

TATIANE BEATRIZ MERTENS

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA ELETROVORTEX® NA DEPOSIÇÃO E DERIVA
FÍSICA EM APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NA CULTURA DO ALGODÃO**

Botucatu

2023

TATIANE BEATRIZ MERTENS

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA ELETROVORTEX® NA DEPOSIÇÃO E DERIVA
FÍSICA EM APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NA CULTURA DO ALGODÃO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Botucatu

2023

M575a Mertens, Tatiane Beatriz
Avaliação do sistema EletroVortex na deposição e deriva física em aplicação de fungicida na cultura do algodão / Tatiane Beatriz Mertens. -- Botucatu, 2023
56 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

1. tecnologia de aplicação. 2. pulverização eletrostática. 3. assistência de ar. 4. gotas eletrificadas. 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: AVALIAÇÃO DO SISTEMA ELETROVORTEX NA DEPOSIÇÃO E DERIVA FÍSICA EM APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NA CULTURA DO ALGODÃO

AUTORA: TATIANE BEATRIZ MERTENS

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Energia na Agricultura), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. JOÃO PAULO ARANTES RODRIGUES DA CUNHA (Participação Virtual)
Instituto de Ciências Agrárias / Universidade Federal de Uberlândia

Pesquisador Dr. FERNANDO KASSIS CARVALHO (Participação Virtual)
. / AgroEfetiva Serviços SS Ltda.

Pesquisador Dr. RODOLFO GLAUBER CHECHETTO (Participação Presencial)
. / AgroEfetiva Serviços SS Ltda.

Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 10 de abril de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me criar, me chamar pelo meu nome, me dar um propósito de vida e principalmente por me mostrar que não importa quem eu sou, ou o que tenho feito, existe amor e perdão disponível por Ele.

Aos meus pais Noeli e Mário, por todo amor e tudo que fazem por mim.

Ao orientador Prof. Dr. Ulisses R. Antuniassi, por todas as oportunidades durante o doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito do sistema EletroVortex (combinação da assistência de ar juntamente com o carregamento eletrostático no sistema de pulverização), acoplado a um pulverizador autopropelido Uniport 3030, na deriva física e na deposição em folhas da cultura, na aplicação de fungicida na cultura do algodão. O ensaio foi realizado na Fazenda Itamarati, pertencente ao Grupo Amaggi, no município de Campo Novo do Parecis - MT. As aplicações foram realizadas na cultura do algodão cultivar Fiber Max FM 906GLT de ciclo precoce aos 99 DAE (dias após a emergência). Foram considerados dois tratamentos (sistema EletroVortex desligado e ligado) e os ensaios foram realizados com seis repetições, sempre com velocidade de deslocamento do pulverizador de 22 km h^{-1} e taxa de aplicação de 60 L ha^{-1} . O primeiro ensaio foi realizado para a coleta dos dados de deposição e o segundo para a coleta da deriva. Ambos foram instalados no mesmo talhão sobre a mesma cultura. Em todas as aplicações a calda foi composta pelo fungicida Fox Xpro® (SC) na dose de $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ e pelo corante alimentício Azul Brilhante FCF – INS 133 na concentração de 6 g L^{-1} . As coletas de deriva e deposição foram realizadas em parcelas diferentes (dois ensaios) visando as melhores condições possíveis para a implementação das metodologias analíticas. O ensaio de recuperação da calda nas folhas da cultura foi realizado com o intuito de comparar o sistema EletroVortex com o sistema de pulverização convencional (sistema EletroVortex desligado) em relação ao desempenho quanto a deposição na cultura. A quantidade de prothioconazol recuperada em cada tratamento foi calculada inicialmente com base na área foliar (massa do ingrediente ativo por cm^2 nas folhas), seguindo-se de uma estimativa de recuperação por hectare (massa de ativo por hectare), através da ponderação da quantidade de ativo recuperado pela área foliar de cada extrato das plantas (superior, médio e inferior). Os resultados mostraram que a recuperação de calda nas plantas foi maior com o sistema Eletrovortex ligado, obtendo-se maior deposição unitária (massa de ativo por área de folha) em todos os estratos das plantas e maior quantidade de ativo recuperado por hectare. No que se refere à distribuição da calda entre as partes das plantas, o uso do sistema EletroVortex ligado proporcionou uma significativa redistribuição entre os estratos, com um grande aumento da recuperação de calda no terço médio das plantas. Para a análise dos resultados do ensaio de deriva as parcelas foram separadas em dois grupos de três repetições. O primeiro

correspondeu a aplicações onde a velocidade do vento era menor do que 6 km h^{-1} e o segundo grupo foi com parcelas onde a velocidade do vento estava acima de 8 km h^{-1} . Esta separação foi realizada para que se pudesse avaliar a eficácia do sistema EletroVortex no controle da deriva em situações com maior e menor intensidade do vento. Os resultados mostraram que o efeito de redução de deriva proporcionado pelo sistema EletroVortex foi mais evidente com o aumento da velocidade média do vento durante as aplicações. Na situação com maior velocidade média de vento (média das parcelas de $8,5 \text{ km h}^{-1}$) o sistema reduziu significativamente a deriva na comparação direta com as parcelas onde a velocidade média do vento era menor ($5,9 \text{ km h}^{-1}$).

Palavras-chave: tecnologia de aplicação; pulverização eletrostática; assistência de ar; gotas eletrificadas.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the EletroVortex system (combination of air assistance together with electrostatic charging in the spraying system), coupled to a Uniport 3030 self-propelled sprayer, on physical drift and deposition on leaves of the crop in the application of fungicide in cotton crop. The trial was carried out at Fazenda Itamarati, belonging to the Amaggi Group, in the municipality of Campo Novo do Parecis - MT. The applications were carried out in the cotton crop, cultivar Fiber Max FM 906GLT, with an early cycle at 99 DAE (days after emergence). Two treatments were considered (EletroVortex system off and on) and the trials were performed with six repetitions, always with a sprayer displacement speed of 22 km h⁻¹ and an application rate of 60 L ha⁻¹. The first test was carried out to collect deposition data and the second to collect drift. Both were installed in the same plot over the same crop. In all applications, the mixture was composed of the fungicide Fox Xpro® (SC) at a rate of 0.5 L ha⁻¹ and the food coloring Azul Brilhante FCF – INS 133 at a concentration of 6 g L⁻¹. Drift and deposition collections were carried out in different plots (two trials) aiming at the best possible conditions for the implementation of analytical methodologies. The spray recovery test on the leaves of the crop was carried out with the aim of comparing the EletroVortex system with the conventional spraying system (EletroVortex system turned off) in relation to performance regarding deposition on the crop. The amount of prothioconazole recovered in each treatment was initially calculated based on the leaf area (mass of active ingredient per cm² on the leaves), followed by an estimate of recovery per hectare (mass of active ingredient per hectare), by weighting the amount of active recovered by the leaf area of each plant extract (upper, middle and lower). The results showed that the recovery of syrup in the plants was greater with the Eletrovortex system turned on, obtaining a higher unit deposition (mass of active per leaf area) in all strata of the plants and a greater amount of active recovered per hectare. With regard to the distribution of the spray mixture among the parts of the plants, the use of the connected EletroVortex system provided a significant redistribution between the strata, with a large increase in the recovery of the spray mixture in the middle third of the plants. For the analysis of the results of the drift test, the plots were separated into two groups of three repetitions. The first corresponded to applications where the wind speed was less than 6 km h⁻¹ and the second group was with plots where the wind speed was above 8 km h⁻¹. This

separation was carried out in order to evaluate the effectiveness of the EletroVortex system in controlling drift in situations with greater and lesser wind intensity. The results showed that the drift reduction effect provided by the EletroVortex system was more evident with the increase in the average wind speed during the applications. In the situation with the highest average wind speed (average of the plots of 8.5 km h^{-1}) the system significantly reduced the drift in direct comparison with the plots where the average wind speed was lower (5.9 km h^{-1}).

Keywords: application technology; electrostatic spraying; air assistance; electrified drops.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Tecnologia de aplicação.....	15
2.2	Deriva.....	16
2.3	Assistência de ar na barra de pulverização.....	17
2.4	Fatores que interferem no desempenho da assistência de ar.....	18
2.5	Pulverização eletrostática.....	20
2.5.1	Sistema corona, carga iônica ou campo ionizado.....	21
2.5.2	Sistema de indução.....	22
2.5.3	Sistema de contato.....	23
2.6	Fatores que interferem na pulverização eletrostática.....	24
2.7	Combinação da assistência de ar e pulverização eletrostática.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Local.....	28
3.2	Tratamentos e condições operacionais.....	28
3.3	Coleta de deriva e deposição.....	32
3.3.1	Coleta de deriva em alvos artificiais.....	32
3.3.2	Coleta de deposição em alvos naturais.....	35
3.4	Avaliação de área foliar das plantas.....	38
3.5	Análise dos dados.....	38
3.5.1	Deriva em alvos artificiais.....	38
3.5.2	Recuperação do ingrediente ativo nos alvos naturais.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1	Deriva em alvos artificiais até 100 m.....	41
4.1.1	Parcelas com menor velocidade de vento (média de 5,9 km h ⁻¹).....	41
4.1.2	Parcelas com maior velocidade de vento (média de 8,5 km h ⁻¹).....	43
4.2	Avaliação de área foliar das plantas.....	45
4.3	Recuperação do ingrediente ativo nas folhas da cultura.....	46
4.4	Recuperação relativa do prothioconazol entre os estratos.....	49
5	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O algodão é uma fibra de grande importância econômica e social para o mundo, apresentando uso em diversos segmentos, como na indústria têxtil, alimentícia e no setor de papel e celulose.

Na safra 2021/2022 o maior produtor mundial de algodão foi a Índia seguida da China e Estados Unidos, o Brasil encontra-se na quarta posição no ranking mundial (ICAC, 2023). No Brasil, a região Centro-Oeste apresenta a maior produção de algodão com 4.870,5 mil toneladas em uma área de 1.249,2 mil hectares, em relação à safra 2022/2023 (CONAB, 2023).

Existem muitos fatores que limitam o potencial de rendimento da cultura do algodão no país e um desses fatores é a ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas. Caso não sejam identificadas e manejadas de forma correta podem causar sérios prejuízos na produção. De acordo com o levantamento da Conab (2019), os gastos com defensivos agrícolas para o manejo de doenças, pragas e plantas daninhas no estado de Mato Grosso podem chegar a 38,75% do custo total de produção.

