altura (estádio 2)				
HPA	0,64 a	0,44 a	0,13 b	0,09 b
HVR	0,89 a	0,49 a	0,14 b	0,12 b
PAAE	0,58 a	0,21 b	0,28 a	0,17 a
PAA	0,32 b	0,23 b	0,25 a	0,10 b
Cultivo de pimentão com 2,1 m de altura (estádio 3)				
HPA	2,57 a	0,65 a	1,07 a	0,73 a
HVR	1,21 a	0,78 a	0,26 b	0,24 b
PAAE	1,36 a	0,35 b	1,22 a	0,50 ab
PAA	0,65 b	0,26 b	0,77 a	0,30 b

Letras diferentes indicam diferença significativa entre as técnicas de aplicação, dentro de cada posição do dossel e estágio de desenvolvimento da cultura, pelo teste de Kruskal-Wallis Rank's ($p < 0,05$). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido (1/2); PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostática e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostática.

Considerando a deposição da pulverização na superfície adaxial em ambas profundidades do dossel (interna e externa), observa-se que o uso da eletrostática

382 aumentou o depósito em relação a pneumática sem eletrostática, na parte externa do
383 dossel. Este fato possibilitou ao equipamento pneumático a obtenção de deposição
384 equivalente ao hidráulico, em todos os estádios de desenvolvimento das plantas,
385 usando apenas 25% da taxa de aplicação usada pelo agricultor. Entretanto na parte
386 interna, não houve vantagem na utilização da eletrostática.

387 É conhecido na literatura que a pulverização eletrostática tem maior eficiência nas
388 extremidades das plantas, posicionadas mais próximas ao bico de pulverização
389 (BAYER *et al.*, 2011; CERQUEIRA *et al.*, 2017). Como exemplo, na cultura do
390 crisântemo, em ambiente protegido, a técnica de pulverização pneumática combinada
391 à eletrostática foi mais eficiente em aumentar a deposição no estrato superior,
392 enquanto nos estratos médio e inferior, não houve vantagem na sua utilização
393 (CERQUEIRA *et al.*, 2017).

394 O acréscimo de deposição na parte externa do dossel em pulverizações
395 eletrostáticas ocorre devido ao fato de que um objeto dotado de carga elétrica tende
396 a descarregar no corpo aterrado mais próximo (SASAKI *et al.*, 2013). Assim, na cultura
397 do pimentão, as gotas são lançadas no sentido horizontal e, desta forma, a parte mais
398 próxima do bico de pulverização é a externa do dossel, o que pode ter possibilitado
399 maior deposição da técnica PAAE em relação a PAA.

400 Com relação à deposição na superfície abaxial das folhas, os resultados
401 apresentaram maior distinção entre as diferentes alturas da cultura, em comparação
402 a superfície adaxial, onde as diferentes alturas apresentaram comportamento de
403 deposição similar

404 Na parte externa do dossel, não houve diferença entre as técnicas de aplicação
405 para altura de 0,7 m. Na altura de 1,4 m, as técnicas de aplicação pneumáticas (PAAE
406 e PAA), foram superiores as técnicas hidráulicas (HPA e HVR). Enquanto na altura de

407 2,1 m, a técnica HVR proporcionou a menor deposição, e as demais técnicas não
408 diferiram entre si.

409 Na parte interna do dossel, também não houve diferenças entre as técnicas de
410 aplicação, com as plantas na altura de 0,7 m. Para a altura de 1,4 m, a técnica PAAE
411 proporcionou o maior depósito, enquanto as demais técnicas não diferiram entre si.
412 Na altura de 2,1 m, a técnica HPA foi superior HVR e PAA, porém não diferiu de PAAE.

413 Em síntese, para a superfície abaxial, observa-se que a técnica HVR situou-se
414 entre os menores depósitos, exceto na menor altura, onde não houve diferenças.
415 Nesse sentido, a redução de 50% da taxa de aplicação convencional utilizada pelo
416 agricultor comprometeu a deposição nesta superfície foliar, contrapondo os resultados
417 da superfície adaxial, onde não houve efeito prejudicial à deposição devido ao menor
418 volume aplicado.

419 Em contrapartida, a técnica PAAE situou-se entre os maiores depósitos na
420 superfície abaxial, indicando que o uso da eletrostática pode auxiliar na deposição
421 para esta superfície foliar. Esses resultados estão de acordo com pesquisas
422 realizadas em diversas culturas a campo aberto, onde a eletrostática tem sido
423 promissora em promover aumento da deposição na superfície abaxial das folhas
424 (APPAH *et al.*, 2019).

425 Pesquisas realizadas nas culturas do pimentão e tomate em ambiente protegido
426 têm demonstrado baixa deposição na superfície abaxial quando comparada à adaxial
427 (SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.*, 2013; LLOP *et al.*, 2015; RINCON *et al.*, 2017;
428 DARIO *et al.*, 2020). Nesse sentido, espera-se que técnicas de pulverização que
429 proporcionem aumento da deposição nesta superfície possam otimizar o tratamento
430 fitossanitário, principalmente considerando que a maioria das pragas e doenças na
431 cultura do pimentão ocorrem na superfície abaxial das folhas. Como exemplo, as

ninfas de mosca branca: *Bemisia tabaci* Gennadius biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) (FANELA *et al.*, 2016) e o patógeno causador do oídio: *Oidiopsis taurica* Salmon (TSROR; LEBIUSH; SHAPIRA, 2004; LOPEZ *et al.*, 2019) são importantes agentes causadores de danos à cultura.

1.3.2 Depósito na safra 2020

Na safra 2020, os resultados evidenciaram algumas diferenças em relação à 2019. Na superfície adaxial das folhas, ao comparar apenas as técnicas de aplicação com o pulverizador hidráulico (HPA e HVR), tanto na posição externa como interna do dossel, não houve diferença nos depósitos, independentemente da altura de plantas, corroborando com os resultados obtidos na safra anterior (Tabela 4).

Ainda sobre a superfície adaxial, ao comparar somente as técnicas pneumáticas, o uso da eletrostática aumentou o depósito somente na menor altura de plantas (0,7 m), na posição externa do dossel, e na maior altura de plantas (2,1 m), na posição interna do dossel. Nas demais situações, houve equivalência dos níveis de depósito entre as técnicas pneumáticas, PAAE e PAA. Esses resultados diferem daqueles obtidos na safra 2019, onde a eletrostática aumentou a deposição na posição externa do dossel em comparação à técnica pneumática sem eletrostática, independente da altura das plantas.

Pesquisas têm demonstrado que o efeito da eletrostática na pulverização é bastante variável em diferentes situações. Isso ocorre devido a sua dependência sob diversos fatores (APPAH *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2021). Como exemplos, a inclinação das folhas em relação ao plano horizontal pode aumentar a deposição na superfície adaxial (MASKI; DURAI, 2010). Outro estudo demonstrou que o aumento no teor de

457 água nas folhas, possui correlação positiva com a deposição de gotas eletricamente
458 carregadas (MA *et al.*, 2021).

459 Com base na literatura, evidencia-se que muitas variáveis estão envolvidas na
460 deposição de gotas dotadas de carga elétrica, o que pode explicar as diferenças
461 ocorridas entre estádios de avaliação e safras no presente estudo. Como também a
462 inconstância nos resultados de pesquisas que avaliaram o efeito da pulverização
463 eletrostática sobre os parâmetros quali-quantitativos da pulverização e eficiência
464 biológica dos produtos fitossanitários. As variáveis causadoras de diferenças nos
465 níveis de depósito, anteriormente citadas, não são mencionadas na maioria dos
466 experimentos de tecnologia de aplicação.

467

Tabela 4 - Medianas de depósito do marcador cúprico ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em função das diferentes técnicas de aplicação, em ambas as superfícies foliares, posições do dossel e alturas da cultura do pimentão, na safra 2020.

Técnicas de aplicação	Adaxial		Abaxial	
	Externo	Interno	Externo	Interno
Cultivo de pimentão com 0,7 m de altura				
HPA	2,06 a	1,47 a	0,15 b	0,11 b
HVR	2,73 a	1,94 a	0,10 b	0,06 b
PAAE	0,97 b	0,52 b	0,52 a	0,23 a
PAA	0,48 c	0,32 b	0,45 a	0,21 a
Cultivo de pimentão com 1,4 m de altura				
HPA	0,71 a	0,45 a	0,32 a	0,20 a
HVR	0,92 a	0,64 a	0,15 b	0,13 b
PAAE	0,49 b	0,15 b	0,35 a	0,18 a
PAA	0,40 b	0,08 b	0,58 a	0,13 b
Cultivo de pimentão com 2,1 m de altura				
HPA	1,23 a	0,63 a	0,57 a	0,24
HVR	1,24 a	0,38 a	0,25 b	0,23
PAAE	0,26 b	0,16 b	0,37 ab	0,32
PAA	0,15 b	0,08 c	0,41 ab	0,20

Letras diferentes indicam diferença significativa entre as técnicas de aplicação, dentro de cada posição do dossel e estágio de desenvolvimento da cultura, pelo teste de Kruskal-Wallis Rank's ($p < 0,05$). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostática e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostática.

Com relação à superfície abaxial das folhas, em concordância com a safra 2019, os resultados apresentaram maior distinção entre as alturas de plantas.

478 Na altura de 0,7 m, as técnicas pneumáticas proporcionaram depósito superior as
479 hidráulicas, em ambas profundidades do dossel. Sendo assim, apesar da pulverização
480 pneumática ter reduzido o depósito na superfície adaxial, houve aumento na abaxial.
481 Conforme já discutido, aumentar o depósito na superfície abaxial é necessário na
482 aplicação de produtos fitossanitários, uma vez que essa superfície apresenta maior
483 dificuldade de ser atingida pelas gotas da pulverização na cultura do pimentão
484 (RINCON *et al.*, 2017).

485 Na altura de 1,4 m na posição externa do dossel, a técnica HRV apresentou a
486 menor deposição, enquanto as demais técnicas não diferiram entre si. Já na parte
487 interna do dossel, as técnicas, HPA e PAAE não diferiram entre si e foram superiores
488 a HVR e PAA.

489 Na altura de 2,1 m, na posição externa do dossel, houve diferenças entre as
490 técnicas HPA e HVR, sendo que a última apresentou deposição inferior. Já as técnicas
491 PAAE e PAA apresentaram comportamento intermediário, não apresentando
492 diferenças entre si e das técnicas com pulverizador hidráulico (HPA e HVR). Na
493 superfície abaxial da posição interna do dossel, não houve diferenças.

494 As diferenças no efeito das técnicas de aplicação para as diferentes alturas de
495 plantas e safras ocorrem devido as características do dossel não serem distintas,
496 conforme verificado. O IAF foi menor na safra 2020 para todas as alturas de plantas
497 (Tabela 1).

498 Além do IAF, há outras características do dossel que podem ser alteradas de uma
499 safra para outra, ou mesmo entre os estádios de desenvolvimento da cultura. Como
500 exemplo, a densidade e disposição de folhas. As características do dossel influenciam
501 diretamente na deposição (GARCERÁ *et al.*, 2021), podendo influenciar na eficiência
502 das técnicas de aplicação.

Apesar do experimento ter sido realizado em ambiente protegido, a estrutura da casa de vegetação não possui controle de variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade por exemplo. Esses fatores podem causar modificações fisiológicas na cultura, afetando as características do dossel (REIS *et al.*, 2013; SCHMIDT *et al.*, 2017; PEDÓ *et al.*, 2021).

Além disso, é amplamente difundido que as condições meteorológicas influenciam diretamente no potencial de deposição e perdas na aplicação, contribuindo ainda mais para que os resultados apresentem algumas distinções entre as fases e safras avaliadas (BALAN *et al.*, 2008; BUENO; CUNHA; SANTANA, 2017).

As diferenças acima mencionadas caracterizam a importância das replicações dos experimentos de tecnologia de aplicação em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e diferentes safras, a fim de impedir que conclusões sejam estabelecidas com bases em situações pouco representativas.

Embora haja diferenças em função das alturas de planta e safras, observa-se que alguns resultados são comuns. A técnica HVR, apesar de manter a deposição equivalente à HPA na superfície adaxial, não apresenta bom desempenho na superfície abaxial das folhas. Enquanto a técnica PAAE situa-se entre os maiores depósitos para a superfície abaxial. Em nenhuma das safras ou posições do dossel avaliadas, a técnica PAA foi superior a PAAE, evidenciando que eletrostática é indispensável para viabilizar a utilização do pulverizador pneumático avaliado na cultura do pimentão em ambiente protegido.

527 1.3.3 Perdas para o solo

528

529 Os efeitos das técnicas de aplicação nas perdas para o solo foram variáveis entre
530 os locais de amostragem, alturas de plantas e safras (Tabela 5).

531 Principalmente na posição abaixo das plantas, os valores medianos de perdas são
532 elevados, sendo numericamente semelhantes ao depósito no dossel. Perdas elevadas
533 para o solo são observadas em diversas pesquisas realizadas em cultivos em
534 ambiente protegido (SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.* 2011; 2012; RINCON *et al.*, 2017;
535 RINCON *et al.*, 2020). Esses resultados são preocupantes, uma vez que os produtos
536 fitossanitários depositados no solo podem causar contaminação ambiental e não
537 atuam efetivamente no controle da praga ou doença alvo.

538 Na cultura do pimentão, as folhas do estrato inferior da planta ficam próximas ao
539 solo, em função disso, é necessário direcionar o jato de pulverização as mesmas para
540 garantir a cobertura de toda a extensão das plantas. Esse fato contribui para que
541 depósito no solo seja intensificado, principalmente nos coletores posicionados abaixo
542 das plantas.

543 Na menor altura (0,7 m), observa-se que a técnica HPA proporciona perdas
544 superiores as técnicas pneumáticas (PAAE e PAA), independente dos locais de coleta
545 no solo. Com relação às técnicas HVR, as perdas são equivalentes a HPA na posição
546 abaixo das plantas, porém inferiores no corredor.

547 Na altura de 1,4 m, a maior perda ocorreu com a técnica HVR, independente da
548 posição de coleta no solo, exceto para o corredor na safra 2020, onde não houve
549 diferenças entre as técnicas de aplicação. Nesse sentido, para o referido estágio da
550 cultura, o pulverizador hidráulico com a menor taxa de aplicação aumenta as perdas
551 em relação a técnica convencional.

Tabela 5 - Medianas dos valores de perdas do marcador cúprico ($\mu\text{g cm}^{-2}$) no solo da linha de plantio e corredor da casa de vegetação, em função das diferentes técnicas de aplicação e altura do cultivo de pimentão, nas safras 2019 e 2020.

Técnicas de aplicação	Safr 2019		Safr 2020	
	Linha de plantio	Corredor	Linha de plantio	Corredor
Cultivo de pimentão com 0,7 m de altura				
HPA	1,81 a	1,61 a	1,10 a	0,79 a
HVR	1,70 a	0,98 b	1,33 a	0,23 b
PAAE	1,25 b	0,87 b	0,54 b	0,23 b
PAA	1,18 b	0,97 b	0,50 b	0,21 b
Cultivo de pimentão com 1,4 m de altura				
HPA	0,17 b	0,11 b	1,21 b	0,27 a
HVR	0,31 a	0,20 a	1,67 a	0,23 a
PAAE	0,18 b	0,11 b	0,50 c	0,12 a
PAA	0,19 b	0,11 b	0,40 c	0,16 a
Cultivo de pimentão com 2,1 m de altura				
HPA	2,39 a	0,73 a	4,05 a	0,04 a
HVR	1,91 a	0,61 a	3,96 a	0,03 a
PAAE	1,84 a	0,69 a	0,34 b	0,04 a
PAA	1,87 a	0,63 a	0,46 b	0,07 a

Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa entre as técnicas de aplicação, pelo teste de Kruskal-Wallis Rank's ($p < 0,05$). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostática e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostática.