Visando reduzir significativamente estas perdas, a tecnologia de aplicação dos defensivos agrícolas tem um papel fundamental. Diversas pesquisas visam alternativas com o intuito de melhorar a deposição e distribuição dos defensivos agrícolas no dossel da cultura, assim como reduzir os problemas com contaminações ambientais. Das possíveis alternativas de melhorar a pulverização, os aprimoramentos dos pulverizadores e acessórios que compõem o sistema de pulverização, colaboram em melhores resultados na eficiência operacional, qualidade e segurança.

Como exemplo, o pulverizador automotriz Uniport 3030 com a tecnologia EletroVortex, que foi recentemente apresentado nas principais feiras agropecuárias do país com um sistema modificado e modernizado. O Uniport 3030 EletroVortex apresenta a combinação da assistência de ar juntamente com o carregamento eletrostático no sistema de pulverização.

O método de pulverização eletrostática trata da eletrificação das gotas pulverizadas a fim de que sejam fortemente atraídas pela planta e que atinjam áreas

ou alvos difíceis de serem atingidos pelo processo de pulverização com bicos hidráulicos convencionais. No entanto, o uso dessa tecnologia pode influenciar negativamente na distribuição e penetração das gotas da pulverização, restringindo os depósitos as partes mais expostas da planta. A associação da assistência de ar junto à barra de pulverização combinada à eletrificação das gotas pode incrementar os depósitos da pulverização nas partes da planta onde não são atingidos pelo processo de pulverização convencional ou apenas com a eletrificação das gotas.

Muitos questionamentos ainda são feitos sobre a interação entre taxa de aplicação ($L\ ha^{-1}$), velocidade de saída do ar, estádios de desenvolvimento das diferentes culturas, angulação dos bicos na barra em relação ao ar; altura de pulverização, entre outros fatores, visando obter maior cobertura da pulverização e minimizar as perdas por deriva, com isso torna-se de grande relevância a realização de pesquisas nesta área.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito do sistema EletroVortex (combinação da assistência de ar juntamente com o carregamento eletrostático no sistema de pulverização), acoplado a um pulverizador autopropelido Uniport 3030, na deriva física e na deposição em folhas da cultura, na aplicação de fungicida na cultura do algodão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tecnologia de aplicação

A tecnologia de aplicação pode ser definida como o emprego de todos os conhecimentos científicos que integram informações sobre defensivos agrícolas, pulverização, alvos, adjuvantes, formulações, recursos humanos, tecnologia de informação e ambiente (ANTUNIASSI et al., 2022). Portanto, esse conjunto de conhecimentos proporciona a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, com o mínimo de contaminação de outras áreas, de forma econômica e em quantidade necessária, visando uma aplicação correta, segura e responsável, respeitando as boas práticas agrícolas (MATUO et al., 1987).

Dentre as técnicas de aplicação de defensivos agrícolas, a aplicação de líquidos é a mais difundida, com destaque para o processo de pulverização, que é definido como um processo mecânico onde ocorre a divisão da calda de pulverização em gotas, as quais transportam os princípios ativos do produto em direção ao alvo desejado (ANTUNIASSI et al., 2022; RAETANO, 2019).

Durante a pulverização, as gotas lançadas por uma ponta geram uma “população de gotas”, formada por diferentes tamanhos, formando o espectro de gotas. Para a classificação de uma pulverização, considerando o tamanho das gotas, o diâmetro mediano volumétrico (DMV), medido em micrometros (μm), é o mais utilizado como referência, pois trata-se do diâmetro de gotas que divide em duas partes iguais a massa de gotas pulverizadas, sendo a soma do volume, das gotas maiores, igual a soma do volume das gotas menores (ANTUNIASSI et al., 2022).

Alguns dos parâmetros analisados no espectro de gotas podem indicar o potencial de deriva de uma pulverização. Valores de DMV e V100 apresentam uma correlação com esse potencial, onde o aumento dos valores de V100 e a diminuição dos valores de DMV estão relacionados ao aumento do risco de deriva (ANTUNIASSI et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2015).

Para verificar a homogeneidade do diâmetro das gotas, utiliza-se a amplitude relativa (AR), quanto maior for o valor, menos homogêneo será o espectro de gotas e vice-versa (ANTUNIASSI et al., 2022).

A norma ASABE S-572.3, estabelece oito classes de tamanho de gotas com base em pontas e pressão de referência classificadas como extremamente fina, muito fina, fina, média, grossa, muito grossa, extremamente grossa e ultra grossa (ASABE, 2020).

Para que haja sucesso na qualidade de aplicação, a escolha do tamanho de gotas é extremamente importante, pois influencia diretamente na cobertura e deposição do alvo, penetração no interior do dossel das culturas e riscos de perdas por deriva. A cobertura pode ser definida como a porcentagem de área coberta por gotas da calda de pulverização em um alvo desejado (folhas, insetos, solo), já o depósito é a quantidade de ativo do produto sobre as folhas.

Em geral, gotas grossas apresentam boa quantidade de depósito sobre o alvo, já para a cobertura das folhas e penetração das gotas no dossel da cultura não proporcionam as melhores condições. Gotas finas ou muito finas são indicadas para alvos na parte interna ou inferior do dossel das plantas, pois melhoram a penetração e a cobertura. No entanto, a utilização de gotas finas ou muito finas são mais propensas à deriva, podendo reduzir a dose do produto na lavoura (ANTUNIASSI et al., 2022).

2.2 Deriva

A deriva na pulverização ocorre por dois métodos: deriva de partículas e deriva de vapor. A deriva de partículas (também definida como deriva física) é o movimento das partículas durante a pulverização para fora da área de aplicação ou alvo. Já o segundo método, deriva de vapor, é definida como o movimento do defensivo para fora da área de aplicação após o ingrediente ativo ser convertido de sua forma aplicada para um gás (KRUGER e ANTUNIASSI, 2019).

Existem vários tipos de deriva, de maneira geral, a deriva é considerada como a quantidade de produto que não atinge o alvo, sendo desviada pelas correntes de ar no momento da pulverização. A endoderiva ocorre dentro da área de aplicação na cultura através do escorrimento causado por excesso de calda ou gotas muito grandes. Já a exoderiva ocorre fora da área de aplicação, onde as gotas muito pequenas são levadas por correntes de ar. Outro tipo de deriva ocorre pela

evaporação, resultado da perda de gotas pequenas em condições meteorológicas desfavoráveis como a baixa umidade e alta temperatura do ar (ANTUNIASSI et al., 2022).

Os principais fatores que influenciam a deriva são: o tamanho de gotas, pontas de pulverização, tamanho do orifício das pontas, pressão de pulverização, ângulo de pulverização das pontas, taxa de aplicação ($L\ ha^{-1}$), altura da barra, espaçamento entre bicos, velocidade e direção do vento, inversões térmicas, umidade relativa do ar, temperatura e adjuvantes (KRUGER e ANTUNIASSI, 2019).

Para Oliveira (2011), os adjuvantes são responsáveis diretamente pela alteração das características físico-químicas, como tensão superficial, densidade, condutividade elétrica e viscosidade da calda e com isso modificam o espectro de gotas e resultam na variação do potencial risco de deriva.

As condições meteorológicas no momento da aplicação é um fator importante, que terá influência direta nas perdas por deriva e na eficiência do produto após atingir o alvo biológico. De acordo com Antuniassi et al. (2022), o ideal é que as aplicações sejam realizadas com umidade relativa superior à 50%, temperatura ambiente menor do que $30^{\circ}C$ e velocidade média do vento entre 3 e $10\ km\ h^{-1}$. Devem ser evitadas aplicações com ausência de vento, devido as inversões térmicas ou correntes de convecção que dificultam a deposição de gotas pequenas.

2.3 Assistência de ar na barra de pulverização

Os pulverizadores com assistência de ar foram inicialmente desenvolvidos e utilizados em culturas arbóreas e arbustos, como pomares e vinhedos, onde era difícil o manejo utilizando equipamentos convencionais (COFFMAN et al., 1999; GOHLICH, 1996; WALKLATE et al., 1996; WALKLATE et al., 1992).

A utilização de um fluxo de ar com o intuito de auxiliar na distribuição de defensivos agrícolas no dossel da cultura levou a vários projetos de pulverizadores com diferentes sistemas de ventiladores e configurações de diversos tipos de pontas de pulverização, com isso, os pulverizadores foram modernizados e aperfeiçoados para a utilização em outros tipos de culturas (MATTHEWS et al., 2014).

Na literatura existem vários trabalhos realizados em diferentes tipos de culturas, como na cultura do algodão para o controle de lagartas (WOMAC et al., 1992), no trigo (HISLOP et al., 1995), no cultivo de flores em casa de vegetação (WANDKAR et al., 2015) e na soja (SOUZA et al., 2019; BAUER e RAETANO, 2000). Estas diversas pesquisas têm demonstrado em comum as vantagens da assistência de ar em pulverizadores, como a maior penetração e uniformidade no dossel da cultura, maiores níveis de depósito e redução do potencial de deriva.

Para Raetano (2002) as vantagens na adoção da assistência de ar em barra de pulverização são diversos, como a redução do potencial de deriva, maior penetração e uniformidade de distribuição da pulverização e aumento dos depósitos principalmente na superfície abaxial das folhas posicionadas próximo ao solo.

2.4 Fatores que interferem no desempenho da assistência de ar

Muitos fatores devem ser levados em consideração durante a pulverização com assistência de ar em barra de pulverização a fim de obter a melhor eficácia no controle, como a seleção do volume e velocidade do ar; o ângulo de posicionamento dos bicos de pulverização em relação à “cortina de ar” e volume de calda (RAETANO e CUNHA, 2019). Outros fatores também devem ser levados em consideração como a velocidade de deslocamento do pulverizador, tipo de cobertura vegetal da área, densidade e arquitetura das plantas, estágio de desenvolvimento da planta, posição de insetos-pragas e doenças na planta, características do defensivo agrícola e velocidade do vento (RAETANO, 2002).