561 Na maior altura (2,1 m), houve diferença apenas para a posição abaixo das
562 plantas na safra 2020, onde as técnicas HPA e HVR proporcionaram perdas
563 superiores a PAAE e PAA.

564 De maneira geral, observa-se que em todas as situações avaliadas as maiores
565 perdas variaram entre as técnicas hidráulicas HPA e/ou HVR. Esses resultados
566 indicam que as técnicas pneumáticas (PAAE e PAA) apresentam menor potencial de
567 perdas no solo.

568 O menor tamanho de gotas produzidas pelas técnicas pneumáticas pode ser o
569 fator que acarretou menor deposição no solo. Sánchez-Hermosilla *et al.* (2013)
570 também observaram menor perda para o solo ao reduzirem o tamanho das gotas. Os
571 autores atribuíram esse fato ao maior potencial de evaporação das gotas finas, nesse
572 sentido, as gotas podem evaporar antes de atingirem a superfície do solo.

573 Ao compararmos somente as técnicas pneumáticas entre si, o uso da eletrostática
574 não alterou as perdas em relação às técnicas sem eletrostática (PAAE), independente
575 da altura de plantas e posição no solo. Em ambiente protegido, ainda são escassas
576 pesquisas que avaliaram o efeito da eletrostática nas perdas para o solo,
577 impossibilitando a comparação dos presentes resultados com a literatura.

578

579 **1.3.4 Cobertura nas safras 2019 e 2020**

580

581 A cobertura da pulverização foi avaliada somente quando as plantas estavam com
582 2,1 m de altura. Foi realizada a análise conjunta das safras 2019 e 2020 para todas
583 as posições do dossel, pois a relação entre os maiores e menores quadrados médios
584 dos resíduos foram inferiores a 7 (Tabela 6), valor máximo aceitável, conforme
585 Pimentel Gomes (1985).

De acordo com a análise de variância conjunta, não houve diferença entre as safras e interação entre safras e técnicas. Entretanto, houve diferenças entre as técnicas de aplicação, exceto na superfície abaxial das folhas da parte interna do dossel.

Na superfície adaxial das folhas das partes externa e interna do dossel, a técnica HPA proporcionou maior nível de cobertura em relação as demais técnicas, as quais não diferiram entre si.

Esses resultados contrariam o depósito em ambas as safras (2019 e 2020), onde não houve diferença entre as técnicas com pulverizador hidráulico (HPA e HVR). Desta forma, apesar da redução da taxa de aplicação não comprometer a quantidade de produto depositado na superfície adaxial, a distribuição (cobertura) foi reduzida.

Várias pesquisas têm demonstrado que taxas de aplicação maiores resultam em melhores coberturas (LLOP *et al.*, 2015; DARIO *et al.*, 2020; PALMA *et al.*, 2021). Em lavouras comerciais de culturas olerícolas, é comum a utilização de taxas de aplicação altas. Alguns agricultores relatam que se sentem mais confiantes dessa forma, pois conseguem visualizar as gotas pulverizadas com maior facilidade sobre a superfície foliar (DERKSEN *et al.*, 2008).

No entanto, pesquisas demonstram que a cobertura da pulverização não pode ser relacionada somente a taxa de aplicação, sendo dependente também de outros fatores (FERGUSON *et al.*, 2016, PALMA *et al.*, 2021). Como exemplo, o tamanho das gotas pulverizadas, pressão de trabalho e o fator de espalhamento das gotas na superfície do alvo (COURSHEE, 1967; LLOP *et al.*, 2015; PALMA *et al.*, 2021). E ainda, tecnologias como assistência de ar e eletrostática também têm demonstrado alterações nos níveis de cobertura (COURSHEE, 1967; LLOP *et al.*, 2015; REZENDE *et al.*, 2017; PALMA *et al.*, 2021).

611 Em concordância a informação anterior, ao comparar somente a técnica HVR com
612 as pneumáticas (PAAE e PAA) na superfície adaxial, observa-se que apesar de HVR
613 utilizar o dobro da taxa de aplicação, não houve diferença de cobertura entre as
614 mesmas, podendo ser resultado do menor tamanho de gotas com estas técnicas e da
615 assistência de ar das técnicas pneumáticas.

616 Com relação à superfície abaxial das folhas, na posição externa do dossel, a
617 técnica pneumática com eletrostática (PAAE) proporcionou a maior cobertura
618 (42,07%), seguida pelas técnicas HPA (31,85%) e PAA (31,75%) com comportamento
619 intermediário, enquanto HVR proporcionou a menor cobertura (24,33%). Desta forma,
620 em concordância com os dados de depósito, o uso da técnica pneumática com
621 eletrostática pode ser uma alternativa para melhorar a qualidade da aplicação na
622 superfície abaxial das folhas, principalmente na posição externa do dossel,
623 considerando que na parte interna, não houve diferença na cobertura para as técnicas
624 de aplicação avaliadas.

625 A cobertura na superfície abaxial é uma das principais dificuldades da
626 pulverização. Na cultura do tomate em ambiente protegido, ao utilizar pontas de
627 pulverização hidráulica de jato cônico vazio e jato plano estendido, a cobertura média
628 da superfície adaxial foi 32%, valor 2,5 vezes menor em relação à adaxial, que obteve
629 média de 80% (DARIO *et al.*, 2020).

630 Este fato pode comprometer a eficiência das aplicações, principalmente na
631 utilização de produtos de contato, no controle de pragas e doenças localizadas nesta
632 superfície. Assim, sugere-se que a técnica pneumática com eletrostática pode ser uma
633 alternativa para melhorar a qualidade da aplicação na superfície abaxial das folhas,
634 podendo contribuir para o controle de pragas e doenças que se localizam
635 preferencialmente nesse ponto.

Tabela 6 - Valores médios de cobertura (%) nas superfícies abaxial e adaxial das folhas das posições externa e interna do dossel, obtidas pelas diferentes técnicas de aplicação, na análise conjunta das safras 2019 e 2020.

Técnicas de aplicação	Adaxial		Abaxial	
	Externa	Interna	Externa	Interna
HPA	68,37 a	41,18 a	31,85 b	28,47
HVR	46,92 b	26,79 b	24,33 c	15,09
PAAE	41,74 b	19,28 b	42,07 a	20,71
PAA	37,72 b	17,42 b	31,75 b	15,23
F _{técnicas}	10,55*	14,75*	20,13*	7,93 ^{NS}
F _{experimentos}	0,96 ^{NS}	6,35 ^{NS}	10,11 ^{NS}	0,62 ^{NS}
F _{trat x exp}	2,77 ^{NS}	2,78 ^{NS}	0,6 ^{NS}	2,1 ^{NS}
CV%	14,32	20,37	20,40	24,07
Maior QM / Menor QM**	1,56	2,55	1,58	1,64

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$). ^{NS} Não significativo pelo teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste LSD ($p < 0,05$). **Relação entre maior e menor quadrado médio dos resíduos das análises de variância individuais das safras. CV: Coeficiente de variação (%).

1.4 CONCLUSÕES

O efeito das técnicas de aplicação sobre o depósito é variável em função da altura de plantas, profundidade do dossel e superfície foliar.

A técnica com redução de 50% na taxa de aplicação do pulverizador hidráulico (HVR) reduz o depósito na superfície abaxial das folhas e a cobertura em ambas as superfícies das folhas do pimentão, em comparação a técnica padrão agricultor (HPA).

651 O uso da pulverização pneumática com eletrostática (PAAE) aumenta a cobertura
652 da pulverização na superfície abaxial da parte externa das plantas de pimentão, em
653 relação as demais técnicas em estudo.

654 A técnica pneumática com eletrostática ligada (PAAE) proporciona depósito e
655 cobertura igual ou superior a técnica pneumática com eletrostática desligada (PAA).

656 O depósito proporcionado pela técnica padrão agricultor (PAA) situa-se entre os
657 maiores níveis para a superfície adaxial das folhas, enquanto que o depósito
658 proporcionado pela técnica pneumática com eletrostática (PAAE) situa-se entre os
659 maiores níveis para a superfície abaxial das folhas do pimentão.

660 As técnicas pneumáticas com ou sem eletrostática proporcionam menor perda
661 para o solo em relação as técnicas hidráulicas.

662

663

664

REFERÊNCIAS

- 665
- 666
- 667 APPAH, S. *et al.* Review of electrostatic system parameters, charged droplets
 668 characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. **International**
 669 **Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 1-9, 2019.
- 670 BADULES, J. *et al.* Comparative study of CFD models of the air flow produced by an
 671 air-assisted sprayer adapted to the crop geometry. **Computers and Electronics in**
 672 **Agriculture**. v. 149, p. 166–174, 2018.
- 673 BALAN, M. G. *et al.* Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização
 674 sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p.
 675 293-298, 2008.
- 676 BAYER T, *et al.* Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de
 677 fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola**
 678 **Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 192-198, 2011.
- 679 BRAEKMAN, P.; FOQUE, D.; MESSENS, W.; VAN LABEKEM, C.; PIETERS, J.G.;
 680 NUYTENS, D. Effect of spray application technique on spray deposition in
 681 greenhouse strawberries and tomatoes. **Pest Management Sci**, v. 66, n. 2, p. 203–
 682 212, 2010
- 683 BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A.; SANTANA, D. G. Assessment of spray drift from
 684 pesticide applications in soybean crops. **Biosystems Engineering**, v. 154, p. 35-45,
 685 2017.
- 686 CERQUEIRA, D. T. R. *et al.* Optimization of spray deposition and *Tetranychus*
 687 *urticae* control with air assisted and electrostatic sprayer. **Scientia Agrícola**, v. 74, p.
 688 32-40, 2017.
- 689 CERRUTO, E *et al.* Operator dermal exposure to pesticides in tomato and strawberry
 690 greenhouses from hand-held sprayers. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2273, 2018.
- 691 CHRISTOVAM, R.; RAETANO, C.; DAL POGETTO, M. D. A.; PRADO, E.; JÚNIOR,
 692 H.; GIMENES, M.; SERRA, M. Effect of nozzle angle and air-jet parameters in air
 693 assisted sprayer on biological effect of soybean asian rust chemical protection.
 694 **Journal of Plant Protection Research**, v. 50, n. 3, p. 347-353, 2010.
- 695 COURSHÉE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, DC (ed).
 696 Fungicides, an advanced treatise. **New York: Academic Press**, 1967. p.240-284.
- 697 DARIO, G. *et al.* Application techniques of pesticides in greenhouse tomato crops.
 698 **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 146-152, 2020.
- 699 DERKSEN, R. C. *et al.* Comparing greenhouse handgun delivery to poinsettias by
 700 spray volume and quality. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 1, p. 27-35, 2008.

- 701 MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of charging voltage, application speed, target
702 height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial
703 surfaces. **Crop Protection**, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010.
- 704 OLIVEIRA NETO, A. M. *et al.* Eficiência e deposição de herbicidas na cebola em
705 função do adjuvante e da taxa de aplicação. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.
706 17, n. 4, p. 166-174, 2018.
- 707 FANELA T. L. M. *et al.* Lethal and inhibitory activities of plant-derived essential oils
708 against *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B in tomato.
709 **Neotropical Entomology**, v. 45, n. 2, p. 201–210, 2016
- 710 FERGUSON, J. C. *et al.* Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles
711 with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, v.
712 81, n. 1, p. 14-19, 2016.
- 713 GARCERÁ, C *et al.* Dose expression for pesticide application in citrus: influence of
714 canopy size and sprayer. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 1887, 2020.
- 715 GONZÁLEZ, R. *et al.* Navigation techniques for mobile robots in greenhouses.
716 **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 2, p. 153-165, 2009.
- 717 HOLTERMAN, H. J. Kinetics and evaporation of water drops in air. **Wageningen:**
718 **IMAG**, 2003.
- 719 LLOP, J. *et al.* Spray distribution evaluation of different settings of a hand-held-trolley
720 sprayer used in greenhouse tomato crops. **Pest management science**, v. 72, n. 3,
721 p. 505-516, 2015.
- 722 LÓPEZ, C. G. *et al.* Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) using *Trichoderma*
723 *asperellum* and *Metarhizium anisopliae* in different pepper types. **BioControl**, v. 64,
724 n. 1, p. 77-89, 2019.
- 725 MA, J. *et al.* Influence of plant leaf moisture content on retention of electrostatic-
726 induced droplets. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11685, 2021.
- 727 MARTIN, D. E.; LATHEEF, M. A. Aerial electrostatic spray deposition and canopy
728 penetration in cotton. **Journal of Electrostatics**, v. 90, p. 38-44, 2017.
- 729 NUYTTENS, D.; WINDEY, S.; SONCK, B. A. R. T. Comparison of operator exposure
730 for five different greenhouse spraying applications. **Journal of agricultural safety**
731 **and health**, v. 10, n. 3, p. 187, 2004.
- 732 PALMA, R P. *et al.* Multivariate analysis applied to spray deposition in ground
733 application of phytosanitary products in coffee plants. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p.
734 458-467, 2021.
- 735 PEDÓ, Ti. *et al.* Correlação entre caracteres fisiológicos e agronômicos para
736 tomateiro. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 120, n. 1, p. 068-068, 2021.