A velocidade do ar gerado em pulverizadores com a assistência de ar pode variar de acordo com a rotação (rpm) do ventilador. Ao longo da barra de pulverização podem ocorrer variações da velocidade do ar nas extremidades em relação à obtida na seção central da barra. Barras de pulverização com até 24 metros de comprimento podem gerar um volume de ar que variam de 0 a 2000 m³/hora/barra, o qual depende do número e potência do ventilador (RAETANO, 2002).

Outro fator que pode influenciar os níveis de depósitos e na distribuição da pulverização é o ângulo de posicionamento dos bicos de pulverização em relação a cortina de ar gerada pelo equipamento na vertical (RAETANO, 2002). Incrementos

nos depósitos de pulverização foram encontrados por Christovam et al. (2018), quando utilizaram velocidade do ar de 15 km h^{-1} e o posicionamento dos bicos a 30° (a favor do deslocamento), na cultura do trigo aos 67 dias após a semeadura.

Prado et al. (2010) avaliando a deposição da pulverização em plantas de soja, observaram que a assistência de ar junto à barra de pulverização apresentou os melhores níveis de depósito nos folíolos na parte inferior das plantas, nas velocidades de 11 e 29 km h^{-1} , o qual contribuiu para o melhor controle da ferrugem da soja, proporcionando acréscimo de produtividade e peso de 1000 grãos.

Segundo Bauer e Raetano (2000), houve uma redução significativa do potencial de deriva com o uso da assistência de ar na barra de pulverização, na cultura da soja, quando comparado ao equipamento sem assistência de ar.

Vale ressaltar a existência de trabalhos realizados com a assistência de ar na barra de pulverização em que não proporcionaram melhoria sobre os níveis de depósito e apresentaram elevadas perdas para o solo na aplicação de defensivos agrícolas, como os realizados por Bauer e Raetano (2003) e Raetano e Bauer (2004), ambos na cultura do feijão aos 48 dias após a emergência (DAE) e 26 DAE, respectivamente.

Esse fato pode ser explicado devido ao pequeno porte das plantas, onde existe a dificuldade de atingir as folhas mais próximas do solo, que sofrem influência mecânica do ar com a movimentação excessiva das plantas. Como alternativa, a utilização de menores pressões de trabalho ou a melhor adequação da velocidade do ar na barra de pulverização poderia melhorar a deposição da pulverização neste estágio de desenvolvimento da planta (RAETANO e BAUER, 2004).

Pesquisas realizadas recentemente mostram que o uso desta tecnologia em solo descoberto e em culturas em estádios iniciais de desenvolvimento não são recomendados, a fim de minimizar as perdas em pulverização (RAETANO e CUNHA, 2019).

Cooke et al. (1990) relataram que a deriva pode aumentar ou diminuir quando utilizado o equipamento com assistência de ar, comparado ao equipamento convencional, dependendo de fatores como, tipo de cultura, estágio das plantas, velocidade do ar na barra de pulverização e a escolha da ponta de pulverização.

2.5 Pulverização eletrostática

O estudo científico das propriedades e comportamentos da eletrostática é antigo, com relatos por volta do final da década de 60 com o desenvolvimento de um protótipo de bico pneumático eletrostático (LAW, 1978). A assistência eletrostática na pulverização tem como finalidade o fornecimento de carga elétrica às gotas, as quais podem ser carregadas antes ou após a sua formação a fim de melhorar a deposição no alvo, além de possibilitar o aumento da eficácia dos tratamentos fitossanitários e reduzir a taxa de aplicação e perdas dos defensivos agrícolas (RAETANO e CUNHA, 2019).

As atrações entre gotas eletrificadas e o alvo de pulverização ocorrem fundamentadas nas duas leis básicas da eletrostática. Na primeira lei as cargas com polaridade opostas se atraem e as cargas com polaridade semelhantes se repelem (HISLOP, 1988). Na segunda lei, a carga de uma nuvem de partículas carregadas induzirá uma carga elétrica igual e oposta em algum outro corpo condutor que encontra-se aterrado próximo (CHAIM, 2006).

Geralmente um líquido de pulverização é eletricamente neutro, onde os prótons com carga positiva são equilibrados por elétrons com carga negativa. Quando uma pulverização é carregada eletrostaticamente, esse equilíbrio normal é perturbado pelo movimento de elétrons, que possuem uma massa muito menor que os prótons, assim, um déficit de elétrons em uma gota de pulverização faz com que seja carregado positivamente e elétrons extras o tornam negativo (MATTHEWS, 1989). Ou seja, uma nuvem de gotas carregadas eletricamente ao se aproximar da planta provoca um desequilíbrio de prótons e elétrons e induz na superfície uma carga de sinal contrário sendo atraída e fixada pela planta (CHAIM, 2006).

Gotas carregadas eletricamente e que são atraídas por cargas de sinal contrário no alvo apresentam uma melhora na cobertura, principalmente na parte abaxial das folhas, pois são locais de difícil acesso, além da cobertura, onde as gotas são carregadas com a mesma polaridade sendo dispersada no jato de pulverização por repulsão elétrica. Esta atração elétrica é intensificada quando a gota se aproxima do alvo devido ao isolamento provocado pelo ar (RAETANO e CUNHA, 2019).

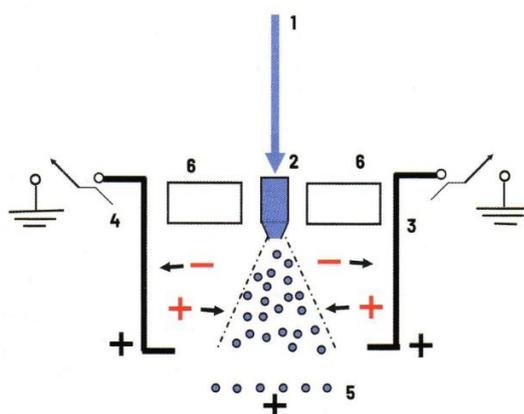
O processo de atração das gotas para a planta ocorre em duas etapas. A primeira etapa composta pela força eletrostática da própria gota eletrizada em relação a aproximação da superfície da planta e a segunda etapa envolve o campo elétrico do eletrodo que encontra-se no bico de pulverização e da nuvem de gotas carregadas que é gerada (CHAIM, 2006).

Os sistemas mais utilizados na eletrificação de gotas são:

2.5.1 Sistema corona, carga iônica ou campo ionizado

Neste sistema, um ou mais eletrodos são conectados a uma fonte de alta tensão em torno da saída das gotas. Grande quantidade de íons positivos e negativos são formados no interior do campo elétrico. Íons com sinal oposto ao do eletrodo são atraídos por este e neutralizado, já os de sinal igual são repelidos. As gotas ficam submetidas a sucessivas colisões com íons de igual sinal, carregando-se com a mesma polaridade destes (Figura 1) (RAETANO e CUNHA, 2019).

Figura 1 - Sistema corona para produzir carga elétrica. 1) calda; 2) ponta; 3 e 4) eletrodos submetidos à alta voltagem; 5) gotas carregadas com sinal aos eletrodos; 6) isolamento

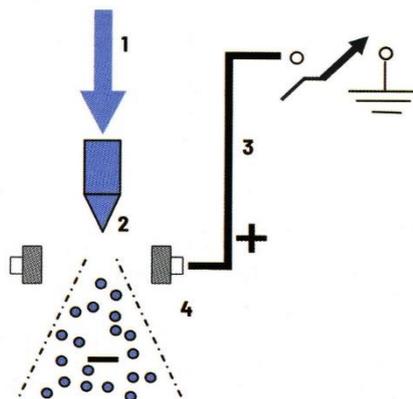


Fonte: Minguela e Cunha (2013)

2.5.2 Sistema de indução

Quando um eletrodo submetido a alta voltagem é carregado positivamente, gera uma carga elétrica negativa induzida na superfície das gotas, as quais adquirem a carga na presença de um intenso campo eletrostático. Neste processo, a calda de pulverização deve ter condutividade elétrica para que a carga seja transferida para a gota em um curto intervalo de tempo. Fatores como a geometria da ponta e a distância entre a ponta e o eletrodo e a vazão do líquido são importantes neste processo (Figura 2) (RAETANO e CUNHA, 2019).

Figura 2 - Sistema de indução para produzir carga eletrostática. 1) calda; 2) ponta; 3) eletrodo submetido à alta voltagem e 4) gotas carregadas



Fonte: Minguela e Cunha (2013)

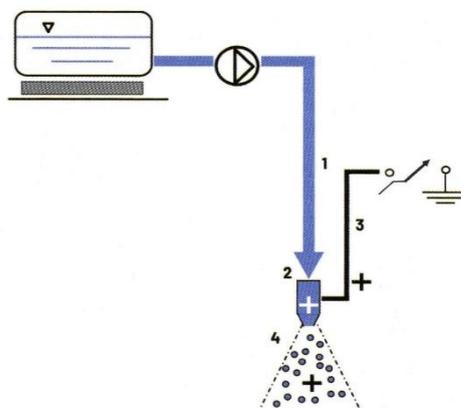
Comparado ao sistema corona, este método é considerado mais simples e eficiente devido a utilização de voltagens mais baixas e a calda do tanque e tubulações não são energizadas (RAETANO e CUNHA, 2019). Este sistema é utilizado na maioria dos equipamentos comerciais, devido as vantagens, em comparação com o carregamento por condução, como a alta tensão não entra em contato direto com o líquido; a força do campo elétrico está abaixo da força de ruptura do ar; portanto, sua tensão de trabalho pode ser menor e o isolamento do eletrodo se torna mais fácil; não existe corrente consumida pela fonte de alimentação; portanto, a capacidade atual pode ser muito pequena (ZHAO, 2005).

Alguns fatores como a carga das gotas apresentarem sinal oposto ao eletrodo, devem ser levados em consideração, onde parte do líquido pode ser atraído por ele causando molhamento e escorrimento, fato este que pode ser resolvido com a assistência de ar que auxilia na penetração das gotas no dossel (RAETANO e CUNHA, 2019).

2.5.3 Sistema de contato

No sistema de contato, utiliza-se um eletrodo para obter um alto potencial elétrico à ponta ou à calda de pulverização, esta calda é carregada por condução e as gotas formadas permanecem com carga idêntica (Figura 3).