- 737 REIS, L.S. *et al.* Leaf area index and productivity of tomatoes under greenhouse
738 conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4,
739 p.386-391, 2013.
- 740 RINCON, V J. *et al.* Assessment of the influence of working pressure and application
741 rate on pesticide spray application with a hand-held spray gun on greenhouse pepper
742 crops. **Crop Protection**, v. 96, p. 7-13, 2017.
- 743 RINCON, Victor J. *et al.* Spray performance assessment of a remote-controlled
744 vehicle prototype for pesticide application in greenhouse tomato crops. **Science of**
745 **the Total Environment**, v. 726, p. 138509, 2020.
- 746 SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J. *et al.* Field evaluation of a self-propelled sprayer and
747 effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in
748 greenhouse tomato crops. **Pest Management Science**, v. 67, n.8, p. 942-947, 2011.
- 749 SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J. *et al.* Comparative spray deposits by manually pulled
750 trolley sprayer and a spray gun in greenhouse tomato crops. **Crop Protection**, v. 31,
751 n. 1, p. 119-124, 2012.
- 752 SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J *et al.* Evaluation of a fog cooling system for applying
753 plant-protection products in a greenhouse tomato crop. **Crop Protection**, v. 48, p.
754 76-81, 2013.
- 755 SASAKI, R. S. *et al.* Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação
756 em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v. 43, p.
757 1605-1609, 2013.
- 758 SCHMIDT, D *et al.* Caracterização fenológica, filocrono e requerimento térmico de
759 tomateiro italiano em dois ciclos de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p.
760 089-096. 2017.
- 761 TSROR, L.; LEBIUSH, M. S; SHAPIRA, N. Control of powdery mildew on organic
762 pepper. **IOBC/WPRS Bulletin**, v. 27, n. 8, p. 333-336, 2004.
- 763 YANLIANG, Z; QI, L; WEI, Z. Design and test of a six-rotor unmanned aerial vehicle
764 (UAV) electrostatic spraying system for crop protection. **International Journal of**
765 **Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 6, p. 68-76, 2017.
- 766 WANG, S. *et al.* Comparison of a new knapsack mist sprayer and three traditional
767 sprayers for pesticide application in plastic tunnel greenhouse. **Phytoparasitica**, p.
768 1-14, 2021.
- 769
- 770

CAPÍTULO 2

EXPOSIÇÃO DÉRMICA DO OPERADOR EM APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS COM PULVERIZADORES MANUAIS NO PIMENTÃO SOB AMBIENTE PROTEGIDO

RESUMO

A exposição de trabalhadores aos produtos fitossanitários é um dos principais gargalos do cultivo protegido. Dentre as formas de exposição, a dérmica é considerada uma das mais significativas. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, na exposição dérmica de operadores, em aplicações de produtos fitossanitários na cultura do pimentão, sob ambiente protegido. Quatro técnicas de aplicação constituíram os tratamentos: HPA (Hidráulica Padrão agricultor) – Pulverização hidráulica, com pontas de pulverização JA-2 (700 kPa) e taxa de aplicação variável de acordo com a altura da cultura; HVR (Hidráulica Volume Reduzido) – pulverização hidráulica, com pontas de pulverização JA-1 (700 kPa) e 50% da taxa de aplicação do padrão agricultor; PAAE (Pneumática: assistência de ar e eletrostática) – Pulverização pneumática com eletrostática e 25% da taxa de aplicação do padrão agricultor; PAA (Pneumática: assistência de ar e eletrostática desligada) – Pulverização pneumática com eletrostática e 25% da taxa de aplicação do padrão agricultor. Na safra 2019, a avaliação foi realizada em três estádios de crescimento da cultura, correspondendo à 0,7, 1,4 e 2,1 m de altura. Na safra 2020, as avaliações foram realizadas apenas nas alturas de 0,7 e 2,1 m. O efeito das técnicas de aplicação na exposição do operador durante a pulverização foi variável entre as partes do corpo do operador e alturas da cultura do pimentão. Na menor altura avaliada (0,7 m), a contaminação é mais acentuada nos membros inferiores do corpo do operador, no entanto, em maiores alturas (1,4 e 2,1 m), a exposição passa a ser acentuada também em outras partes do corpo. A técnica de aplicação pneumática com eletrostática (PAAE) aumenta a exposição do operador durante a pulverização, principalmente nas partes do corpo do operador localizadas acima da parte inferior das pernas, em comparação as demais técnicas em estudo. A técnica

hidráulica com redução de 50% da taxa de aplicação (HVR) aumenta os níveis de contaminação do operador em comparação a técnica padrão do agricultor (HPA).

Palavras-chave: taxa de aplicação; pulverização; eletrostática; assistência de ar.

2.1 INTRODUÇÃO

O controle de pragas e doenças é um dos principais desafios da olericultura conduzida sob ambiente protegido (LLOP *et al.*, 2015a). Em casas de vegetação não climatizadas, essa situação é ainda mais grave, pois devido à peculiaridade estrutural (espaço fechado), as condições microclimáticas de temperatura e umidade relativa do ar são elevadas (PASCUZZI; CERRUTO; MANETTO, 2016; LIN *et al.*, 2021). Em função dessas características e também da alta densidade populacional de plantas, a incidência de algumas pragas e doenças costuma ser maior (VAN LENTEREN, 2000).

Como consequência, há alta demanda pelos produtos fitossanitários e os trabalhadores rurais estão frequentemente expostos à contaminação (TSAKIRAKIS *et al.*, 2018; BUREAU *et al.*, 2021). Aspectos de segurança relacionados ao uso desses produtos são frequentemente negligenciados (PASCUZZI; SANTORO, 2015; PAPA *et al.*, 2018;).

A exposição do operador pode ocorrer em várias etapas da utilização dos produtos fitossanitários, como o preparo da calda, durante a aplicação ou em posterior reentrada na área para realização de outros tratamentos culturais (KASIOTIS *et al.*, 2017; FRIEDRICH *et al.*, 2020; CHOI; KIM, 2017). Dentre as formas de exposição (dérmica, ocular, oral e inalatória) a dérmica é relatada como a principal (REN *et al.*, 2017; RINCÓN; PÁEZ; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, 2018), representando cerca de 78 a 88% da exposição total dos trabalhadores aos produtos fitossanitários (CAO *et al.*, 2015).

Nessa forma de cultivo, é comum as aplicações de produtos fitossanitários serem realizadas com pulverizadores costais ou semiestacionários, que demandam mão de obra intensiva e possuem alto risco de exposição dos operadores (RINCÓN; PÁEZ; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, 2018; CERRUTO *et al.*, 2018; SÁNCHEZ-HERMOSILLA *et al.*, 2021). Esses fatos, associados ao não uso ou uso inadequado de EPI, representam perigo à saúde dos trabalhadores (CERRUTO *et al.*, 2018).

Com intuito de reduzir a exposição dos operadores, alguns equipamentos automotrizes ou autônomos foram desenvolvidos (BALSARI *et al.*, 2012; LOOP *et al.*, 2015b; KO *et al.*, 2015; LIN *et al.*, 2021). No entanto, as estruturas das casas de vegetação dificultam o deslocamento e manobra de sistemas mecanizados em seu interior (NUYTTENS; WINDEY; SONCK, 2004; GONZALES *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2021) além dos altos custos de aquisição que limitam a expansão da utilização desses equipamentos (LIN *et al.*, 2021).

O uso do equipamento de proteção individual (EPI) é recomendado para proteger o operador da exposição (THOUVENIN, 2017; FRIEDRICHS *et al.*, 2020). No entanto, os EPIs não são sempre usados, principalmente devido à falta de conforto térmico dentro das estufas (BONDORI *et al.*, 2018) e à falta de informação sobre os riscos de intoxicação aguda e crônica pela exposição aos produtos fitossanitários (CERRUTO *et al.*, 2018).

Além do EPI, o nível de exposição é influenciado por outros fatores. Quanto maior a altura dos cultivos, maior a exposição do operador a produtos durante a pulverização (HUGHES *et al.*, 2008; CERRUTO *et al.*, 2018; REN *et al.*, 2018). Posicionar a lança de pulverização à frente do corpo e caminhar para trás reduz consideravelmente o nível de exposição. Na cultura do tomate, ao caminhar para frente, o potencial de exposição do operador (PDE) foi de 718 mL por 1000 L de calda pulverizada, em contrapartida, ao caminhar para trás o PDE foi reduzido para 133 mL (CERRUTO *et al.*, 2018). Porém os operadores relatam a dificuldade de manter o equilíbrio e visualização de obstáculos ao caminhar para trás (RINCÓN; PÁEZ; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, 2018).

Outro fator que pode afetar a exposição é a técnica de aplicação. O uso de pontas de pulverização que produzem gotas grossas resulta em menor exposição do operador quando comparadas àquelas com gotas finas (WICKE *et al.*, 1999; FRENICH *et al.*, 2002). No entanto, a pulverização com gotas grossas pode reduzir a cobertura e penetração no dossel das culturas, limitando sua utilização, principalmente para aplicação de produtos com ação de contato.

Além dos problemas relacionados à exposição do operador, aqueles relacionados à baixa deposição e distribuição irregular dos produtos fitossanitários no alvo e perdas para o ambiente têm sido frequentemente relatados ao utilizar técnicas de aplicação convencionais de cultivo em ambiente protegido (RINCON *et al.*, 2017; RINCON *et al.*, 2020; LLOP *et al.*, 2015a, DARIO *et al.*, 2020).

Na tentativa de reduzir esses problemas, pesquisas indicam que o uso de assistência de ar e a transferência de carga elétrica às gotas da pulverização (eletrostática) podem constituir alternativas para melhorar a eficiência das aplicações.

A inclusão da assistência de ar nos equipamentos de aplicação incrementa a penetração das gotas de pulverização no dossel da cultura (BADULES *et al.*, 2018), principalmente em cultivos com alta densidade foliar (LLOP *et al.*, 2015a).

A pulverização eletrostática transfere carga elétrica às gotas de pulverização resultando na atração das mesmas pelo alvo, podendo aumentar a deposição principalmente em pontos de difícil acesso, como a superfície abaxial das folhas (LI *et al.*, 2018; YANLIANG; QI; WEI, 2017; APPAH *et al.*, 2019a; MARTIN; LATHEEF, 2017).

Com intuito de melhorar a qualidade e eficiência agrônômica das aplicações, essas alternativas precisam ser consideradas e avaliadas na olericultura em cultivo protegido no Brasil. Porém ao mesmo tempo, seus efeitos na exposição e segurança do operador também devem ser investigados e divulgados para conhecimento das pessoas envolvidas no processo.

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da redução da taxa de aplicação e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, na exposição dérmica de operadores, em aplicações de produtos fitossanitários na cultura do pimentão, sob ambiente protegido.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização da área experimental

Dois experimentos foram conduzidos nas safras 2019 e 2020, em área de cultivo comercial de pimentão (22°47'03"S, 49°30'14"W), no município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP, Brasil.

O cultivo foi conduzido em casa de vegetação modelo londrina, com 600 m² (30 x 20 m), pé direito de 3,8 m (lado mais alto) e 3,0 (lado mais baixo), coberta com filme de polietileno de 100 µm e com tela de rafia 80% nas laterais. A estrutura possui cerca viva de bananeira em todo o redor, com aproximadamente três metros de altura e localizada a seis metros da lateral.

O híbrido de pimentão cultivado foi o Taurus®/Sakata, com frutos do tipo lamuyo vermelho. As mudas foram transplantadas para o solo com espaçamento de 0,35 m entre plantas e 1,52 m entre as linhas de plantio. As plantas foram tutoradas na vertical e sustentadas em fios horizontais de polietileno fixados em hastes de bambu.

Os tratos culturais como adubação, irrigação, fertirrigação, desbrota, tutoramento e controle de pragas, doenças e plantas daninhas foram realizados pelo produtor na área comercial de acordo com a recomendação feita pela assistência técnica.

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), em quatro repetições. Cada unidade experimental foi representada pela pulverização, de ambos os lados (direita e esquerda), de uma linha inteira de cultivo (28 m).

Quatro técnicas de aplicação constituíram os tratamentos: HPA (Hidráulica Padrão Agricultor) – Padrão do agricultor, lança manual contendo duas pontas de pulverização hidráulicas de jato cônico vazio, modelo JA - 2 (700 kPa), gotas finas e taxa de aplicação variável de acordo com a altura da cultura; HVR (Hidráulica Volume Reduzido) –, lança manual contendo duas pontas de pulverização hidráulicas de jato cônico vazio, modelo JA - 1 (700 kPa), gotas finas e 50% da taxa de aplicação utilizada no padrão agricultor; PAAE (Pneumática: assistência de ar e eletrostática) – Pulverizador pneumático com pistola manual contendo bocal com assistência de ar + eletrostático, gotas extremamente finas e 25% da taxa de aplicação utilizada no padrão agricultor; PAA (Pneumática: assistência de ar) –, Pulverizador pneumático com pistola manual contendo bocal assistido por ar, sem eletrostática (desligado), gotas extremamente finas e 25% da taxa de aplicação utilizada no padrão agricultor

O tratamento HPA (Hidráulica Padrão Agricultor) utilizou a taxa de aplicação empregada pelo agricultor no momento correspondente as três alturas de plantas em que os experimentos foram realizados (Tabela 1). Desta forma, HPA utiliza a taxa de aplicação padrão do agricultor enquanto as técnicas HVR, PAAE e PAA, possuem intuito de avaliar o efeito da utilização de taxas de aplicação menores, juntamente com uso da pulverização pneumática, combinada ou não à eletrostática.

Tabela 1 - Taxa de aplicação ($L\ ha^{-1}$), velocidade de caminhamento do operador ($m\ s^{-1}$) e massa do marcador cobre metálico ($g\ ha^{-1}$) obtidas nas alturas das plantas de pimentão, para as diferentes técnicas de aplicação, nas safras 2019 e 2020.

Altura das plantas (m)	Técnica de aplicação	Taxa de aplicação ($L\ ha^{-1}$)	Velocidade ($m\ s^{-1}$)	Massa marcador ($g\ ha^{-1}$)
Safrá 2019				
0,7	HPA	574	0,61	401,8
	HVR	277	0,63	387,8
	PAAE	128	0,34	358,4
	PAA	130	0,34	364
1,4	HPA	708	0,49	495,6
	HVR	352	0,50	495,8
	PAAE	167	0,26	467,6
	PAA	162	0,27	453,6
2,1	HPA	1107	0,32	774,9
	HVR	589	0,30	824,6
	PAAE	310	0,14	868
	PAA	304	0,14	851,2
Safrá 2020				
0,7	HPA	620	0,57	434
	HVR	316	0,55	443
	PAAE	133	0,33	373
	PAA	136	0,32	383
2,1	HPA	1150	0,31	788
	HVR	563	0,31	805
	PAAE	281	0,16	787
	PAA	284	0,16	795

HPA: Hidráulica padrão agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostático e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostático.

Para aplicação das técnicas HPA e HVR, foi usado um pulverizador semiestacionário, marca Yamaho®, equipado com uma lança manual de 1,7 m de comprimento, com duas pontas de pulverização hidráulicas (Figura 1a). A lança

conecta-se por uma mangueira de 40 m de comprimento e 1/4" de diâmetro interno a uma bomba de três pistões, com vazão máxima de 18 L min^{-1} , acionada por um motor ciclo Otto, quatro tempos de 3,73 kW de potência. O sistema possui um controlador de pressão com manômetro na saída da bomba de pulverização e retorno ao reservatório de calda (capacidade de 50 L). Para monitorar a pressão de trabalho com maior precisão, também foi instalado um manômetro junto à lança de pulverização.

Figura 1 - Avaliação da exposição dérmica do operador aos produtos fitossanitários com pulverizador hidráulico (a) e pneumático com eletrostática (b), na cultura do pimentão sob ambiente protegido.



Fotos: Flavio Nunes da Silva (2019).

Para aplicação das técnicas PAAE e PAA, foi utilizado um pulverizador eletrostático (modelo MBP 4.0, Electrostatic Spraying Systems, Watkinsville, GA, USA), provido de assistência de ar e sistema de transferência de carga elétrica às gotas por indução (eletrostática). A transferência de cargas elétricas às gotas é feita por indução indireta. A tensão do sistema é de 1 kV e a bateria recarregável contida na pistola de pulverização é de 9 Volts (V). A pistola de pulverização possui 1,05 m de comprimento (Figura 1b). A formação e fracionamento das gotas é feita pelo princípio pneumático, com geração de ar por um compressor, acionado por um motor ciclo Otto, quatro tempos e 4,85 kW de potência. O ar gerado pelo compressor é

conduzido até a pistola de pulverização por uma mangueira de 30 m de comprimento e ½" de diâmetro interno. O diâmetro mediano volumétrico (DMV) do espectro de gotas gerado é de 40 micrometros de acordo com o fabricante, resultando em uma relação carga/massa de 5,3 $\mu\text{C/g}$. O equipamento possui reservatório de calda com capacidade de 15 L e alças para adaptação costal.

2.2.3 Avaliação da exposição do operador

A exposição do operador foi avaliada e mensurada em 17 partes do corpo: pé direito, pé esquerdo, inferior da perna direita (frente), inferior da perna esquerda (frente), inferior da perna direita (trás), inferior da perna esquerda (trás), superior da perna direita (frente), superior da perna esquerda (frente), superior da perna direita (trás), superior da perna esquerda (trás), abdômen, tórax, antebraço direito, antebraço esquerdo, braço direito, braço esquerdo e cabeça (Figura 2).

Não foi mensurada a exposição na costa do operador devido ao posicionamento do reservatório costal de calda do pulverizador pneumático, o que impossibilitou a medição.

Figura 2. Representação dos pontos de avaliação da exposição à pulverização, no corpo do operador na cultura do pimentão conduzida sob ambiente protegido.



Na safra 2019, as avaliações foram realizadas em três estádios de crescimento da cultura do pimentão, correspondentes às alturas de 0,7, 1,4 e 2,1 m de altura. Na safra 2020, foram realizadas avaliações somente com 0,7 e 2,1 m de altura.

Imediatamente antes da pulverização de cada repetição, foi fixado um coletor de papel filtro de formato circular (0,12 m de diâmetro) em cada ponto de avaliação no corpo do operador. Entre o coletor e o equipamento de proteção individual (EPI), foi fixado um plástico adesivo transparente (14 x 14 cm), o qual era substituído a cada repetição, visando evitar contaminação do EPI com resíduos de marcador. A pulverização foi realizada em ambos os lados da linha de cultivo e o operador deslocou-se no sentido de caminhamento para frente, conforme prática comumente adotada nas lavouras comerciais.

Como a aplicação foi realizada em ambos os lados da linha de cultivo, o operador posicionou o jato de pulverização do lado direito na ida e esquerdo na volta, visando contaminar ambos os lados de forma uniforme. Isso foi realizado propositalmente, considerando que nos cultivos comerciais, o lado de pulverização varia de um operador para outro, ou até mesmo pelo mesmo operador durante a operação.

Como marcador, foi adicionado à calda de pulverização o fungicida Status® SC (350 g L⁻¹ de oxicloreto de cobre), na concentração de 2,0 mL p.c L⁻¹ para a técnica HPA; 4,0 mL p.c L⁻¹ para a técnica HVR; e 8,0 mL p.c L⁻¹ para as técnicas PAAE e PAA. A diferença de concentração do marcador entre as técnicas ocorreu em função da taxa de aplicação, com intuito de aplicar a mesma massa de marcador por área e evitar o uso fatores de correção para os valores de depósito do marcador.

Durante as aplicações, os dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foram monitorados, visando identificar as variações das condições meteorológicas (Tabela 2). Devido à presença de cerca viva ao redor e telas de rafia nas laterais da casa de vegetação, a influência do vento é mínima no interior do cultivo.

Tabela 2 – Temperatura (°C) e umidade relativa (%) do ar, no momento das aplicações nos diferentes estádios de crescimento da cultura do pimentão (altura das plantas), nas safras 2019 e 2020.

Safra	Altura das plantas (m)	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)
2019	0,7	24 ± 3	46 ± 3
	1,4	25 ± 3	71 ± 4
	2,1	28 ± 2	70 ± 3
2020	0,7	32 ± 3	50 ± 5
	2,1	31 ± 3	49 ± 4

Após a pulverização de cada repetição, os coletores (papel filtro) foram retirados do EPI e armazenados individualmente em placas de Petri. Posteriormente, em laboratório, os coletores foram retirados das placas de Petri e fracionado em seis partes, para facilitar a remoção do marcador cúprico, e colocados em frascos de 100 mL.

Em seguida, foram adicionados 35 mL da solução extratora de ácido nítrico a 1,0 Mol L⁻¹ em cada frasco, os quais foram agitados por 15 minutos, em mesa orbital com velocidade de 220 rpm, para remoção do marcador. O líquido resultante da agitação foi submetido a análise em espectrofotômetro de absorção atômica, marca SHIMADZU, model AA-6300, para quantificação da concentração do íon cobre (Cu), conforme Christovam *et al.* (2010).

De posse dos valores de concentração, foi determinada a massa de cobre metálico capturada por área de alvo artificial ($\mu\text{g cm}^{-2}$) (Equação 1).

$$M = \frac{[\] \times v}{A} \quad (1)$$

Em que: M é a massa de cobre metálico ($\mu\text{g cm}^{-2}$), $[\]$ é a concentração na amostra (mg cm^{-2}), v é o volume de solução utilizada na remoção (mL) e A é a área da superfície coletor (cm^2).

Como a aplicação manual não permite a obtenção da velocidade de deslocamento precisa, a velocidade de aplicação de cada técnica foi mensurada individualmente para possibilitar a obtenção da taxa de aplicação real e consequentemente, a massa do marcador cúprico real aplicada por área (mg ha^{-1}), conforme mostrado na Tabela 1.

Com base na massa do marcador real aplicada (g ha^{-1}) foram estabelecidos os fatores de correção afim de normalizar a massa de marcador por área (g ha^{-1}) entre os tratamentos. Para isso, dividiu-se o valor do tratamento que aplicou maior massa de marcador por área (mg ha^{-1}) pela massa aplicada por cada tratamento. Posteriormente, os dados de contaminação ($\mu\text{g cm}^{-2}$) foram multiplicados pelos seus respectivos fatores de correção de cada tratamento. Em seguida, a exposição por hectare foi estimada pela equação 2, visando obter a contaminação que o aplicador teria ao aplicar um hectare da cultura.

$$C_{ha} = \frac{(10000/Esp) \times d}{Da} \quad (2)$$

Em que: C_{ha} exposição do operador ao pulverizar um hectare ($\mu\text{g cm}^{-2}$), Esp é o espaçamento entre linhas da cultura (m), d exposição em uma linha de cultivo de 28 metros ($\mu\text{g cm}^{-2}$) e Da distância da linha de cultivo avaliada (m).

2.2.4 Análise estatística

Os dados foram transformados, conforme metodologia proposta por Box e Cox (1964), para atenderem os critérios de normalidade e homogeneidade das variâncias, os quais foram verificados pelo teste Shaphiro Wilk ($p > 0,05$) e Levene ($p > 0,05$), respectivamente.

Posteriormente, foi verificado a possibilidade de diferenças entre os dados das amostras do lado direito e esquerdo do corpo do operador, para as partes dos pés, inferior da perna (frente), inferior da perna (trás), superior da perna (frente), superior da perna (trás), braços e antebraços, pelo teste t student ($p < 0,05$) para amostras independentes. Como não houve diferença, foi realizada a média dos lados direito e esquerdo de cada parte.

Em seguida, foi aplicada a análise de variância fatorial (tratamentos x parte do corpo) pelo teste F ($p < 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Safra 2019

Em todos os estádios de desenvolvimento das plantas de pimentão, a análise de variância indica interação entre as técnicas de aplicação e partes do corpo do operador ($p < 0,01$). Isso significa que as técnicas de aplicação apresentaram influência sobre a exposição, porém os efeitos são variáveis nas partes do corpo do operador.

No primeiro estágio de crescimento da cultura (0,7 m), para a exposição nos pés do operador, todas as técnicas de aplicação apresentaram diferença entre si (Tabela 3). A maior exposição foi proporcionada pela técnica HVR, seguida de HPA, PAAE e PAA, de maneira decrescente.

O fato das técnicas pneumáticas (PAAE e PAA) proporcionarem menor exposição dos pés em relação as hidráulicas (HPA e HVR), pode estar relacionado a assistência de ar presente nas técnicas pneumáticas. Desta forma, o fluxo de ar impulsionou as gotas para frente, reduzindo a deposição nos pés do operador.

Na cultura do tomate em ambiente protegido, quando a assistência de ar foi utilizada, as perdas para o solo foram menores na linha de plantio (próxima ao

operador) em relação a pulverizações realizadas sem assistência de ar (RINCON *et al.*, 2020). Os autores alegam que o fluxo de ar impulsiona a gotas para frente, reduzindo a deposição no ponto do solo mais próximo a pulverização e aumentam a deposição no solo do corredor sobrejacente.

Além disso, o maior tamanho de gotas das técnicas hidráulicas favorece a queda vertical por ação da gravidade (HOLTERMAN, 2003), e consequentemente vindo a atingir os pés do operador.

Ao comparar somente as técnicas hidráulicas (HPA e HVR) entre si, denota-se que HVR proporcionou maior exposição nos pés em relação a HPA. Essa diferença pode estar relacionada a possíveis alterações no espectro de gotas. Apesar de o espectro de gotas não foi avaliado, sabe-se que pontas com menor vazão nominal possuem tendência de produzir espectro de gotas com menor DMV e maior percentual de gotas menores que 100 μm , mesmo quando utilizadas na mesma pressão (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007). Trabalhos anteriores revelaram que o espectro de gotas é uma das variáveis da pulverização que mais influenciam na exposição do operador, assim as gotas finas são mais problemáticas em relação as grossas (FRENICH *et al.*, 2002).

Nas demais partes do corpo do operador, a técnica PAAE proporcionou a maior exposição, exceto nas posições, inferior da perna (frente) e antebraços, onde a mesma não diferiu de HVR, porém mesmo assim, foi superior a HPA e PAA. Esses resultados indicam que o uso da eletrostática aumentou o nível de exposição do operador, na maioria das partes do corpo.

Ressaltando ainda mais o efeito da eletrostática, observa-se que em todas as partes do corpo do operador, inclusive nos pés, a técnica PAAE proporcionou exposição superior a PAA. As técnicas PAAE e PAA diferem apenas pelo fato da primeira proporcionar carga elétrica às gotas, o que explica o aumento da exposição. Em média, PAAE aumentou em 5,9 vezes a exposição em relação a PAA.

Muitos trabalhos têm demonstrado que a pulverização eletrostática pode melhorar a qualidade da aplicação, por meio de maior deposição no alvo e uniformidade de cobertura e redução de perdas para o ambiente (CERQUEIRA *et al.*, 2017; ASSUNÇÃO *et al.*, 2020; SALCEDO *et al.*, 2020; MA *et al.*, 2021). Aumentos de deposição na ordem de 2 a 3 vezes têm sido observados (APPAH *et al.*, 2019).

Isso ocorre devido a atração das gotas com carga elétrica pelo alvo (SASAKI *et al.*, 2013; APPAH *et al.*, 2019a). Portanto, é possível que as gotas tenham sido

atraídas pelo corpo operador e conseqüentemente depositaram-se nos coletores dispostos sobre o mesmo.

Trabalhos que avaliaram os efeitos pulverização eletrostática na exposição do operador em cultivo protegido são escassos na literatura, tornando difícil a comparação do presente resultado. Pesquisa realizada na cultura do algodão em campo aberto, evidenciou que aplicação com o equipamento eletrostático “electrodyn” proporcionou maior porcentagem da calda pulverizada na vestimenta do operador e maior dispersão da exposição nas partes do corpo, em relação a pulverizadores costais hidráulicos convencionais (SUTHERLAN *et al.*, 1990). Porém como o equipamento “electrodyn” utilizou menor dosagem de ingrediente ativo, os autores concluíram que seu potencial de exposição é menor.

A técnica HVR aumentou a exposição em relação a HPA nas partes do corpo, inferior da perna (frente), superior da perna (frente) e antebraços. Considerando que também houve aumento nos pés do operador, conforme relatado anteriormente, evidencia-se que a redução de 50% da taxa de aplicação em relação a utilizada pelo agricultor, aumentou a exposição em cinco das dez partes do corpo do operador avaliadas. Sobre taxa de aplicação, também há escassez de pesquisas de exposição do operador a produtos fitossanitários, em ambiente protegido. Na cultura do algodão a campo aberto, também houve maior exposição do operador ao reduzir a taxa de aplicação (SUTHERLAN *et al.*, 1990).

Em algumas situações, houve valores muito baixos ou zero de exposição. Como exemplo, as obtidas pelas técnicas HPA e PAA na cabeça e braços do operador.

Tabela 3 - Exposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) por hectare, nas partes do corpo do operador em função da pulverização com diferentes técnicas, em plantas de pimentão com 0,7 m de altura, na safra 2019.

Parte do corpo	Técnicas de aplicação			
	HPA	HVR	PAAE	PAA
Pés	148,79 bA	473,98 aA	81,20 cAB	22,47 dA
Inferior da perna (frente)	5,21 bBC	51,84 aB	50,38 aBC	10,69 bABC
Inferior da perna (trás)	5,65 bBC	13,13 bCDE	52,73 aBC	11,60 bAB
Superior da perna (frente)	2,77 cBC	26,03 bBC	105,70 aA	7,74 cABC
Superior da perna (trás)	0,74 bBC	3,65 bE	36,19 aCD	5,26 bBC
Abdômen	6,83 bBC	17,34 bCD	52,15 aBC	11,96 bAB
Tórax	1,45 bBC	5,51 bDE	16,32 aD	2,90 bBC
Antebraços	0,87 bBC	26,95 aBC	21,85 aCD	4,80 bBC
Braços	0,46 bBC	6,05 bDE	34,35 aCD	1,09 bC
Cabeça	0,00 bC	4,11 bE	25,29 aCD	2,17 bC
CV (%)	25,13			
p valor	< 0,01			

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV: Coeficiente de variação (%). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostático e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostático.

Com relação aos efeitos dos pontos de coleta dentro de cada técnica de aplicação, observa-se que para as técnicas de pulverização HPA e HVR, a maior exposição ocorre nos pés do operador, com valores discrepantes em relação aos demais pontos amostrais. Para as técnicas PAAE e PAA, esse efeito é menos pronunciado devido a maior dispersão da contaminação.

Desproporcionalidade entre as partes do corpo do operador tem sido relatada em diversos estudos de contaminação com aplicações com produtos fitossanitários (YARPUZ-BOZDOGAN *et al.*, 2017; RINCÓN; PÁEZ; SÁNCHEZ-HERMOSILLA,

2018; CHOI; KIM, 2018). Pesquisa realizada na Espanha, com a cultura do pimentão em ambiente protegido, mostrou que a contaminação dos pés foi 11,92 vezes superior à média das demais partes do corpo, utilizando técnica de aplicação hidráulica, com lança de pulverização manual (RINCÓN; PÁEZ; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, 2018). Esses autores relatam que a maior exposição dos pés se deve ao pé dianteiro coincidir com a descida da lança de pulverização, realizada no movimento de oscilação vertical que operador promove simultaneamente ao seu deslocamento. Além do efeito da força de gravidade.

No segundo estágio de desenvolvimento da cultura do pimentão, o comportamento da exposição do operador apresentou algumas diferenças (Tabela 4). Nos pés do operador, a maior contaminação foi proporcionada pela técnica HVR, seguida de HPA e as menores contaminações foram obtidas pelas técnicas PAEE e PAA. Esses resultados são coerentes com o primeiro estágio, diferindo apenas pelo fato da técnica PAEE proporcionar contaminação equivalente a PAA. Desta forma, nos pés do operador não houve efeito da eletrostática, diferentemente do primeiro estágio.

De maneira semelhante ao primeiro estágio, nas demais posições do corpo do operador, a técnica PAEE proporcionou a maior contaminação, exceto na posição inferior da perna (atrás) onde não houve nenhuma diferença entre as técnicas de aplicação, e no tórax do operador, onde PAEE foi igual a HVR.

Ao comparar somente PAEE com PAA entre si, denota-se que a primeira foi superior em oito das dez partes do corpo do operador avaliadas, resultando em aumento médio de 3 vezes, ao considerar apenas os pontos que houve acréscimo.

Com relação aos efeitos das partes do corpo do operador dentro de cada técnica de aplicação, denota-se que, a contaminação ocorrida nos pés do operador foi superior aos demais pontos, exceto para as pulverizações realizadas com a técnica PAEE.

Tabela 4 - Contaminação ($\mu\text{g cm}^{-2}$) por hectare nas partes do corpo do operador, em função da pulverização com diferentes técnicas, em plantas de pimentão com 1,4 m de altura, na safra 2019.