Figura 3 - Sistema de contato para produzir carga eletrostática. 1) calda; 2) ponta; 3) eletrodo submetido à alta voltagem e conectado à ponta ou à calda 4) mantém a mesma carga



Fonte: Minguela e Cunha (2013)

Como ponto positivo desse processo, não é necessário um eletrodo de indução, o qual elimina a necessidade de utilizar mecanismos para evitar a atração das gotas. No entanto, a inexistência de um eletrodo de indução faz com que o campo eletrostático seja variável. Essa intensidade de carga do jato das gotas será totalmente dependente da distância do bico de pulverização em relação a planta, devido à alta tensão de eletrificação do jato de gotas em que o circuito hidráulico ficará submetido. Neste caso é necessário o isolamento do tanque, tubulações, bomba

hidráulica, entre outros para segurança dos aplicadores afim de evitar riscos de acidentes (CHAIM, 2006).

2.6 Fatores que interferem na pulverização eletrostática

Segundo Raetano e Cunha (2019) e Zhao et al. (2008), diversos fatores podem influenciar na deposição do alvo e na eficácia da pulverização eletrostática de defensivos agrícolas. Como exemplo, a distância do bocal do pulverizador ao alvo, umidade relativa do ar, condutividade elétrica e constante dielétrica da calda, densidade da calda, tensão superficial da calda, condições biológicas da planta, tipo de planta, diâmetro da gota e relação carga massa (Q/M).

A relação carga/massa (Q/M) é a quantidade de carga elétrica contida em uma massa conhecida de líquido, constatada pela divisão da corrente contida no jato de gotas pela massa de líquido pulverizado (RAETANO e CUNHA, 2019). Quanto maior a relação de carga/massa, maior será a eficiência da pulverização, pois a carga de gotículas afeta a energia elétrica, que afeta o campo eletrostático entre a queda e o alvo (SASAKI et al., 2013). Geralmente gotas maiores possuem taxas mais baixas de carga/massa e gotas menores apresentam taxas mais altas de carga/massa (ZHAO et al., 2008).

Sasaki et al. (2013) avaliando alguns parâmetros na pulverização eletrostática perceberam que a distância de pulverização afeta a relação Q/M e, conseqüentemente, a eficiência na deposição de líquido. Na distância próxima ao alvo, a relação Q/M foi de $4,11 \text{ mC kg}^{-1}$ e nas distâncias de 1, 2, 3, 4 e 5 metros, foi verificado valores menores. Quanto à deposição de líquido, o sistema eletrostático foi afetado pela orientação em relação ao alvo e pela distância de pulverização. Com o alvo na transversal, o sistema não proporcionou aumento da deposição de líquido, já com o alvo na longitudinal, houve aumento na deposição até a distância de três metros.

Para Tavares et al. (2017) a distância entre o bocal do pulverizador e o alvo, a vazão e a calda de pulverização influenciam na eficiência da pulverização eletrostática. Quanto maior a vazão de pulverização, menor foi a relação Q/M, o que

também ocorre com a distância do bocal do pulverizador eletrostático da entrada ao alvo.

A mudança de distância do bocal de pulverização à esfera pode afetar o campo eletrostático e as forças eletrostáticas nas gotículas carregadas alteram as trajetórias das gotículas. Portanto, a distância do bocal à esfera não deve ser muito grande para a pulverização eletrostática de líquidos e deve ser coordenada com a pressão do ar de atomização para o desenvolvimento adequado da pulverização (ZHAO et al., 2008).

O tipo de planta também pode influenciar na presença ou indução de carga elétrica, pois na mesma planta existe grande diferença entre variedades, caso a carga elétrica se concentre na parte apical, a cobertura do alvo será menor (RAETANO e CUNHA, 2019).

Na cultura do crisântemo, a pulverização eletrostática promove deposição maior ou igual das gotas na superfície adaxial das folhas, em comparação à pulverização com gotas desprovidas de carga elétrica. Pontas com gotas de menor diâmetro mediano volumétrico apresentaram maiores depósitos na superfície abaxial da folha, quando se utilizou a pulverização eletrostática. Esse fato não foi observado, quando foram pulverizadas gotas com maior diâmetro mediano volumétrico e desprovidas de carga elétrica, nas diferentes partes da planta (SERRA et al. 2008).

2.7 Combinação da assistência de ar e pulverização eletrostática

A utilização da pulverização eletrostática de forma isolada apresenta como desvantagem a distribuição não uniforme nas diferentes partes da planta. Maiores depósitos de pulverização ficam na parte superior das plantas, podendo ser insuficiente no controle de insetos-praga ou doenças que se encontram no baixeiro da planta (RAETANO e CUNHA, 2019).

Entre os sistemas de transferência de carga elétrica às gotas, o sistema de indução é o mais utilizado na barra de pulverização com a assistência de ar. Neste caso, existe um eletrodo metálico que circunda a ponta de pulverização na região de formação das gotas. Esta ponta fica circundada pelo anel metálico e posicionada na saída de ar de um ducto existente junto à barra de pulverização. A combinação do

sistema de transferência de carga elétrica por indução e do sistema de ar são importantes para que as gotas não fiquem depositadas no eletrodo, pois a umidade no eletrodo pode interferir negativamente na transferência de carga elétrica às gotas (RAETANO e CUNHA, 2019).

Desta forma, a assistência de ar pode ser combinada com a pulverização eletrostática, oferecendo uma aplicação eficaz de defensivos agrícolas, em termos de deposição, distribuição e cobertura da calda de pulverização nos diferentes extratos das plantas, assim como, a redução do potencial de deriva (MASKI e DURAIRAJ, 2010).

Os primeiros trabalhos que avaliaram a possibilidade de junção destas duas tecnologias foram desenvolvidos na década de 1990 (SUMNER et al., 2000), com diversos relatos de resultados promissores no que se refere à melhora na capacidade de depositar a calda em diferentes partes do dossel de plantas de algodão.

Em pesquisa realizada em pomares, Xiongkui et al. (2011) observaram que as gotas carregadas eletrostaticamente são projetadas em direção ao alvo com a ajuda de um fluxo de ar, o qual aumenta a penetração das gotas no dossel. O sistema eletrostático é capaz de carregar as gotas e pode aumentar em até duas vezes a deposição das gotas, em comparação a pulverização sem o sistema eletrostático. O fluxo de ar produzido pelo ventilador axial aumenta a penetração das gotas carregadas eletrostaticamente no dossel das árvores e melhora a eficiência e a uniformidade da deposição em ambos os lados das folhas. O pulverizador assistido por ar com sistemas de detecção por infravermelho e eletrostático pode reduzir o uso de defensivos agrícolas em torno de 50 a 75% e ainda melhorar a taxa de deposição no alvo em mais de 50%.

Segundo Oliveira et al. (2011), que publicaram resultados dos primeiros ensaios do sistema a campo realizados em 2008, houve melhorias significativas na deposição de fungicidas e no controle da ferrugem asiática na soja. Segundo os autores, o uso concomitante destas tecnologias propiciou também a redução no índice de deriva nas aplicações.

Serra (2011), comparou a pulverização assistida por ar, pulverização assistida por ar combinada à eletrostática e pulverização convencional (sem ar e carga elétrica) na cultura do algodão, com taxas de aplicação de 50 e 100 L ha⁻¹. Neste experimento,

os maiores depósitos da calda de pulverização foram verificados na parte inferior das plantas, quando a transferência de carga elétrica foi associada à assistência de ar junto à barra de pulverização. Para o controle de insetos-praga, o sistema eletrostático combinado com a assistência de ar mostrou-se mais eficiente, principalmente quando utilizado a taxa de 100 L ha^{-1} e com o estágio de desenvolvimento avançado da cultura. Fatores como a arquitetura da planta, estágio de desenvolvimento da cultura, cultivar e o comportamento do inseto podem influenciar no controle pelo grau de exposição do alvo em superfícies tratadas.

Serra (2011) ainda observou que as maiores produtividades foram de 4.621,65 e 4.729,95 kg ha^{-1} de algodão em caroço, obtidas com a combinação da pulverização eletrostática e assistência de ar para ambas as taxas de aplicação utilizadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

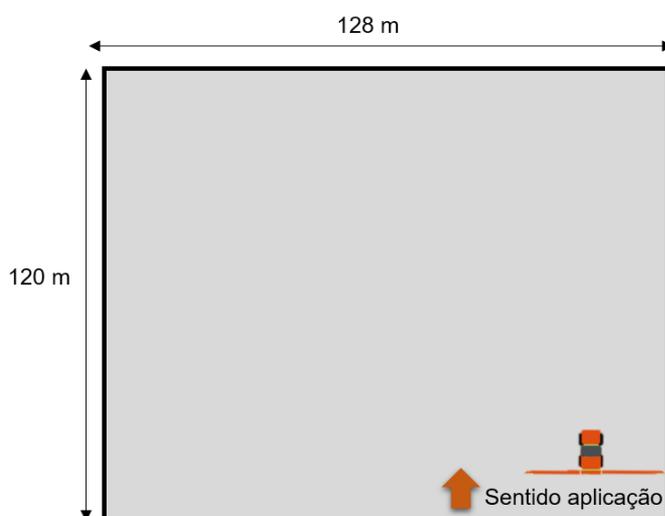
3.1 Local

O ensaio foi realizado na Fazenda Itamarati, pertencente ao Grupo Amaggi, no município de Campo Novo do Parecis - MT. As amostras coletadas em campo foram analisadas no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA) e no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), ambos pertencentes à Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, em Botucatu – SP.

3.2 Tratamentos e condições operacionais

As aplicações foram realizadas na cultura do algodão cultivar Fiber Max FM 906GLT de ciclo precoce aos 99 DAE (dias após a emergência), no momento das aplicações as plantas possuíam 23 nós em média (ramos vegetativos) e altura de 1,27 m. A área pulverizada foi em parcelas de 120 metros de comprimento por 128 metros de largura, totalizando em 1,5 ha, equivalente a 4 passadas do pulverizador que possuía 32 metros de largura de barra (Figura 4).

Figura 4 - Representação e dimensões da parcela aplicada



Fonte: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

O pulverizador utilizado durante as aplicações foi o modelo Uniport 3030 EletroVortex da Jacto, equipado com barra de 32 metros, espaçamento entre bicos de 0,35 metros, totalizando 92 pontas de pulverização (Figura 5).

Figura 5 - Pulverizador modelo Uniport 3030 EletroVortex marca Jacto



Foto: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

A ponta de pulverização utilizada foi o modelo ATR 80 (Jacto) (Figura 6), na pressão de 5,7 bar, produzindo gotas da classe Muito Fina (MF), na Figura 7 está o sistema eletrostático em cada bico.