Parte do corpo	HPA	HVR	PAAE	PAA
Pés	320,2 bA	898,13 aA	65,75 cA	118,47 cA
Inferior da perna (frente)	9,9 bB	48,22 aB	34,10 aABC	7,56 bBC
Inferior da perna (trás)	7,90 aBC	12,88 aC	13,88 aCD	11,56 aB
Superior da perna (frente)	4,46 cBCD	13,12 bCD	52,32 aAB	8,67 bBC
Superior da perna (trás)	3,54 bCD	3,42 bE	11,70 aD	3,85 bC
Abdômen	2,72 cD	7,03 bCDE	19,80 aCD	3,91 bcC
Tórax	2,12 cD	8,33 aCDE	15,52 aCD	5,38 bcC
Antebraços	3,16 cCD	8,54 bCDE	20,63 aBCD	14,96 bB
Braços	4,09 cBCD	9,42 bCD	29,47 aABCD	15,57 bB
Cabeça	5,20 cBCD	4,46 cDE	33,35 aABC	11,99 bB
CV (%)	17,27			
p valor	<0,01			

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV: Coeficiente de variação (%). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostático e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostático.

Diferentemente do primeiro estágio, para PAAE, a contaminação dos pés mostrou-se equivalente aos braços, cabeça, superior da perna (frente) e inferior da perna (frente). Esses resultados estão de acordo com primeiro estágio e com o estudo realizado Surtherlan et al. (1990), que indicam aumento da dispersão da exposição em relação as partes do corpo, ao usar eletrostática. Como exemplo, na cabeça do operador, PAAE aumentou a exposição respectivamente em 6,4, 7,47 e 2,78 vezes, em relação a HPA, HVR e PAA. Esse fato é preocupante, pois a cabeça é um dos pontos de menor contaminação para as técnicas de aplicação convencionais (RINCÓN; PÁEZ; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, 2018).

Estudo demonstrou que as forças eletrostáticas em gotas muito finas são mais proeminentes do que a ação da gravidade (ESEHAGHBEYGI; TADAYYON; BESHARATI, 2010). Assim, gotas dotadas de carga elétrica possuem maior possibilidade de depositar-se nas partes mais altas do corpo do operador, como a cabeça, em especial para estádios de crescimento das plantas mais avançados que exige maior amplitude vertical na movimentação da lança ou bocal de aplicação.

No terceiro estágio de desenvolvimento da cultura do pimentão, nos pés do operador, as técnicas HPA e HVR não diferiram entre si e proporcionaram maior exposição em comparação a PAAE e PAA, as quais também não diferiram entre si (Tabela 5). Dessa forma, o efeito superior da técnica HVR em relação HPA, observado nos estádios anteriores, não ocorreu no terceiro estágio.

Nas partes do corpo do operador, inferior da perna (frente) e inferior da perna (trás), as maiores exposições foram obtidas com as técnicas PAAE e HVR, seguida de HPA e os menores valores com PAA. Nos oito demais pontos, a maior exposição foi obtida com a técnica PAAE, reforçando ainda mais as evidências obtidas nos estádios anteriores, sobre o acréscimo de contaminação causado pela eletrostática.

Com relação aos efeitos da parte do corpo do operador dentro de cada técnica de aplicação, para as técnicas hidráulicas (HPA e HVR), o comportamento foi semelhante aos demais estádios, com maior contaminação nos pés, o qual difere com alta desproporcionalidade em relação às demais partes do corpo.

Em contrapartida, para técnica PAAE, a exposição nos pés do operador não diferiu de nenhuma parte, sendo que para essa técnica, houve maior exposição na parte superior da perna (frente) em relação as partes, inferior da perna (frente), inferior da perna (trás), superior da perna (trás) e braços.

Dessa forma, em aplicações com a técnica PAAE, fica evidente que no estágio de desenvolvimento das plantas de pimentão com maior altura (2,1 m), a diferença entre a contaminação das partes altas e baixas do corpo do operador diminui. Isso ocorre provavelmente devido a necessidade de elevar o jato de pulverização em maior altura para atingir a cobertura completa das plantas.

O aumento da contaminação nas partes altas do corpo do operador foi relacionado à altura das plantas de tomate, ao comparar plantas em florescimento com plantas em final de ciclo (CERRUTO et al., 2018). Esses autores observaram que na fase de florescimento, a exposição foi de 84% nos membros inferiores (pés e pernas) e 16%

no restante do corpo, já no final do ciclo, os valores alteraram para 52% na parte inferior e 48% no restante do corpo.

Tabela 5 - Exposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) por hectare nas partes do corpo do operador, em função da pulverização com diferentes técnicas, em plantas de pimentão com 2,1 m de altura, na safra 2019.

Parte do corpo	HPA	HVR	PAAE	PAA
Pés	275,38 aA	379,84 aA	67,49 bAB	40,53 bA
Inferior da perna (frente)	16,84 bBC	54,05 aB	30,71 aB	4,10 cB
Inferior da perna (trás)	10,37 bcBCD	21,82 aBCD	27,23 aB	7,82 cB
Superior da perna (frente)	25,28 bB	32,03 bBC	106,63 aA	44,90 bA
Superior da perna (trás)	6,71 bCD	9,08 bDE	23,66 aB	7,50 bB
Abdômen	7,66 bCD	11,40 bCDE	57,91 aAB	5,11 bB
Tórax	3,82 bD	4,75 bE	42,35 aAB	3,56 bB
Antebraços	23,63 bB	10,50 bcDE	37,42 aAB	7,05 cB
Braços	8,08 bBCD	5,70 bE	27,46 aB	4,69 bB
Cabeça	20,85 bBC	13,55 bCDE	57,23 aAB	6,73 bB
CV (%)	16,83			
p valor	< 0,01			

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV: Coeficiente de variação (%). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostático e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostático.

2.3.2 Safra 2020

Na safra 2020, as avaliações foram realizadas somente no primeiro e terceiro estádios de crescimento das plantas. Os resultados apresentaram tendência similar à safra 2019, porém algumas diferenças pontuais podem ser observadas. Vale ressaltar que na safra 2020, a temperatura do ar foi superior e a umidade relativa inferior, em

relação à safra 2019. As condições de temperatura e umidade relativa do ar possuem forte influência sobre a dinâmica dos depósitos e perdas na pulverização (BALAN *et al.*, 2008; BUENO; CUNHA; SANTANA, 2017). Portanto, apesar de não haver estudos específicos, espera-se que a exposição do operador também pode ser alterada.

No primeiro estágio de desenvolvimento, a maior exposição nos pés do operador foi proporcionada pela técnica HVR (Tabela 6), concordando com os resultados obtidos na primeira safra. Em contrapartida, as demais técnicas não diferiram entre si.

Nas partes, superior da perna (frente), tórax e antebraços, a técnica PAAE proporcionou maior exposição. Enquanto parte na inferior da perna (frente), inferior da perna (trás), superior da perna (trás), abdômen, braços e cabeça a técnica PAAE proporcionou exposição superior à HVR e HPA, no entanto não diferiu de PAA. Nesse sentido, denota-se que o efeito da eletrostática foi menos pronunciado em relação ao primeiro estágio da safra 2019, pois em somente três pontos avaliados, PAAE proporcionou exposição superior a PAA, apesar de não ser inferior em nenhum ponto.

Pesquisas dos efeitos da pulverização eletrostática sobre os depósitos no alvo têm demonstrado resultados bastante variáveis, devido a sua dependência sob diversos fatores (APPAH *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2021). Nesse sentido, o efeito na contaminação do operador também pode alterar-se de uma safra para outra, principalmente considerando que as condições meteorológicas foram distintas.

Com relação aos efeitos dos pontos de coleta, dentro de cada técnica de aplicação, denota-se que a maior contaminação ocorreu nos pés do operador, independente da técnica de aplicação.

Tabela 6 - Exposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) nas partes do corpo do operador, em função da pulverização com diferentes técnicas, em plantas de pimentão com 0,7 m de altura, na safra de 2020.

Parte do corpo	HPA	HVR	PAAE	PAA
Pés	85,83 bA	112,50 aA	91,52 bA	94,74 bA
Inferior da perna (frente)	11,58 bB	15,73 bB	55,21 aB	54,90 aB
Inferior da perna (trás)	11,17 bB	11,94 bB	53,57 aB	47,37 aCD
Superior da perna (frente)	6,81 dB	18,10 cB	52,08 aBC	33,67 bEF
Superior da perna (trás)	9,46 bB	11,64 bB	34,60 aE	28,68 aF
Abdômen	4,04 cB	12,41 bB	42,41 aDE	41,45 aDE
Tórax	6,44 cB	10,86 cB	45,43 aCD	28,76 bF
Antebraços	5,70 dB	13,96 cB	40,18 aDE	26,03 bF
Braços	8,64 bB	10,58 bB	48,17 aBC	52,66 aBC
Cabeça	9,19 bB	15,64 bB	51,34 aBC	49,52 aBCD
CV (%)	10,66			
p valor	< 0,01			

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV: Coeficiente de variação (%). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostático e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostático.

No terceiro estágio de crescimento da cultura, os resultados apresentaram semelhança ao mesmo estágio na safra 2019 (Tabela 7). Apesar da maior temperatura e menor umidade relativa na safra 2020, o comportamento da contaminação foi pouco alterado.

Nos pés do operador, a maior contaminação foi proporcionada pela técnica HVR, concordando com todos os estágios de desenvolvimento, em ambas as safras avaliadas. A segunda maior contaminação foi obtida por PAAE, seguida das técnicas HPA e PAA que não diferiram entre si. Dessa forma, observa-se que o efeito da eletrostática foi pronunciado na exposição, pois PAAE foi superior à PAA.

Nos demais pontos avaliados, a maior exposição foi proporcionada pela técnica PAAE, exceto nos braços e cabeça, onde a mesma não diferiu de HVR. E ainda, a técnica PAAE foi superior a PAA em todas as partes do corpo do operador, ressaltando o efeito da eletrostática.

Tabela 7 - Exposição ($\mu\text{g cm}^{-2}$) por hectare, nas partes do corpo do operador em função da pulverização com diferentes técnicas, em plantas de pimentão com 2,1 m de altura, na safra 2020.

Parte do corpo	HPA	HVR	PAAE	PAA
Pés	31,87 cA	269,14 aA	119,75 bA	45,06 cA
Inferior da perna (frente)	2,53 bBC	11,34 bDE	49,00 aC	7,88 bB
Inferior da perna (trás)	7,68 cBC	12,97 cDE	90,60 aB	3,74 bB
Superior da perna (frente)	4,11 bBC	11,36 bDE	36,89 aCD	38,47 aA
Superior da perna (trás)	0,65 bBC	7,57 abE	18,16 aE	2,62 bB
Abdômen	2,02 bBC	8,60 bE	43,67 aC	1,91 bB
Tórax	0,00 bBC	6,52 abE	19,57 aE	0,61 bB
Antebraços	8,80 cBC	20,47 bcD	50,13 aC	32,88 bA
Braços	15,90 abB	22,60 aD	24,83 aDE	5,64 bB
Cabeça	37,83 bA	96,11 aB	37,50 bCD	5,62 cB
CV (%)	23,21			
p valor	< 0,01			

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV: Coeficiente de variação (%). HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostático e PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostático.

Sabe-se que o aumento da distância entre o bico eletrostático e o alvo reduz o depósito da pulverização, uma vez que a carga elétrica das gotas se dissipam ao entrar em contato com íons presentes no ar (SASAKI *et al.*, 2013, APPAH *et al.*, 2019a; APPAH *et al.*, 2019b) e que a força de atração é inversamente proporcional ao

quadrado da distância (Lei de Coulomb). Novas pesquisas devem avaliar a possibilidade de redução contaminação do operador em aplicações eletrostáticas por meio do aumento distância entre o bico eletrostático e o operador. Isso pode ser feito aumentando o comprimento da lança ou pistola de pulverização.

Apesar das vantagens do uso da pulverização eletrostática observada em diversas pesquisas, como otimização da qualidade da aplicação e redução de perdas, o presente trabalho indica que seu uso aumenta a exposição e promove maior dispersão do volume pulverizado no corpo do operador durante a pulverização. Nesse sentido, a preocupação com a segurança do operador deve ser aumentada em caso de utilização da pulverização eletrostática.

Na maioria das situações de partes do corpo do operador, estádios de desenvolvimento das plantas e safras, a exposição com a aplicação PAEE foi superior a PAA, porém o contrário não aconteceu em nenhuma ocasião.

Também deve-se ter maior atenção ao utilizar a técnica hidráulica com $\frac{1}{2}$ da taxa de aplicação (HVR), pois mostrou-se superior ao padrão produtor (HPA) em diversas situações, principalmente quando avaliada a exposição nos pés do operador. Fato este, provavelmente relacionado ao menor tamanho das gotas da pulverização com menor taxa de aplicação.

Vale ressaltar que os resultados apresentados para as diferentes técnicas de pulverização são referentes apenas a exposição dérmica durante ao processo de pulverização. Níveis maiores podem ocorrer ao considerar a etapa de preparo de calda (KASIOTIS *et al.*, 2017; FRIEDRICHS *et al.*, 2020), além de exposição proveniente de reentrada de pessoas na casa de vegetação após a aplicação (TSAKIRAKIS *et al.*, 2018; BUREAU *et al.*, 2021).

2.4 CONCLUSÕES

O efeito das técnicas de aplicação na exposição do operador durante a pulverização é variável entre as partes do corpo do operador e alturas da cultura do pimentão.

Na menor altura avaliada (0,7 m), a contaminação é mais acentuada nos membros inferiores do corpo do operador, no entanto, em maiores alturas (1,4 e 2,1 m), a exposição passa a ser acentuada também em outras partes do corpo.

A técnica de aplicação pneumática com eletrostática (PAAE) aumenta a exposição do operador durante a pulverização, principalmente nas partes do corpo do operador localizadas acima da parte inferior das pernas, em comparação as demais técnicas em estudo.

A técnica hidráulica com redução de 50% da taxa de aplicação (HVR) aumenta os níveis de contaminação do operador em comparação a técnica p padrão do agricultor (HPA).

REFERÊNCIAS

APPAH, S *et al.* Investigation of optimum applied voltage, liquid flow pressure, and spraying height for pesticide application by induction charging. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 35, n. 5, p. 795-804, 2019b.

APPAH, S. *et al.* Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 1-9, 2019a.

ASSUNÇÃO, H. H. T. *et al.* SPRAY DEPOSITION ON MAIZE USING AN ELECTROSTATIC SPRAYER. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 503-510, 2020.

BADULES, J. *et al.* Comparative study of CFD models of the air flow produced by an air-assisted sprayer adapted to the crop geometry. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 149, p. 166–174, 2018.

BALSARI, P. *et al.* An autonomous self-propelled sprayer for safer pesticide application in glasshouse. **Aspects of Applied Biology**, v. 114, p.1-8, 2012.

BONDORI, A. *et al.* Use of personal protective equipment toward pesticide exposure: farmer's attitudes and determinants of behavior. **Science of Total Environment**. v. 639, p. 1156–1163, 2018.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, v. 26, p. 211-252, 1964.

BUREAU, M. *et al.* Pesticide exposure of workers in apple growing in France. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, p. 1-13, 2021.

CAO, L. *et al.* Assessment of potential dermal and inhalation exposure of workers to the insecticide imidacloprid using whole-body dosimetry in China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 27, p. 139-146, 2015.

CERQUEIRA, D. T. R. *et al.* Optimization of spray deposition and *Tetranychus urticae* control with air assisted and electrostatic sprayer. **Scientia Agrícola**, v. 74, p. 32-40, 2017.