Figura 6 - Ponta de pulverização utilizada durante as aplicações, modelo ATR 80 (Jacto)



Fonte: Jacto (2023)

Figura 7 - Sistema eletrostático em cada bico, responsável por criar a carga elétrica que conduz a gota até o alvo



Fonte: Jacto (2023)

O nível de velocidade do vento do sistema EletroVortex foi o de número 5, o máximo dentre as opções disponibilizadas, resultando em uma velocidade de fluxo do ar de 110 km h^{-1} e a voltagem utilizada foi de 5 kV (informações disponibilizadas pelo fabricante).

Foram considerados dois tratamentos (sistema EletroVortex desligado e ligado – Figura 8) e os ensaios foram realizados com seis repetições, sempre com velocidade de deslocamento do pulverizador de 22 km h^{-1} e taxa de aplicação de 60 L ha^{-1} , conforme Tabela 1. O primeiro ensaio foi realizado com o intuito de coleta dos dados de deriva e o segundo ensaio para coleta dos dados de deposição. Ambos foram instalados no mesmo talhão sobre a mesma cultura.

Figura 8 - Sistema EletroVortex desligado (A) e ligado (B)

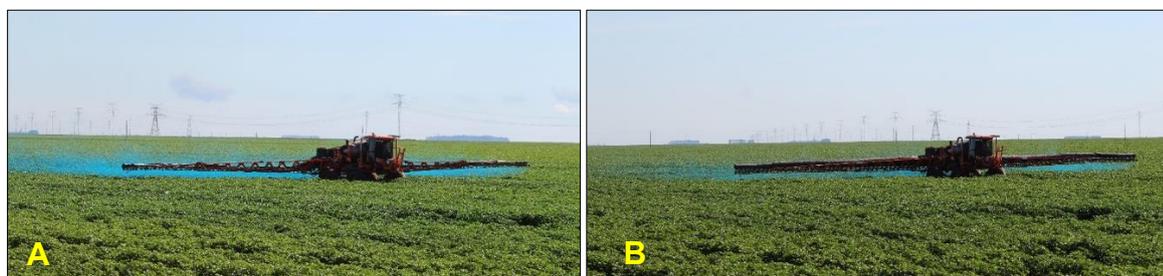


Foto: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

Tabela 1 - Tratamentos utilizados na pesquisa

Tratamento	Eletrostático + assistência de ar	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Velocidade (km h ⁻¹)
EV Desligado	Desligado	60	22
EV Ligado	Ligado	60	22

Em todas as aplicações a calda foi composta pelo fungicida Fox Xpro® (SC) na dose de 0,5 L ha⁻¹, o qual apresenta a respectiva formulação (bixafem 12,5%, protioconazol 17,5%, trifloxistrobina 15,0%) e pelo corante alimentício Azul Brilhante FCF – INS 133 (International Numbering System for Food Additives) na concentração de 6 g L⁻¹. O corante apresenta características de um traçador, como estabilidade, atóxico, baixa interferência nas características físicas da calda (MARCHI et al., 2005), e baixa foto degradação, podendo ficar exposto por até 8 horas sem que haja perdas (PALLADINI, 2000).

Durante cada faixa aplicada pelo pulverizador foi registrada a velocidade, a direção do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, com equipamento da marca Kestrel Instruments, modelo 5500 (Figura 9).

Figura 9 - Equipamento utilizado para registro das condições meteorológicas**Foto:** Tatiane Beatriz Mertens (2023)

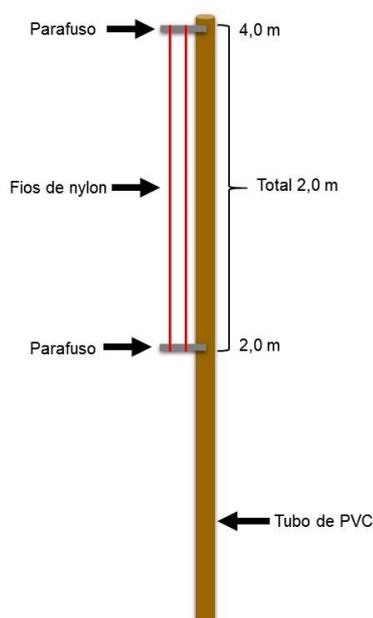
3.3 Coleta de deriva e deposição

A coleta de deriva em alvos artificiais e deposição de fungicida em alvos naturais foi realizado em parcelas diferentes (dois ensaios), visando as melhores condições possíveis para a implementação das metodologias analíticas.

3.3.1 Coleta de deriva em alvos artificiais

O modelo de coletor vertical para a coleta de deriva foi baseado na norma ASAE/ASABE S561.1, (2009). Os suportes para esses coletores foram confeccionados com base de tubos de ferro, na altura de 1,5 metros, com bitola $\frac{3}{4}$ ". Estes foram utilizados para a fixação de tubos de PVC rígido, com bitola de $\frac{1}{2}$ ", totalizando, após encaixe das duas partes, a altura máxima de 4 m. A parte superior do coletor, confeccionada em PVC rígido, continha fios de nylon (o mesmo utilizado em roçadoras) com 2 mm de diâmetro, fixados em parafusos estabelecidos nas alturas de 2 até 4 m. Os fios foram presos aos parafusos no sentido "ida e volta", resultando em 4 m de fios por amostra (Figura 10) (ANTUNIASSI et al., 2011; ANTUNIASSI et al., 2014).

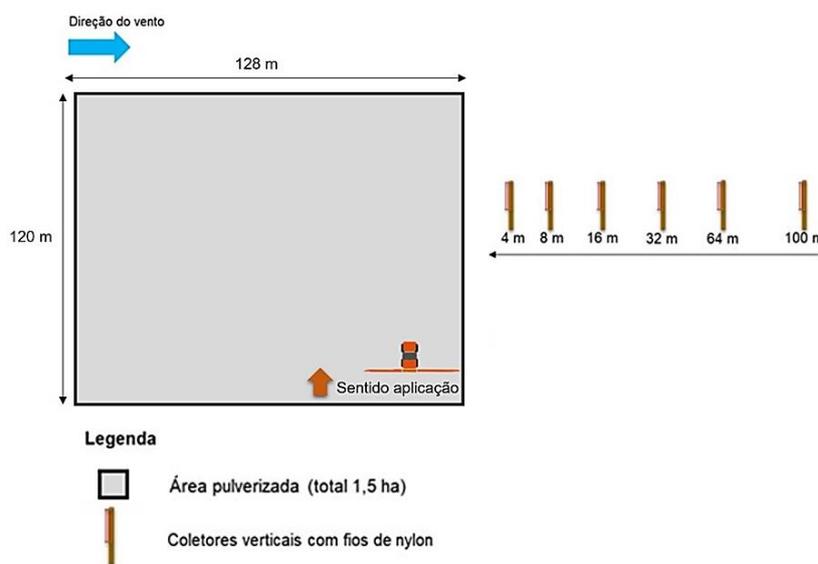
Figura 10 - Exemplo de coletor vertical utilizado para coleta de deriva



Fonte: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

A metodologia de coleta dos dados de deriva seguiu recomendações da norma ISO 22866 (2005). Por esta razão, as aplicações para ensaio de deriva foram realizadas com vento transversal ao sentido de deslocamento do pulverizador. Considerando o sentido longitudinal da parcela, a partir do ponto central (50 metros), foram posicionados os coletores de deriva, nas distâncias de 4, 8, 16, 32, 64 e 100 metros. Os fios já fixados nos coletores foram posicionados de través com o vento, evitando que os fios fiquem encobertos pelo tubo de PVC (Figura 11).

Figura 11 - Representação da parcela aplicada para a coleta dos dados de deriva, com dimensões e sentido de aplicação do pulverizador, bem como o sentido do vento



Fonte: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

Após 10 minutos do término da aplicação, tempo necessário para secar os fios de nylon e evitar o escorrimento e perdas no momento da coleta, iniciou a retirada dos fios, estes foram colocados em sacos plásticos com a devida identificação (Figura 12).

Figura 12 - Coleta dos fios de nylon e colocados em sacos plásticos com a devida identificação



Foto: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

Após os fios de nylon serem removidos do campo, estes foram colocados em sacos plásticos de cor preta e armazenados em câmara fria ($5 \pm 2^\circ \text{C}$).

A lavagem dos fios para extração do corante foi realizada adicionando 45 mL de água deionizada em cada um dos sacos plásticos contendo os fios, inflados com ar e agitados manualmente por 60 segundos. Após a lavagem o líquido resultante foi colocado individualmente em tubos de ensaio e submetido à análise por um espectrofotômetro (Figura 13).

Figura 13 - Espectrofotômetro utilizado para leitura das amostras



Foto: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

O espectrofotômetro utilizado foi da marca Shimadzu modelo UV-2600, que lê as faixas de comprimento de onda entre 185 nm a 900 nm e faixa de absorvância entre -5 abs a 5 abs. O equipamento foi ajustado para ler o comprimento de onda de 630 nm que corresponde à faixa espectral do corante Azul Brilhante (FCF – INS 133).

Com os resultados de absorvância de cada leitura, foram calculadas as quantidades de corante em ppm, por meio da confecção de curvas padrão a partir de concentrações conhecidas que foram obtidas por meio da diluição das caldas utilizadas para cada tratamento. As concentrações usadas para as curvas padrão foram de 0,01456; 0,0293; 0,05859; 0,11719; 0,23438; 0,46875; 0,9375; 1,875; 3,75; 7,5; 15 mg L⁻¹. Com os valores de absorvância de cada concentração e a curva padrão o equipamento calculou a concentração de corante presente em cada amostra por meio da Equação 1.

(1)

$$C_c = \frac{abs - k_0}{k_1}$$

Onde:

C_c = Concentração de corante na amostra (mg L⁻¹);

abs = Absorvância da amostra;

K_0 = Coeficiente linear da reta (curva padrão); e

K_1 = Coeficiente angular da reta.

3.3.2 Coleta de deposição em alvos naturais

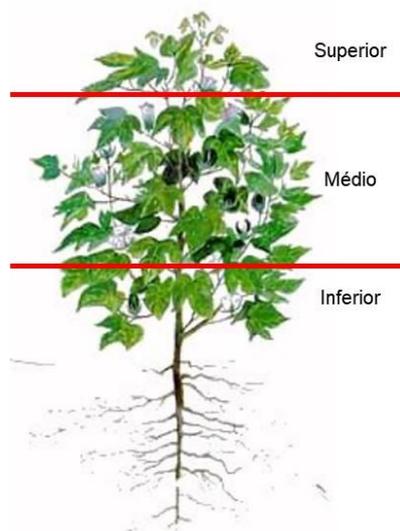
O ensaio de recuperação do corante e ingrediente ativo em alvos naturais (folhas da cultura) foi realizado com o intuito de comparar o sistema EletroVortex com o sistema de pulverização convencional (sistema EletroVortex desligado), em relação ao desempenho quanto a recuperação do ingrediente ativo em alvos naturais. A maior recuperação do corante e ingrediente ativo em alvos naturais indica maior eficácia na deposição sobre os alvos.

Para garantir que uma eventual contaminação remanescente de aplicações anteriores interferisse nos resultados, foram coletadas 10 folhas do terço superior, médio e inferior de plantas antes das aplicações, visando análise de resíduos prévios do ingrediente ativo do fungicida.

Após a aplicação em cada parcela, as coletas foram realizadas em três posições das plantas, no terço superior, médio e inferior, conforme a Figura 14. O terço superior representa as folhas que encontram-se expostas no momento da pulverização e no terço médio e inferior as folhas que não estão expostas.

Para padronizar a coleta das folhas, foi adotado um critério de seleção das folhas coletadas. As folhas coletadas não poderiam estar em contato com outras folhas, sem a presença de orvalho e deveriam estar na mesma direção da linha de plantio. Estas folhas que estavam na mesma direção da linha de plantio, apresentam maior dificuldade de deposição das gotas, pois não estavam expostas, principalmente do terço médio e inferior das plantas, diferente das folhas da entrelinha, por exemplo, que estavam mais expostas à pulverização.

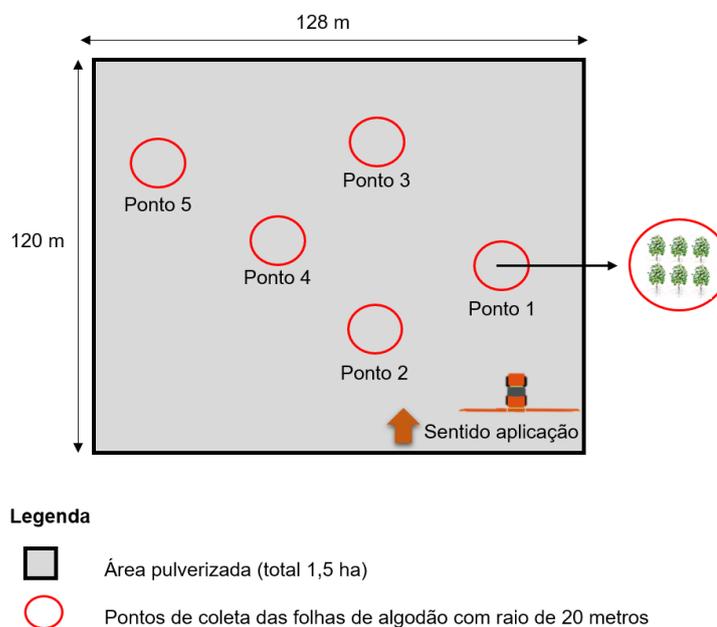
Figura 14 - Posições para a coleta das folhas



Fonte: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

A coleta da deposição em alvos naturais foi realizada em 5 pontos de coleta, de cada ponto foram escolhidas 6 plantas distintas dentro de um raio de 20 metros e de cada planta coletou-se 4 folhas do terço superior, 3 folhas do terço médio e 3 folhas do terço inferior, totalizando 60 folhas por ponto conforme a Figura 15.

Figura 15 - Representação dos pontos de coleta da deposição em alvos naturais



Fonte: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

Após o término da aplicação aguardou-se 10 minutos para que as folhas sequem e a fim de evitar o escorrimento e perdas no momento da coleta (Figura 16).

Figura 16 - Coleta das folhas após a aplicação



Foto: Tatiane Beatriz Mertens (2023)

As folhas coletadas foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados, estes sacos foram colocados em sacos plásticos de cor preta e armazenados em câmara fria ($5 \pm 2^{\circ} \text{C}$).

A lavagem das folhas para a extração do corante e ingrediente ativo foi realizada adicionando 45 mL de água deionizada nos sacos plásticos, inflados com ar e agitados manualmente por 60 segundos. Após este processo, o líquido resultante da lavagem das folhas foi acondicionado em recipientes plásticos de 50 mL devidamente identificados.

Estas amostras permaneceram em torno de 30 dias em câmara fria, tempo determinado devido ao transporte e processamento das amostras em laboratório.

As soluções provenientes da lavagem das folhas foram submetidas a cromatografia líquida de alta eficiência associado a espectrometria de massas (LC-MSMS) para determinação do ingrediente ativo prothioconazol. Este ingrediente ativo pertence a formulação do Fox Xpro e foi escolhido como marcador do fungicida na análise de recuperação do mesmo.

3.4 Avaliação de área foliar das plantas

Foram coletadas 15 plantas aleatórias no talhão visando a avaliação da área foliar por estrato: superior, médio e inferior. As folhas foram destacadas das plantas, individualizadas e fotografadas para a determinação da área foliar por análise de imagem.

3.5 Análise dos dados

3.5.1 Deriva em alvos artificiais

Os dados relativos de deriva nos coletores posicionados externamente à área de aplicação foram obtidos a partir da solução de lavagem dos alvos, as quais foram submetidas à análise por espectrofotometria de alta resolução. A partir dos valores de absorvância das amostras da solução de lavagem de cada alvo e de amostras da calda aplicada em cada parcela, os valores de absorvância foram convertidos em concentração de corante e na sequência, após ponderados pela quantidade de água usada na lavagem de cada alvo, foram convertidos em valores de massa de corante coletada em cada alvo.

Os dados oriundos da determinação da quantidade de deriva coletada alvos artificiais (dados reais de campo) foram submetidos à análise de regressão utilizando o modelo de potência ($y=ax^n$). Isso significa que os níveis de deriva nas distâncias mais próximas ao local pulverizado decaem com maior intensidade e, à medida que se distancia da área pulverizada, os valores encontrados tendem a ter decaimento constante, corroborando com o observado por Chechetto (2015). Esta intensidade de decaimento é dada pelo coeficiente “a” que acompanha x no modelo de regressão ajustada $y=ax^n$. Nesse caso, o índice de deriva (y, %) tem relação com o coeficiente angular (a), a distância em relação à área pulverizada (x) e a taxa de decaimento (n).

Na sequência, a partir dos valores pontuais coletados foi realizado o cálculo da integral da referida curva, visando a obtenção da área abaixo da curva da deriva coletada (AACDC), produzindo-se assim um valor integralizado da deriva coletada pelos alvos artificiais em cada parcela. O método dos retângulos será utilizado para esse cálculo da integral. Os dados da AACDC foram analisados previamente para a eliminação de *outliers*, sendo em seguida submetidos a análise estatística pelo cálculo do desvio padrão e do Intervalo de Confiança ao nível de 95%, visando a comparação entre tratamentos. Para efeito de comparação entre tratamentos e para a apresentação dos dados em tabelas e gráficos, a AACDC deverá ser entendida como um índice de deriva de cada tratamento.

Considerando a importância do vento na quantidade de deriva gerada (ANTUNIASSI et al., 2022), os dados das seis repetições coletadas no ensaio de deriva foram separados em dois grupos de três repetições. O primeiro grupo correspondeu a aplicações onde a velocidade do vento era menor do que $6,0 \text{ km h}^{-1}$ e o segundo grupo foi composto com as três repetições onde a velocidade do vento estava acima de $8,0 \text{ km h}^{-1}$. Esta separação foi realizada para que se pudesse avaliar a eficácia do sistema EletroVortex no controle da deriva em situações com maior e menor intensidade do vento.

3.5.2 Recuperação do ingrediente ativo nos alvos naturais

A quantidade de prothioconazol recuperada em cada tratamento foi calculada inicialmente com base na área foliar (massa do ingrediente ativo por cm^2 nas folhas),

seguindo-se de uma estimativa de recuperação por hectare (massa de ativo por hectare), através da ponderação da quantidade de ativo recuperado pela área foliar de cada extrato. Em ambos os casos a análise foi realizada considerando-se a separação das folhas nos terços (superior, médio e inferior). Os dados de recuperação média foram comparados pelo erro padrão da média (número de observações = 30).

Com base nos dados ponderados foi calculada a recuperação relativa de prothioconazol entre os terços. A recuperação relativa do ingrediente ativo refere-se à sua distribuição percentual entre os terços superior, médio e inferior em relação a quantidade total recuperada na planta. Esta medida é importante para determinar se a utilização do sistema EletroVortex interfere na proporção de deposição entre os extratos em comparação à pulverização convencional.

Para a determinação da recuperação do ingrediente ativo em alvos naturais não foi realizada segregação com base na velocidade média do vento, uma vez que a mesma não apresentou variações expressivas entre os tratamentos e repetições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Deriva em alvos artificiais até 100 m

4.1.1 Parcelas com menor velocidade de vento (média de 5,9 km h⁻¹)

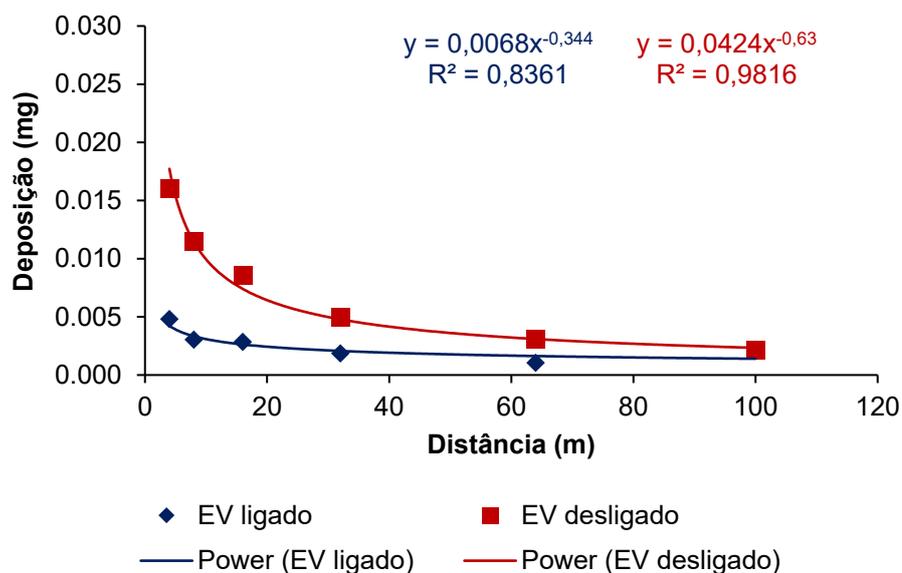
A deriva coletada com alvos artificiais, com a ação do EletroVortex (EV) ligado reduziu significativamente a quantidade total de deriva coletada até 100 m da área aplicada. Na Tabela 2 é possível observar os valores médios encontrados da deposição de deriva, representada pela quantidade de corante recuperada no alvo (mg), em todas as distâncias avaliadas com o EV desligado e ligado.