CERRUTO, E. *et al.* Operator dermal exposure to pesticides in tomato and strawberry greenhouses from hand-held sprayers. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2273, 2018.

CHRISTOVAM, R. *et al.* Effect of nozzle angle and air-jet parameters in air assisted sprayer on biological effect of soybean asian rust chemical protection. **Journal of Plant Protection Research**, v. 50, n. 3, p. 347-353, 2010.

CHOI, H.; KIM, J. H. Risk and Exposure Assessment for Agricultural Workers during Treatment of Cucumber with the Fungicide Fenarimol in Greenhouses. **Applied Biological Chemistry**, v. 61, n. 1, p. 1-6, 2018.

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

DARIO, G. *et al.* Application techniques of pesticides in greenhouse tomato crops. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 146-152, 2020.

ESEHAGHBEYGI, A.; TADAYYON, A.; BESHARATI, S. Comparison of electrostatic and spinning-discs spray nozzles on wheat weeds control. **Journal of American Science**, v. 6, n.12, p. 529-533, 2010

FRENICH, A. G. *et al.* Dermal exposure to pesticides in greenhouses workers: discrimination and selection of variables for the design of monitoring programs. **Environmental monitoring and assessment**, v. 80, n. 1, p. 51-63, 2002.

FRIEDRICH, G. F. *et al.* Human exposure and mass balance distribution during procymidone application in horticultural greenhouses. **Heliyon**, v. 6, n. 1, p. e03093, 2020.

GONZÁLEZ, R. *et al.* Navigation techniques for mobile robots in greenhouses. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 2, p. 153-165, 2009.

HOLTERMAN, H. J. **Kinetics and evaporation of water drops in air**. Wageningen: IMAG, 2003.

KASIOTIS, K.M. *et al.* Assessment of field re-entry exposure to pesticides: a dislodgeable foliar residue study. **Science of the Total Environment**, v. 596, p. 178-186, 2017.

KO, M. H. *et al.* Autonomous greenhouse mobile robot driving strategies from system integration perspective: Review and application. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 20, n. 4, p. 1705-1716, 2015.

LI, Y. *et al.* Comparison of a new air-assisted sprayer and two conventional sprayers in terms of deposition, loss to the soil and residue of azoxystrobin and tebuconazole applied to sunlit greenhouse tomato and field cucumber. **Pest management science**. v. 74, n. 2, p 448–455, 2018.

LIN, J. *et al.* Development and test of an autonomous air-assisted sprayer based on single hanging track for solar greenhouse. **Crop Protection**, v. 142, p. 105502, 2021.

LLOP, J. *et al.* Influence of air-assistance on spray application for tomato plants in greenhouses. **Crop protection**, v. 78, p. 293-301, 2015b.

LLOP, J. *et al.* Spray distribution evaluation of different settings of a hand-held-trolley sprayer used in greenhouse tomato crops. **Pest management science**, v. 72, n. 3, p. 505-516, 2015a.

MA, J. *et al.* Influence of plant leaf moisture content on retention of electrostatic-induced droplets. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11685, 2021.

MARTIN, D. E.; LATHEEF, M. A. Aerial electrostatic spray deposition and canopy penetration in cotton. **Journal of Electrostatics**, v. 90, p. 38-44, 2017.

NUYTSENS, D.; WINDEY, S.; SONCK, B. A. R. T. Comparison of operator exposure for five different greenhouse spraying applications. **Journal of agricultural safety and health**, v. 10, n. 3, p. 187, 2004.

PAPA, R. Mechanical distribution of beneficial arthropods in greenhouse and open field: A review. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 49, n. 2, p. 81-91, 2018.

PASCUZZI, S.; CERRUTO, E.; MANETTO, G. Foliar spray deposition in a "tendone" vineyard as affected by airflow rate, volume rate and vegetative development. **Crop Protection**, v. 91, p. 34-48, 2017.

PASCUZZI, S.; SANTORO, F. Exposure of farm workers to electromagnetic radiation from cellular network radio base stations situated on rural agricultural land. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 21, n. 3, p. 351-358, 2015.

REN, J. X. et al. Exposure assessment of operators to clothianidin when using knapsack electric sprayers in greenhouses. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 3, p. 1471-1478, 2018.

RINCON, V J. *et al.* Assessment of the influence of working pressure and application rate on pesticide spray application with a hand-held spray gun on greenhouse pepper crops. **Crop Protection**, v. 96, p. 7-13, 2017.

RINCON, V. *et al.* Spray performance assessment of a remote-controlled vehicle prototype for pesticide application in greenhouse tomato crops. **Science of the Total Environment**, v. 726, p. 138509, 2020.

RINCÓN, VÍCTOR J.; PÁEZ, FRANCISCO C.; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, JULIÁN. Potential dermal exposure to operators applying pesticide on greenhouse crops using low-cost equipment. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 1181-1187, 2018.

SALCEDO, R. *et al.* Evaluation of leaf deposit quality between electrostatic and conventional multi-row sprayers in a trellised vineyard. **Crop Protection**, v. 127, p. 104964, 2020.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J et al. Evaluation of the Effect of Different Hand-Held Sprayer Types on a Greenhouse Pepper Crop. **Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 532, 2021.

SASAKI, R. S. et al. Parameters of electrostatic spraying and its influence on the application efficiency. **Revista Ceres**, v. 60, n. 4, p. 474-479, 2013.

SUTHERLAND, J. A. *et al.* Effect of application volume and method on spray operator contamination by insecticide during cotton spraying. **Crop Protection**, v. 9, n. 5, p. 343-350, 1990.

THOUVENIN, I.; BOUNEB, F.; MERCIER, T. Operator dermal exposure and protection provided by personal protective equipment and working coveralls during

mixing/loading, application and sprayer cleaning in vineyards. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 23, n. 2, p. 229-239, 2017.

TSAKIRAKIS, A. N. *et al.* Determination of pesticide dermal transfer to operators and agricultural workers through contact with sprayed hard surfaces. **Pest Management Science**, v. 74, n. 12, p. 2858-2863, 2018.

VAN LENTEREN. J. C., 2000. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? **Crop Protection**, v. 19, n. 6, p. 375-384, 2000.

WANG, S. *et al.* Comparison of a new knapsack mist sprayer and three traditional sprayers for pesticide application in plastic tunnel greenhouse. **Phytoparasitica**, p. 1-14, 2021.

WICKE, H.; BACKER, G.; FRIEBLEBEN, R. Comparison of spray operator exposure during orchard spraying with hand-held equipment fitted with standard and air injector nozzles. **Crop Protection**, v. 18, n. 8, p. 509-516, 1999.

YANLIANG, Z; QI, L; WEI, Z. Design and test of a six-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) electrostatic spraying system for crop protection. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 6, p. 68-76, 2017.

YARPUZ-BOZDOGAN, N. *et al.* Determination of dermal exposure of operator in greenhouse spraying. **Agricultural mechanization in Asia, Africa, and Latin America**, v. 48, n. 1, 2017.

CAPÍTULO 3

INFLUÊNCIA DE TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO CONTROLE DE OÍDIO EM PLANTAS DE PIMENTÃO

RESUMO

O oídio, causado pelo fungo *Leveillula taurica*, é considerado a principal doença do pimentão cultivado em ambiente protegido. A definição da técnica de aplicação de fungicidas pode determinar o sucesso no controle dessa doença. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da redução da taxa de aplicação, e do uso da pulverização pneumática, com e sem eletrostática, no controle do oídio em plantas de pimentão, com o fungicida piraclostrobina mais fluxapiroxade (Orkestra®). Assim, quatro técnicas de aplicação constituíram os tratamentos: HPA (Hidráulica Padrão Agricultor) – lança manual com pontas de pulverização de jato cônico vazio e taxa de aplicação de 600 L ha⁻¹; HVR (Hidráulica Volume Reduzido) – lança manual com pontas de pulverização de jato cônico vazio e taxa de aplicação de 300 L ha⁻¹; PAAE (Pneumática: assistência de ar e eletrostática) – pistola manual com bocal provido de assistência de ar mais eletrostática, taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹; PAA (Pneumática: assistência de ar) – pistola manual com bocal assistido por ar, sem eletrostática (desligado), taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹. Plantas de pimentão foram cultivadas em vasos, sob ambiente protegido. Aos 90 dias após o transplante das mudas, procedeu-se a inoculação do patógeno. A primeira aplicação da mistura fungicida piraclostrobina mais fluxapiroxade, na dosagem de 58 e 116 g i.a ha⁻¹, foi realizada 20 dias após a inoculação, quando ocorreram os primeiros sintomas do oídio. A segunda e terceira aplicação foram realizadas com intervalos de 15 e 30 dias após a primeira, respectivamente. Foi avaliada a severidade da doença aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a primeira aplicação (DAPA). Todas as técnicas de aplicação proporcionaram redução na severidade do oídio e da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Nas condições do presente estudo, não há diferença entre as técnicas de aplicação para a AACPD. Novas pesquisas devem ser realizadas considerando um maior período de avaliação da severidade do oídio, a fim de determinar o efeito das

técnicas de pulverização em tratamento contínuo com fungicida na cultura do pimentão.

Palavas-chave: eletrostática; assistência de ar; taxa de aplicação; cultivo protegido; produto fitossanitário.

3.1 INTRODUÇÃO

O oídio é uma das principais doenças que afetam a produtividade da cultura do pimentão. No Brasil, sua ocorrência foi relatada pela primeira vez por Boiteux; Santos e Lopes (1994), ocasionado por *Leveillula taurica* (Lév.) Arn. [anamorfo: *Oidiopsis taurica* (Arn) Salmon].

Os sintomas iniciais são caracterizados pelo crescimento de micélio branco na superfície abaxial das folhas, que posteriormente desenvolvem-se para lesões cloróticas (TSROR; LEBIUSH; SHAPIRA, 2004). Em estádios avançados da doença, as folhas afetadas caem da planta, e conseqüentemente, pode ocorrer escaldadura dos frutos devido a exposição solar (BLAT *et al.*, 2005; LOPEZ *et al.*, 2019). Sua ocorrência é favorecida pela baixa umidade do ar, tal condição explica as severas infestações na cultura do pimentão cultivado sob ambiente protegido, principalmente durante a época seca do ano (BLAT *et al.*, 2005; PEREIRA; PINHEIRO; CARVALHO, 2013).

Atualmente, o principal método de controle é o químico, realizado por meio da pulverização de fungicidas (MACHADO *et al.*, 2017; LOPEZ *et al.*, 2020). Em contrapartida, há poucas opções de ingrediente ativo registradas para o controle da doença. A mistura dos fungicidas piraclostrobina mais fluxapiroxade é um dos mais recentes registros no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (AGROFIT, 2022). Na literatura Brasileira, são escassas pesquisas sobre eficiência de fungicidas visando o controle de oídio em pimentão.

No sentido de otimizar a eficiência dos fungicidas, a tecnologia de aplicação tem papel fundamental, pois é a ciência responsável pela colocação dos produtos fitossanitários biologicamente ativos no alvo, em dose suficiente, de forma econômica e com o mínimo de contaminação ambiental (MATUO, 1990). Entretanto, as informações sobre tecnologia de aplicação em olerícolas são limitadas, dificultando

na escolha dos parâmetros que compõem a calibração e regulação dos pulverizadores.

Como exemplo, é comum dúvidas sobre o estabelecimento da taxa de aplicação (volume de calda/hectare). Alguns agricultores relatam que se sentem mais confiantes com relação à qualidade da pulverização quando conseguem visualizar o molhamento das gotas sobre o dossel da cultura no momento da pulverização (DERKSEN *et al.*, 2008). Por outro lado, sabe-se que a utilização de volume superior a capacidade de retenção pelo alvo pode levar ao escoamento da calda aplicada para as folhas inferiores e atingindo posteriormente o solo (KHOT *et al.*, 2012).

Pesquisas realizadas em diversos países, demonstram que os métodos de aplicação convencionais utilizados em cultivos protegido, proporcionam baixa deposição, distribuição irregular no dossel da cultura e altos índices de perdas (RINCON *et al.*, 2017; RINCON *et al.*, 2020). Na Espanha, foi demonstrado a dificuldade de atingir a parte interna do dossel e a superfície abaxial foliar da cultura do pimentão, utilizando o pulverizador com lança manual (RINCON *et al.*, 2017). No Brasil, a cobertura da pulverização foi 2,5 vezes menor na superfície abaxial em relação superfície adaxial das folhas de tomateiro, utilizando pulverizador com lança manual equipado com pontas de jato cônico vazio e taxa de aplicação de 618 L ha⁻¹ (DARIO *et al.*, 2020).

Considerando os problemas relacionados à tecnologia de aplicação e as dificuldades no controle do oídio em pimentão, faz-se necessário a busca por alternativas. A pulverização eletrostática transfere carga elétrica às gotas de pulverização resultando na atração destas pelo alvo, podendo aumentar a deposição principalmente em pontos de difícil acesso, como a superfície abaxial das folhas (MARTIN; LATHEEF, 2017; YANLIANG; QI; WEI, 2017, APPAH *et al.*, 2019). Em adição, a assistência de ar incrementa a penetração das gotas de pulverização no dossel da cultura (BADULES *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de técnicas de aplicação com diferentes taxas de aplicação, assistência de ar e eletrostática, no controle do oídio em plantas de pimentão, com a mistura fungicida piraclostrobina mais fluxapiroxade (Orkestra®).

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos, pertencentes ao Departamento de Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu, SP.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, em seis repetições. Os tratamentos foram representados por quatro técnicas de aplicação da mistura fungicida fluxapiroxade mais piraclostrobina (Orkestra®) na dosagem de 58 e 116 g i.a ha⁻¹, e testemunha sem aplicação.

As técnicas de aplicação foram: HPA (Hidráulica Padrão Agricultor) – lança manual com duas pontas de pulverização hidráulicas de jato cônico vazio, modelo JA - 2 (700 kPa), taxa de aplicação de 600 L ha⁻¹; HVR (Hidráulica Volume Reduzido) - lança manual com duas pontas de pulverização hidráulicas de jato cônico vazio, modelo JA - 1 (700 kPa), taxa de aplicação de 300 L ha⁻¹; PAAE (Pneumática: assistência de ar e eletrostática) – pulverizador pneumático com pistola manual com bocal provido de assistência de ar mais eletrostática, taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹; PAA (Pneumática: assistência de ar) – pulverizador pneumático com pistola manual contendo bocal assistido por ar, sem eletrostática (desligado), taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹. Cada repetição foi representada por um vaso, contendo uma planta de pimentão. Foram realizadas duas replicações do experimento, sendo a primeira entre os meses de março e agosto de 2020 e a segunda entre maio e outubro de 2020.

Para aplicação das técnicas HPA e HVR, foi usado um pulverizador semiestacionário, marca Yamaha®, equipado com uma lança manual e duas pontas de pulverização hidráulicas. A lança conecta-se por uma mangueira de 40 m de comprimento e 1/4" de diâmetro interno a uma bomba de três pistões, com vazão máxima de 18 L min⁻¹, acionada por um motor ciclo Otto, quatro tempos de 3,73 kW de potência. O sistema possui um controlador de pressão com manômetro na saída da bomba de pulverização e retorno ao reservatório de calda (capacidade de 50 L). Para monitorar a pressão de trabalho com maior precisão, também foi instalado um manômetro junto à lança de pulverização.