Observa-se que em todas as distâncias, com exceção da posição a 100 metros, que o EV ligado reduziu a deriva em relação à aplicação convencional (com EV desligado). Esse detalhamento pode ser observado no ajuste da curva, apresentada na Figura 17. Comparando um pulverizador convencional com um equipamento dotado de assistência de ar junto à barra de pulverização, a assistência de ar pode aumentar ou diminuir a deriva, se comparado ao equipamento convencional, dependendo do estágio das plantas e do tipo de cultura, do ajuste operacional, inclusive a velocidade do ar na barra de pulverização, e do tipo de ponta (COOKE et al., 1990).

Tabela 2 - Médias das repetições para a quantidade de corante recuperado nos alvos verticais (mg), em todas as distâncias avaliadas, para a condição de menor média de velocidade do vento (5,9 km h⁻¹)

Distâncias (m)	Deposição (mg)	
	EV desligado	EV ligado
100	0,0021308	0,0021629
64	0,0031120	0,0010448
32	0,0049464	0,0018604
16	0,0085700	0,0028377
8	0,0115097	0,0030364
4	0,0160425	0,0048087

Figura 17 - Ajuste de curva (potência) com a média de deposição dos tratamentos de acordo com a distância para a deriva aerotransportada, coletada em alvos verticais, em condições com menor velocidade de vento (média das repetições de 5,9 km h⁻¹)



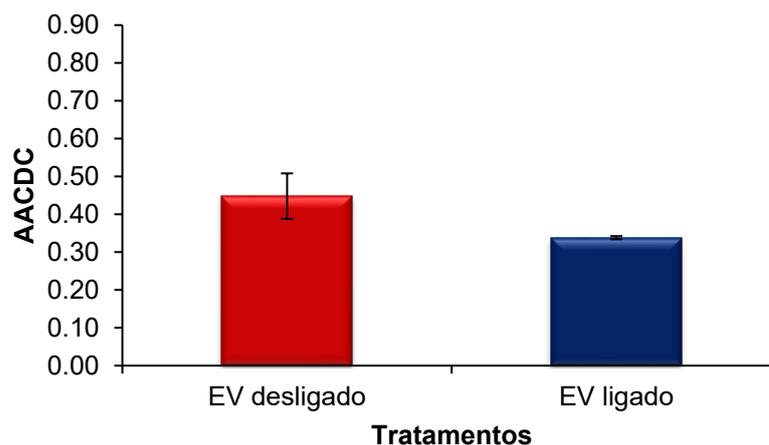
Analisando-se a média dos valores da área abaixo da curva da deriva coletada (AACDC) para a deriva aerotransportada (Tabela 3), é possível observar que a deriva para o EV ligado é 24,5% menor em relação a uma aplicação convencional (EV desligado), com diferença estatística (Figura 18), considerando as coletas onde a velocidade média do vento foi de 5,9 km h⁻¹.

Tabela 3 - Médias dos valores da área abaixo da curva da deriva coletada (AACDC) para a condição de menor média de velocidade do vento (5,9 km h⁻¹), coletada em alvos verticais

Tratamentos	AACDC	DP	IC 95
EV desligado	0,448058	0,043381	0,060122
EV ligado	0,338205	0,002949	0,004087

*AACDC: área abaixo da curva da deriva coletada; DP: desvio padrão; IC 95: Intervalo de Confiança ao nível de 95%

Figura 18 - Médias dos valores da área abaixo da curva da deriva coletada (AACDC) com coletores verticais, considerando as coletas onde a velocidade média do vento foi de 5,9 km h⁻¹. As barras de erro sobre as médias representam o Intervalo de Confiança ao nível de 95% de probabilidade (IC95%)



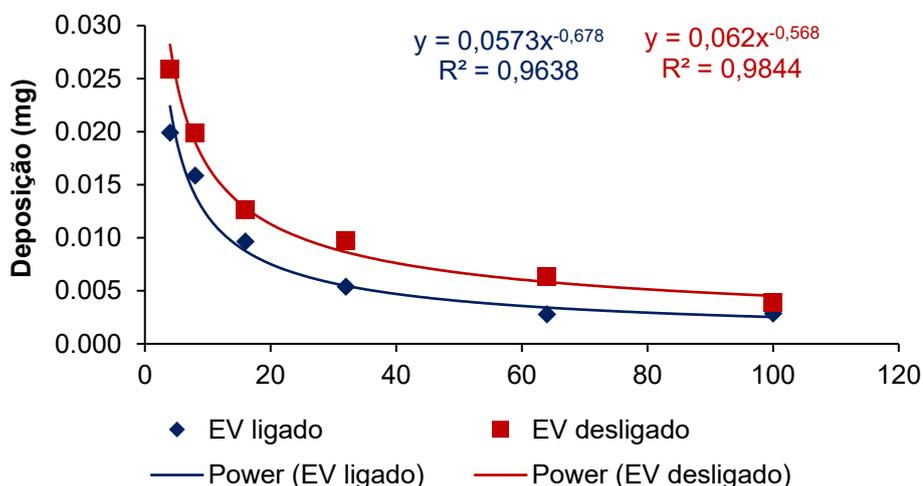
4.1.2 Parcelas com maior velocidade de vento (média de 8,5 km h⁻¹)

Na Tabela 4 é possível observar os valores médios encontrados da deposição de deriva, representada pela quantidade de corante recuperada no alvo vertical (mg), em todas as distâncias avaliadas com o EV desligado e ligado, para as situações de coleta com maior velocidade de vento, em média de 8,5 km h⁻¹. Nesse caso, é possível notar que o EV ligado foi ainda mais eficiente na redução da deriva aerotransportada em todas as distâncias analisadas. Esse detalhamento pode ser observado no ajuste da curva na Figura 19.

Tabela 4 - Médias das repetições para a quantidade de corante recuperado nos alvos verticais (mg), em todas as distâncias avaliadas, para a condição de maior média de velocidade do vento (8,5 km h⁻¹)

Distâncias (m)	Deposição (mg)	
	EV desligado	EV ligado
100	0,0038549	0,0028535
64	0,0063727	0,0027725
32	0,0097738	0,0053870
16	0,0126416	0,0096449
8	0,0199175	0,0158477
4	0,0259020	0,0198965

Figura 19 - Ajuste de curva (potência) com a média de deposição dos tratamentos de acordo com a distância para a deriva aerotransportada, coletada em alvos verticais, em condições com maior velocidade de vento (média de 8,5 km h⁻¹)



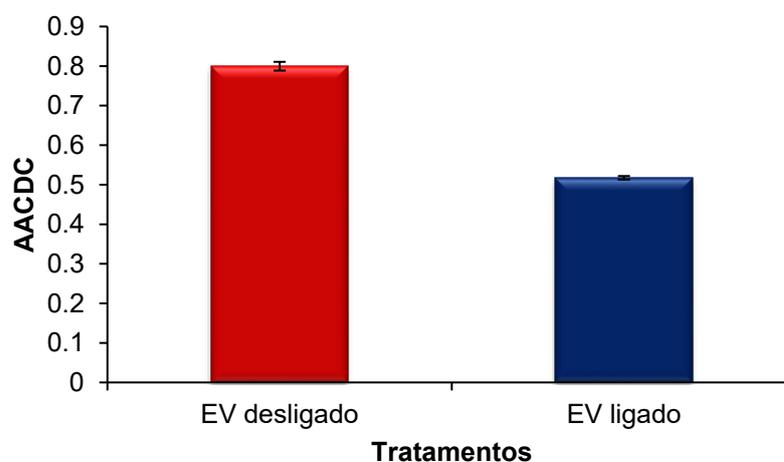
Analisando-se as médias dos valores da área abaixo da curva da deriva coletada (AACDC) para a deriva aerotransportada, com coletores verticais e na maior velocidade de vento, média de 8,5 km h⁻¹ (Tabela 5) é possível observar que a deriva para o EV ligado foi 35,3% menor em relação a uma aplicação convencional (EV desligado), com diferença estatística (Figura 20).

Tabela 5 - Médias dos valores da área abaixo da curva da deriva coletada (AACDC) para a condição de maior média de velocidade do vento (8,5 km h⁻¹), coletada em alvos verticais

Tratamentos	AACDC	DP	IC 95
EV desligado	0,799645	0,007988	0,011071
EV ligado	0,517451	0,003253	0,004508

*AACDC: área abaixo da curva da deriva coletada; DP: desvio padrão; IC 95: Intervalo de Confiança ao nível de 95%.

Figura 20 - Médias dos valores da área abaixo da curva da deriva coletada (AACDC) com coletores verticais, para a condição de maior média de velocidade do vento (8,5 km h⁻¹). As barras de erro sobre as médias representam o Intervalo de Confiança ao nível de 95% de probabilidade (IC95%)



4.2 Avaliação de área foliar das plantas

Para efeito de cálculo da quantidade de ativo recuperada no dossel da cultura realizou-se a determinação da área foliar segregada de acordo com os três estratos considerados (superior, médio e inferior). A área foliar média de cada extrato da planta foi de 1856,7 cm², 3047 cm² e 1447,9 cm², para os estratos superior, médio e inferior respectivamente (área foliar média de 6.351,7 cm² por planta).