Para aplicação das técnicas PAAE e PAA, foi utilizado um pulverizador eletrostático (modelo MBP 4.0, Electrostatic Spraying Systems, Watkinsville, GA, USA), provido de assistência de ar e sistema de indução eletrostática. A transferência

de cargas elétricas às gotas é feita por indução indireta. A tensão do sistema é de 1 kV e a bateria recarregável contida na lança de pulverização é de 9 Volts (V). A formação e fracionamento das gotas é feita pelo princípio pneumático, com geração de ar por um compressor, acionado por um motor ciclo Otto, quatro tempos e 4,85 kW de potência. O ar gerado pelo compressor é conduzido até a pistola de pulverização por uma mangueira de 30 m de comprimento e 1/2" de diâmetro interno. O diâmetro mediano volumétrico (DMV) do espectro de gotas gerado é de 40 micrometros de acordo com o fabricante, resultando em uma relação carga/massa de 5,3 $\mu\text{C/g}$. O equipamento possui reservatório de calda com capacidade de 15 L e alças para adaptação costal.

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação não climatizada, utilizando-se como unidades experimentais vasos com capacidade de 5 litros contendo terra, areia e esterco de curral na proporção de 1:1:0,5.

Mudas de pimentão, híbrido Pampa[®]/HM Clause, foram produzidas por empresa especializada em bandejas de polietileno e transplantadas para os vasos aos 30 dias após a semeadura. Foi realizada irrigação diariamente com sistema de gotejamento.

Aos 90 dias após o transplante, procedeu-se à inoculação do patógeno via aspersão com borrifador manual de suspensão de conídios (10^4 conídios mL^{-1}), conforme Paz Lima; Lopes e Café Filho. (2004). O isolado de *L. taurica* foi coletado em folhas de área comercial de cultivo de pimentão.

Três aplicações do fungicida foram realizadas com intervalos de 15 dias, sendo a primeira aos 20 dias após a inoculação, quando as plantas apresentaram os primeiros sintomas da doença, conforme recomendado pelo fabricante do fungicida. No momento da primeira aplicação, as plantas estavam com 0,7 m de altura. As plantas que não apresentaram nenhum sintoma foram descartadas.

As aplicações dos tratamentos foram realizadas em ambiente fechado, onde a temperatura permaneceu entre 25 e 30°C e umidade relativa do ar entre 70 e 80%.

A aplicação de cada repetição foi realizada separadamente. Para isso, utilizou-se oito plantas como bordadura, sendo quatro de cada lado, dispostas em fileira única sobre o piso, com espaçamento de 0,35 m entre si (Figura 1). As bordaduras foram utilizadas com intuito de simular uma linha de plantas conforme os cultivos comerciais e facilitar a assertividade na velocidade de deslocamento do operador. Para evitar isolamento de contato das plantas com o piso por meio do fundo do vaso (plástico),

as plantas foram aterradas com arrame conectando o solo do vaso com o piso do local de aplicação.

Figura 1 – Aplicação da mistura fungicida fluxapiroxade mais piraclostrobina em plantas de pimentão.



Foto: Matheus M. Negrisoni (2021).

A velocidade de deslocamento do operador durante a aplicação foi de $0,58 \text{ m s}^{-1}$ para as técnicas hidráulicas e $0,29 \text{ m s}^{-1}$ para as técnicas pneumáticas. Para o cálculo da velocidade, foi considerado espaçamento de 1,52 m entre linhas, o equivalente a 6579 metros de linha por hectare conforme a equação 1.

Após as aplicações, as plantas eram transportadas novamente para a casa de vegetação. As avaliações de severidade da doença foram realizadas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a primeira aplicação (DAPA), por meio da determinação da porcentagem de área foliar coberta pelo fungo, em dez folhas escolhidas aleatoriamente em cada planta. A avaliação foi encerrada aos 42 DAPA devido ao tamanho do vaso que limitou a continuidade das avaliações.

Como referência para a avaliação da severidade da doença, utilizou-se uma escala diagramática (Figura 2). Para estabelecimento da escala, foram selecionadas cinco folhas com diferentes níveis de porcentagem de área coberta pelo fungo, as quais foram fotografadas com câmera digital NIKON D5100, lente de 18-55mm, à distância de 0,30 m, obtendo imagens em formato JPEG, resolução de 350 dpi, sem flash e zoom definido de acordo com o ajuste do foco. Posteriormente, as imagens foram submetidas ao software Assess® versão 2.0 (Lamari, Department of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada), para quantificação da porcentagem de área coberta pelo fungo.

Figura 2 - Escala diagramática utilizada para determinação da porcentagem de área de folhas de pimentão lesionada pelo fungo.



Com os dados de severidade nas diferentes datas de avaliação foi calculada a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), conforme proposto por Campbell e Madden (1990).

A normalidade dos dados de severidade e AACPD foi constatada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e a homogeneidade das variâncias pelo teste Levene ($p < 0,05$). Posteriormente foi realizada a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira replicação do experimento, a mistura fungicida piraclostrobina mais fluxapiroxade proporcionou redução na severidade da doença em todas as avaliações

(7 a 42 dias após a primeira aplicação - DAPA) (Tabela 1). Por outro lado, entre as técnicas de aplicação, houve diferença somente na última avaliação (42 DAA), na qual as técnicas HPA e PAAE proporcionaram menor severidade em relação a PAA, enquanto a técnica HVR diferiu apenas da testemunha.

As diferenças entre as técnicas de aplicação, aos 42 DAPA, podem estar relacionadas a alterações na qualidade da aplicação. Conforme constatado no capítulo 1, a técnica HPA proporcionou a melhor qualidade da aplicação na superfície adaxial das folhas, enquanto PAAE proporcionou os melhores resultados na superfície abaxial. Apesar de os fungicidas piraclostrobina e fluxapiroxade serem classificados como sistêmicos, sabe-se que a translocação de fungicidas é limitada, sendo praticamente restrita ao sentido acropetal e ocorre a curtas distâncias na planta (AZEVEDO, 2007). Desta forma, o aumento da qualidade da aplicação, principalmente com relação à distribuição das gotas de pulverização nas folhas das plantas pode ter auxiliado na redução da severidade aos 42 DAPA.

Tabela 1 - Severidade do oídio (*Leveillula taurica*) em porcentagem da área foliar afetada e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), em função das diferentes técnicas de pulverização de piraclostrobina mais fluxapiroxade, em plantas de pimentão (1ª replicação experimental).

Tratamento	Dias após a primeira aplicação (DAPA)						AACPD
	7	14	21	28	35	42	
TEST	8,3 a	15,7 a	28,1 a	35,7 a	57,1 a	66,7 a	1486 a
HPA	1,6 b	5,3 b	5,51 b	10,6 b	7,8 b	10,1 c	287 b
HVR	2,1 b	4,6 b	10,7 b	14,3 b	15,4 b	17,4 bc	452 b
PAAE	3,7 b	6,4 b	10,4 b	14,8 b	13,1 b	13,9 c	452 b
PAA	2,63 b	5,3 b	10,0 b	13,3 b	18,1 b	31,1 b	563 b
DMS	4,05	6,52	12,3	15,9	15,34	15,81	368,2
F	7,99*	8,78*	8,62*	7,01*	28,79*	36,88*	29,15*

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); TEST: Testemunha sem aplicação; HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostática; PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostática; DMS: Diferença mínima significativa. *significativo ($p < 0,01$).

Na literatura são escassas pesquisas que avaliaram o efeito de técnicas de aplicação de fungicidas para o controle de oídio em pimentão, dificultando a comparação de resultados. Em geral, as pesquisas têm avaliado os efeitos de diferentes produtos fitossanitários, sintéticos e/ou biológicos (KUMAR *et al.*, 2008; MITIDIERI *et al.*, 2010; OBREGÓN *et al.*, 2016; LOPEZ *et al.*, 2019, LONGONE *et al.*, 2020) no controle de oídio. Também há trabalhos sobre resistência genética, porém a quantidade de linhagens de pimentão resistentes ao oídio é limitada (PAZ LIMA; LOPES; CAFÉ FILHO, 2004; BLAT *et al.*, 2005; MARCHESAN *et al.*, 2009).

A molécula piraclostrobina pertence à classe das estrobilurinas, caracterizada pela ação mesostêmica ou translaminar nas folhas (TOFOLI *et al.*, 2013) e translocação praticamente ausente (SANTOS, 2016). Dessa forma, apesar de a esporulação de *L. taurica* ocorrer predominantemente na superfície abaxial das folhas das plantas de pimentão, o aumento da deposição e/ou cobertura na superfície adaxial também pode auxiliar no controle da doença.

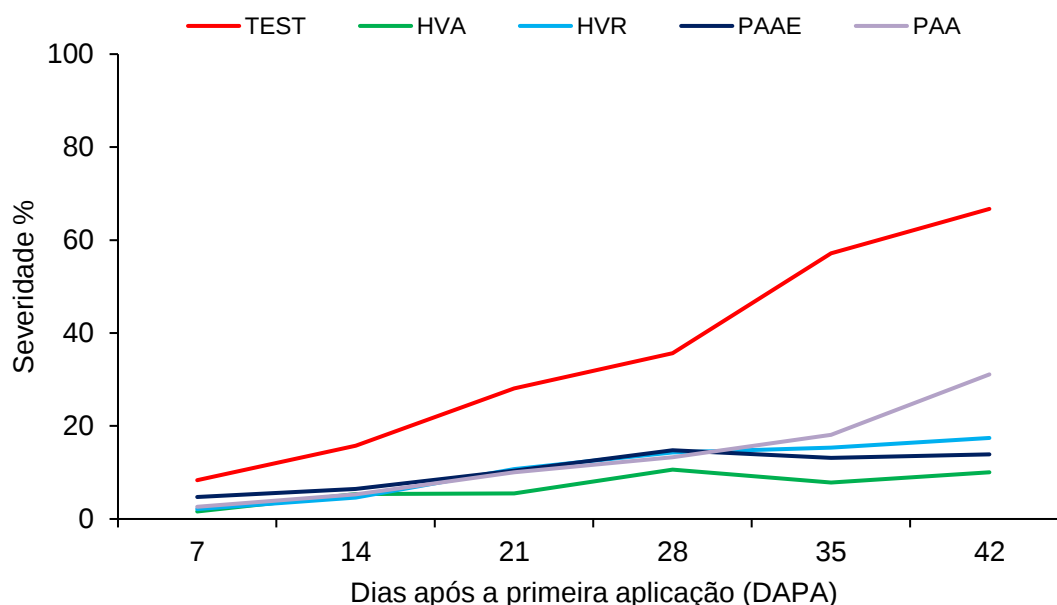
Fluxapiroxade pertence ao grupo das carboxamidas, também caracterizado por baixa translocação na planta, porém não possui ação mesostêmica ou translaminar, significativas (SANTOS, 2016). Esse autor observou que a quantidade translocada em plantas de soja e videira, foi inferior a 1% do total aplicado, ressaltando a importância da obtenção melhores níveis de cobertura na aplicação.

Para AACPD, as técnicas de aplicação não apresentaram diferenças entre si (Tabela 1). Por outro lado, todas as técnicas tiveram AACPD inferior à testemunha, demonstrando o efeito significativo do fungicida no controle da doença. O fato da AACPD considerar a evolução da doença em todo o período de avaliação explica a ausência de diferenças entre as técnicas de aplicação, pois a severidade diferiu apenas aos 42 DAA, não sendo suficiente para proporcionar alteração na AACPD. Desta forma, sugere-se que novos trabalhos avaliem a severidade do oídio por um período maior, pois somente na última avaliação foi possível observar diferenças entre as técnicas.

Ao observar a evolução da doença ao longo do tempo (Figura 3), constata-se que a severidade da doença no tratamento testemunha possui crescimento mais acentuado em relação aqueles que receberam as aplicações do fungicida, principalmente aos 28 dias após o aparecimento dos primeiros sintomas de oídio. Lopez *et al.* (2019) observaram aumento exponencial na severidade da doença 30 dias após o aparecimento dos primeiros sintomas.

Também é possível observar que após os 35 DAPA a severidade do tratamento com a técnica PAA aumentou em maior proporção em relação as demais técnicas de aplicação, o que proporcionou diferenças significativas nos níveis de severidade na avaliação aos 42 DAPA, conforme já relatado.

Figura 3 - Curvas de evolução da severidade do oídio (*Leveillula taurica*) em porcentagem da área foliar afetada, em função das diferentes técnicas de pulverização de piraclostrobina mais fluxapiroxade, em plantas de pimentão (1º replicação experimental).



TEST: Testemunha sem aplicação; HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostática; PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostática.

Na segunda replicação do experimento, a mistura fungicida piraclostrobina mais fluxapiroxade proporcionou redução na severidade somente após os 28 DAPA, pois dos 7 aos 21 DAPA, não houve efeito significativo do fungicida em relação à testemunha (Tabela 2).

Com relação as diferentes técnicas de aplicação, observa-se diferença somente aos 42 DAPA, onde a técnica PAAE proporcionou a menor severidade, enquanto as demais técnicas não diferiram entre si. Maior AACPD foi obtida na testemunha, em comparação aos tratamentos que receberam aplicação do fungicida, independente da técnica de aplicação. Esses resultados reforçam a necessidade de avaliação da severidade do oídio por um maior período de tempo, a fim de possibilitar a expressão de possíveis diferenças entre as técnicas de aplicação.

A menor severidade pode estar relacionada ao efeito da eletrostática, proporcionando maior cobertura da pulverização na superfície adaxial. Conforme observado no primeiro capítulo e de acordo com outras pesquisas da literatura (MASKI; DURAIRAJ, 2010; YANLIANG; QI; WEI, 2017; MARTIN; LATHEEF, 2017; APPAH *et al.*, 2019), o uso da eletrostática pode aumentar a deposição e cobertura na superfície abaxial das folhas, coincidindo com a superfície de desenvolvimento do oídio.

Tabela 2 - Severidade do oídio (*Leveillula taurica*) em porcentagem da área foliar afetada e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), em função das diferentes técnicas de pulverização de piraclostrobina mais fluxapiroxade, em plantas de pimentão (2ª replicação experimental).

Tratamento	Dias após a primeira aplicação (DAPA)						AACPD
	7	14	21	28	35	42	
TEST	19,3 a	19,0 a	37,6 a	71,6 a	72,9 a	87,6 a	2155 a
HPA	12,8 a	17,1 a	18,2 a	24,2 b	30,6 b	40,0 b	1001 b
HVR	11,4 a	13,5 a	17,7 a	25,6 b	34,2 b	46,9 b	1045 b
PAAE	11,4 a	17,5 a	18,2 a	19,5 b	22,1 b	17,6 c	744 b
PAA	11,6 a	21,3 a	28,4 a	30,0 b	36,6 b	45,4 b	1214 b
DMS	10,21	17,78	23,39	19,99	21,52	26,0	633,1
F	1,82 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,47 ^{ns}	19,51*	14,26*	16,36*	12,68*

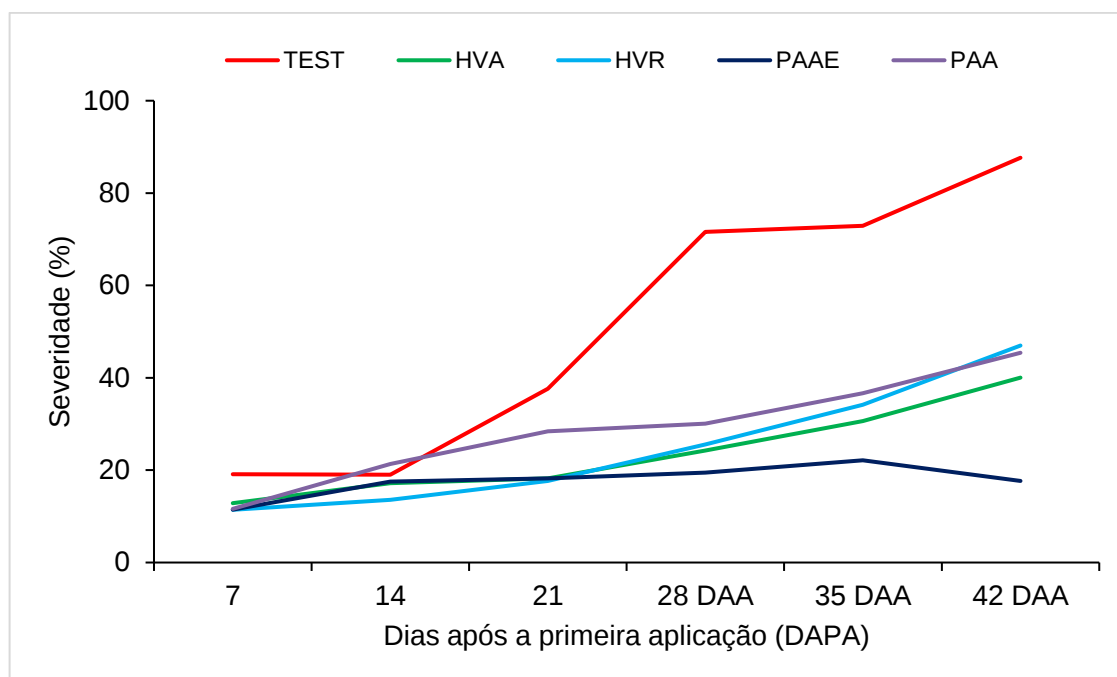
Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); TEST: Testemunha sem aplicação; HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostática; PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostática; DMS: Diferença mínima significativa; *significativo ($p < 0,01$);

^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

A Figura 4 representa a evolução da severidade do oídio no período de 7 a 42 DAPA. Denota-se que houve aumento expressivo na severidade do oídio após 21 DAPA, coincidindo com o início da diferença significativa entre os tratamentos fungicidas e a testemunha, conforme já relatado na Tabela 2. Em contrapartida, para os tratamentos que receberam a aplicação do fungicida, o aumento da severidade ocorre de maneira menos acentuada.

Também é possível observar que após os 35 DAPA, houve queda na severidade da doença nas plantas que receberam tratamento fungicida com a técnica PAAE, explicando a menor severidade ocorrida na última avaliação (42 DAPA).

Figura 4 - Curvas de evolução da severidade do oídio (*Leveillula taurica*) em porcentagem da área foliar afetada, em função das diferentes técnicas de pulverização de piraclostrobina mais fluxapiroxade, em plantas de pimentão (2º replicação experimental).



TEST: Testemunha sem aplicação; HPA: Hidráulica Padrão Agricultor; HVR: Hidráulica Volume Reduzido; PAAE: Pneumática com assistência de ar e eletrostática; PAA: Pneumática com assistência de ar, sem eletrostática.

Considerando ambas as replicações do experimento, denota-se que os efeitos das técnicas de aplicação começam a diferenciar-se após os 35 DAPA, ou seja, após a realização de três aplicações sequenciais do fungicida. Esses resultados sugerem que, em tratamentos contínuos com o fungicida, a escolha da correta técnica de aplicação pode ser determinante no sucesso do controle do oídio na cultura do pimentão. Em cultivos comerciais de pimentão em ambiente protegido, o ciclo da cultura varia de nove a 14 meses, e o monitoramento e/ou tratamento fitossanitário da cultura é realizado durante todo o ciclo.

Vale ressaltar que no presente estudo as aplicações foram realizadas após a ocorrência dos primeiros sintomas e os resultados podem ser diferentes em caso de

aplicações realizadas preventivamente. Na bula do fungicida em estudo, é indicado que a aplicação seja realizada no início dos primeiros sintomas ou preventivamente.

3.4 CONCLUSÕES

Nas condições de condução do experimento, pode-se concluir que:

- Todas as técnicas de aplicação proporcionaram redução na severidade do oídio e da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).
- Não há diferença para entre as técnicas de aplicação para a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).
- Novas pesquisas devem ser realizadas considerando um maior período de avaliação da severidade do oídio, a fim de determinar o efeito das técnicas de pulverização em tratamento contínuo com fungicida na cultura do pimentão.

REFERÊNCIAS

- APPAH, S. *et al.* Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 1-9, 2019.
- AZEVEDO, L.A.S. **Fungicidas sistêmicos: Teoria e Prática**. 1. Ed. Campinas: EMOPI, 2007, 284P.
- BADULES, J. *et al.* Comparative study of CFD models of the air flow produced by an air-assisted sprayer adapted to the crop geometry. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 149, p. 166–174, 2018.
- BLAT, S.F. *et al.* Reação de acessos de pimentão e pimentas ao oídio (*Oidiopsis taurica*). **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.72-75, 2005.
- BOITEUX, L.S.; SANTOS, J. R. M.; LOPES, C. A. First record of powdery mildew of sweet-pepper *Capsicum annuum* incited by *Leveillula taurica* in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 19, n. ssupl, 1994.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **AGROFIT**. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 31 jan. 2022.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, p. 532, 1990.
- MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of charging voltage, application speed, target height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces. **Crop Protection**, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010.
- DARIO, G. *et al.* Application techniques of pesticides in greenhouse tomato crops. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 146-152, 2020.
- DERKSEN, R. C. *et al.* Comparing greenhouse handgun delivery to poinsettias by spray volume and quality. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 1, p. 27-35, 2008.
- KHOT, L. R. *et al.* Spray pattern investigation of an axial-fan airblast precision sprayer using a modified vertical patternator. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 28, n. 5, p. 647-654, 2012.
- KUMAR, A. M. *et al.* Integrated disease managemet for the control of powdery mildew (*Leveillula taurica* (Lev.) Arn.) in bell pepper. Asian Australas. J. **Plant Sci. Biotechnol**, v. 2, p. 107-112, 2008.
- LONGONE, M. V. *et al.* Estudio preliminar de uso de compuestos biorracionales para el control de oidiopsis (*Leveillula taurica* (Lév.) Arn.) en pimiento bajo cubierta. **EEA San Pedro, INTA**, 2020.

LÓPEZ, C. G. *et al.* Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) using *Trichoderma asperellum* and *Metarhizium anisopliae* in different pepper types. **BioControl**, v. 64, n. 1, p. 77-89, 2019.

LÓPEZ, C. G. *et al.* Control of Pepper Powdery Mildew Using Antagonistic Microorganisms: An Integral Proposal. In: MÉRILLON, J. M.; RAMAWAT, K. G. **Plant Defence: Biological Control**. 2. ed. Springer, 2020, cap. 15, p. 385-420.

MARCHESAN, C. B. *et al.* Combining ability in sweet pepper for resistance to powdery mildew. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 189-195, 2009.

MARTIN, D. E.; LATHEEF, M. A. Aerial electrostatic spray deposition and canopy penetration in cotton. **Journal of Electrostatics**, v. 90, p. 38-44, 2017.

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

MITIDIERI, M. *et al.* Evaluación de fungicidas para el control de oidiopsis (*Leveillula taurica* (Lév.) Arn) en el cultivo de pimiento bajo cubierta. **Horticultura Argentina**, v. 29, n. 68, p. 5-9, 2010.

OBREGÓN, V. *et al.* Evaluación de fungicidas biorracionales para el control *Leveillula taurica* en cultivo de pimiento en invernadero. **Horticultura Argentina**, v. 35, n. 86, p. 37-43, 2016.

PAZ LIMA, M.L.; LOPES, C.A.; CAFÉ FILHO, A. C. Estabilidade da resistência de *Capsicum* spp. ao oídio em telado e casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 519-525, 2004.

PEREIRA, R. B.; PINHEIRO, J. B.; DE CARVALHO, A. D. F. Manejo do oídio em pimentão: um desafio em cultivo protegido. **Embrapa Hortaliças-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2013. Disponível em:<
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84920/1/cot-94.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

RINCON, V. J. *et al.* Assessment of the influence of working pressure and application rate on pesticide spray application with a hand-held spray gun on greenhouse pepper crops. **Crop Protection**, v. 96, p. 7-13, 2017.

RINCON, Victor J. *et al.* Spray performance assessment of a remote-controlled vehicle prototype for pesticide application in greenhouse tomato crops. **Science of the Total Environment**, v. 726, p. 138509, 2020.

SANTOS, P. S. J. **Estudo da sistemicidade e tenacidade de epoxiconazol, piraclostrobina e fluxapiroxade em plantas de soja e videira**. 2016. 151 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

TOFOLI, J.G. *et al.* Controle da requeima e pinta preta da batata por fungicidas: conceitos, evolução e uso integrado. **Biológico**, v. 75, n. 1, p. 41-52, 2013.

TSROR, L.; LEBIUSH, M. S.; SHAPIRA, N. Control of powdery mildew on organic pepper. **IOBC/WPRS Bulletin**, v. 27, n. 8, p. 333-336, 2004.

YANLIANG, Z; QI, L; WEI, Z. Design and test of a six-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) electrostatic spraying system for crop protection. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 6, p. 68-76, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor de horticultura em ambiente protegido tem enfrentado dificuldades no controle de pragas e doenças. Assim, o presente trabalho fornece informações para auxiliar os agricultores e técnicos de campo na definição da técnica de aplicação de produtos fitossanitários, em cultivo de pimentão sob ambiente protegido.

Com base nos resultados, entende-se que a redução de 50% da taxa de aplicação corriqueira empregada pelo agricultor pode comprometer a qualidade da aplicação, quando se utiliza o pulverizador hidráulico convencional.

O pulverizador pneumático com eletrostática, constitui uma alternativa para melhorar a deposição e a cobertura da pulverização na superfície abaxial das folhas, ponto considerado de difícil alcance pelas gotas de pulverização. Em contrapartida, seu uso deve ser realizado com cautela, pois a eletrostática aumenta o nível de exposição do operador aos produtos fitossanitários.

REFERÊNCIAS

- APPAH, S. *et al.* Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 1-9, 2019.
- BAYER T, *et al.* Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 192-198, 2011.
- BONDORI, A. *et al.* Use of personal protective equipment toward pesticide exposure: farmer's attitudes and determinants of behavior. **Science of Total Environment**. v. 639, p. 1156–1163, 2018.
- CERQUEIRA, D. T. R. *et al.* Optimization of spray deposition and *Tetranychus urticae* control with air assisted and electrostatic sprayer. **Scientia Agrícola**, v. 74, p. 32-40, 2017.
- CERRUTO, E. *et al.* Operator dermal exposure to pesticides in tomato and strawberry greenhouses from hand-held sprayers. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2273, 2018.
- CHEN, S. *et al.* Deposition distribution, metabolism characteristics, and reduced application dose of difenoconazole in the open field and greenhouse pepper ecosystem. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 313, p. 107370, 2021.
- DARIO, G. *et al.* Application techniques of pesticides in greenhouse tomato crops. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 146-152, 2020.
- DERKSEN, R. C. *et al.* Comparing greenhouse handgun delivery to poinsettias by spray volume and quality. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 1, p. 27-35, 2008.
- FRENICH, A. G. *et al.* Dermal exposure to pesticides in greenhouses workers: discrimination and selection of variables for the design of monitoring programs. **Environmental monitoring and assessment**, v. 80, n. 1, p. 51-63, 2002.
- FRIEDRICHS, G. F. *et al.* Human exposure and mass balance distribution during procymidone application in horticultural greenhouses. **Heliyon**, v. 6, n. 1, p. e03093, 2020.
- KO, M. H.; RYUH, B. S.; KIM, K. C.; SUPREM, A.; MAHALIK, N. P. Autonomous greenhouse mobile robot driving strategies from system integration perspective: Review and application. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 20, n. 4, p. 1705-1716, 2015.
- LI, Y. *et al.* Comparison of a new air-assisted sprayer and two conventional sprayers in terms of deposition, loss to the soil and residue of azoxystrobin and tebuconazole applied to sunlit greenhouse tomato and field cucumber. **Pest management science**. v. 74, n. 2, p 448–455, 2018.

LIN, J. *et al.* Development and test of an autonomous air-assisted sprayer based on single hanging track for solar greenhouse. **Crop Protection**, v. 142, p. 105502, 2021.

LLOP, J. *et al.* Influence of air-assistance on spray application for tomato plants in greenhouses. **Crop protection**, v. 78, p. 293-301, 2015.

MARTIN, D. E.; LATHEEF, M. A. Aerial electrostatic spray deposition and canopy penetration in cotton. **Journal of Electrostatics**, v. 90, p. 38-44, 2017.

MOHAMED, A. O. *et al.* Knowledge, attitudes and practices of pesticide's sprayers towards pesticides use and handling in greenhouse farms, Sudan. **International Journal of Management and Commerce Innovations**. v. 6, n. 2, p. 840-50, 2019.

PASCUZZI, S.; CERRUTO, E.; MANETTO, G. Foliar spray deposition in a "tendone" vineyard as affected by airflow rate, volume rate and vegetative development. **Crop Protection**, v. 91, p. 34-48, 2017.

REN, J. X. *et al.* Exposure assessment of operators to clothianidin when using knapsack electric sprayers in greenhouses. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 3, p. 1471-1478, 2018.

RINCON, V J. *et al.* Assessment of the influence of working pressure and application rate on pesticide spray application with a hand-held spray gun on greenhouse pepper crops. **Crop Protection**, v. 96, p. 7-13, 2017.

RINCON, Victor J. *et al.* Spray performance assessment of a remote-controlled vehicle prototype for pesticide application in greenhouse tomato crops. **Science of the Total Environment**, v. 726, p. 138509, 2020.

RINCÓN, V. J. *et al.* Potential dermal exposure to operators applying pesticide on greenhouse crops using low-cost equipment. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 1181-1187, 2018.

SALCEDO, R. *et al.* Evaluation of leaf deposit quality between electrostatic and conventional multi-row sprayers in a trellised vineyard. **Crop Protection**, v. 127, p. 104964, 2020.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J *et al.* Evaluation of a fog cooling system for applying plant-protection products in a greenhouse tomato crop. **Crop Protection**, v. 48, p. 76-81, 2013a.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J *et al.* Evaluation of the Effect of Different Hand-Held Sprayer Types on a Greenhouse Pepper Crop. **Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 532, 2021.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J. *et al.* Comparative spray deposits by manually pulled trolley sprayer and a spray gun in greenhouse tomato crops. **Crop Protection**, v. 31, n. 1, p. 119-124, 2012.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J. *et al.* Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouse tomato crops. **Pest Management Science**, v. 67, n.8, p. 942-947, 2011.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J. *et al.* Volume application rate adapted to the canopy size in greenhouse tomato crops. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 6, p. 390-396, 2013b.

SANTOS, P. S. J. **Estudo da sistemicidade e tenacidade de epoxiconazol, piraclostrobina e fluxapirroxade em plantas de soja e videira**. 2016. 151 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SASAKI, R. S. *et al.* Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v. 43, p. 1605-1609, 2013.

SILVA, D. P. **Interação eletrostática: assistência de ar na deposição da pulverização e viabilidade de fungos entomopatogênicos**. 2019. 82 p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

VELASCO, L. *et al.* A Historical Account of Viruses in Intensive Horticultural Crops in the Spanish Mediterranean Arc: New Challenges for a Sustainable Agriculture. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 860, 2020.