Desta maneira, o percentual da área foliar (com relação ao total) obtido para cada extrato foi de 29,2%, 48% e 22,8%, para os estratos superior, médio e inferior respectivamente.

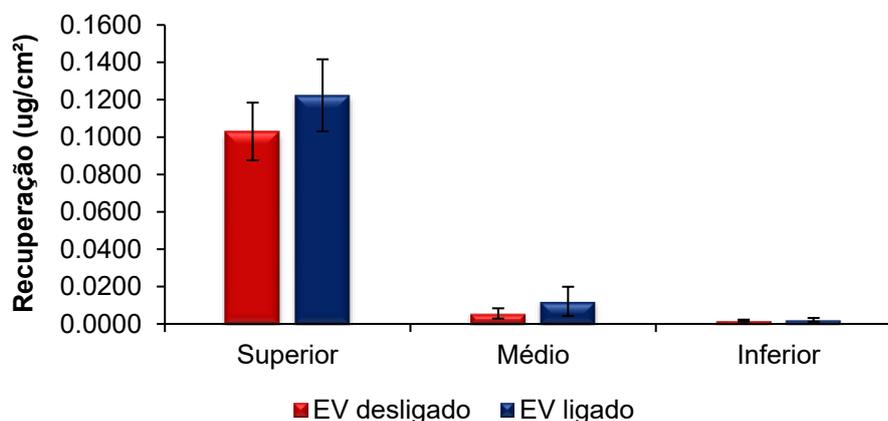
4.3 Recuperação do ingrediente ativo nas folhas da cultura

A recuperação do prothioconazol (ingrediente ativo do fungicida Fox XPro usado como traçador) está apresentada inicialmente na Tabela 6 e Figura 21, calculada com base na área foliar (microgramas do ingrediente ativo por cm² nas folhas). O sistema de pulverização EV ligado gerou maior recuperação média nos estratos superior, médio e inferior de plantas de algodão com diferença estatística. Dessa forma, a maior dose de ingrediente ativo por área de folha é um indicativo de que o tratamento fitossanitário pode ser mais eficiente com o sistema EV ligado, possivelmente gerando maior eficácia agrônômica, já que o fungicida estará presente em maior quantidade, o que deverá favorecer o controle do patógeno. É importante observar que a maior recuperação unitária nas folhas (maior quantidade de ativo por centímetro quadrado nas folhas) ocorre em todas as partes da planta (terços superior, médio e inferior), mas um destaque deve-se à performance no terço médio, onde o ganho de recuperação foi de 114,8%, comparado a 18,8% no terço superior e 23,8 % no terço inferior (Tabela 6 e Figura 21).

Tabela 6 - Deposição média de prothioconazol nos estratos superior, médio e inferior de plantas de algodão

Estrato	Depósito médio (ug/cm ²)		Aumento de deposição (%)
	EV desligado	EV ligado	
Superior	0,1030	0,1223	18,8
Médio	0,0056	0,0121	114,8
Inferior	0,0018	0,0022	23,8

Figura 21 - Recuperação média de prothioconazol nos estratos superior, médio e inferior de plantas de algodão. As barras de erro indicam o erro padrão da média (n° de observações = 30)



Do ponto de vista teórico, entende-se que a maior deposição obtida pelo sistema EV ligado pode ser creditada, em termos primários, ao efeito da carga eletrostática nas gotas (houve ganho de deposição em todos os estratos das plantas). Entretanto, os resultados que serão apresentados nas próximas páginas mostram que houve uma redistribuição intensa da calda entre as partes das plantas. Neste caso, em termos teóricos, é maior a probabilidade que este efeito de redistribuição tenha ocorrido devido à presença da assistência de ar.

LAW et al. (1993) investigaram a penetração da pulverização no dossel da planta por três métodos de aplicação. Na comparação dos depósitos entre pulverizador assistido por ar sem carga, pulverizador hidráulico convencional e pulverizador eletrostático assistido por ar, este último aumentou a quantidade de produto sobre a superfície vertical em plantas de algodão em 1,5 vezes no dossel superior da planta e 3,0 vezes mais no dossel inferior. A pulverização assistida por ar carregada eletrostaticamente em comparação com os outros sistemas de aplicação também aumentou a quantidade de produto depositado na superfície abaxial das folhas em 1,9 vezes em relação à obtida com o pulverizador assistido por ar e sem carga e 2,5 vezes mais que a obtida com o pulverizador hidráulico convencional.

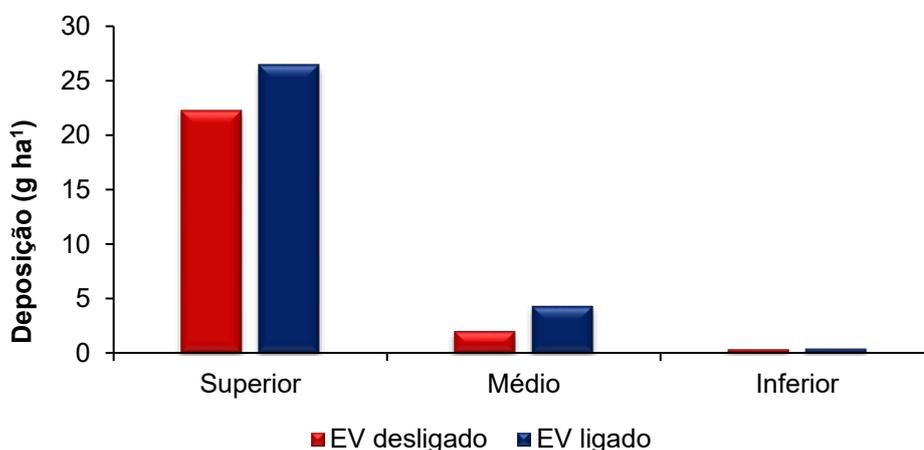
A Tabela 7 e Figura 22 apresenta uma estimativa da recuperação por unidade de área na lavoura (gramas de ativo por hectare) através da ponderação da recuperação pela área foliar de cada estrato. A análise foi realizada considerando-se a separação das folhas nos estratos (superior, médio e inferior). O sistema de

pulverização EV ligado gerou a maior recuperação de prothioconazol total e também para todos os estratos da planta em comparação com a pulverização convencional. O ganho total por hectare tratado com a nova tecnologia é de 26,61%.

Tabela 7 - Recuperação estratificada e total de prothioconazol (g ha⁻¹) em plantas de algodão

Recuperação do prothioconazol (g ha ⁻¹)		
Estrato	EV desligado	EV ligado
Superior	22,28	26,45
Médio	1,99	4,28
Inferior	0,30	0,37
Total	24,57	31,11
Ganho com o EV ligado	26,61%	

Figura 22 - Recuperação de prothioconazol (g ha⁻¹) no estrato superior, médio e inferior de plantas de algodão



Pesquisa realizada por Serra (2011) com tratamentos assistidos por ar, combinados ou não à eletrostática, no volume de 50 L ha⁻¹, verificou que os valores médios dos depósitos da pulverização não diferiram entre si, mas foram superiores aos obtidos com a pulverização convencional no ápice da planta. Na base da planta, os depósitos com a assistência de ar associada à eletrostática foram significativamente maiores em comparação aos obtidos com os demais tratamentos, exceto para o maior volume aplicado onde os depósitos utilizando essa tecnologia não

diferiram daqueles utilizando somente a assistência de ar junto à barra de pulverização. Assim, pode-se constatar com essa pesquisa que o sistema eletrostático quando associado à assistência de ar promoveu maiores depósitos em ambos os sistemas de condução da cultura do algodoeiro (convencional e adensado), nas diferentes partes da planta, mas principalmente na base da planta quando esta se encontrava na fase de desenvolvimento mais avançada.

4.4 Recuperação relativa do prothioconazol entre os estratos

A recuperação relativa do prothioconazol refere-se à sua distribuição percentual entre os estratos superior, médio e inferior em relação a quantidade total recuperada na planta. Esta medida é importante para quantificar o efeito das tecnologias no processo de redistribuição nas partes das plantas, determinando se algum dos estratos passou a receber mais ou menos ativo em função da técnica empregada na aplicação. Dessa maneira, o percentual de recuperação proporcionado pelo EV ligado foi reduzido nos estratos superior (-6,20%) e inferior (-2,24%), enquanto houve um aumento considerável no estrato médio (+69,64%), como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 - Recuperação relativa de prothioconazol entre os estratos de plantas de algodão

Recuperação relativa entre os estratos (%)			
Estrato	EV desligado	EV ligado	Variação
Superior	90,67	85,04	-6,20
Médio	8,11	13,76	69,64
Inferior	1,22	1,19	-2,24

O comportamento de distribuição da calda entre os estratos mostra que, apesar da recuperação absoluta em todos estratos da planta ser favorecida pelo EV ligado (este sistema obteve uma recuperação total maior do que o convencional), a distribuição percentual de produto na planta teve um leve decréscimo no estrato inferior e superior e um grande aumento no estrato médio. Este aumento no terço

médio das plantas deve ser creditado, principalmente, à tecnologia de assistência de ar, a qual impulsionou o fungicida para as partes mais internas da planta. Este processo se torna ainda mais importante pois o estrato médio é aquele que possui maior quantidade de área foliar na planta. Nesse sentido, é extremamente desejável que a pulverização seja mais eficiente nesse estrato, uma vez que, além de possuir maior área foliar, também é a região da planta que transloca nutrientes (fonte) para as novas folhas (dreno) que ocupam o estrato superior e por isso necessitam de proteção fitossanitária adequada (RODRIGUES, 2003; FREIRE, 2007). Ainda, é importante ressaltar que a retirada de fungicida do terço superior e sua transferência para o terço médio também favorece as questões fitossanitárias de localização da doença, visto que as condições de proliferação dos fungos é melhor no terço médio do que no terço superior.

No que se refere à menor proporção no terço inferior, entende-se que o processo ocorreu devido ao carregamento da gotas para o solo, fruto também da assistência de ar. É provável que um melhor ajuste da velocidade/quantidade de ar possa evitar esta menor proporção de depósitos no terço inferior.

5 CONCLUSÕES

O efeito de redução de deriva proporcionado pelo sistema EletroVortex foi mais evidente com o aumento da velocidade média do vento durante as aplicações. Na situação com maior velocidade média de vento ($8,5 \text{ km h}^{-1}$) o sistema reduziu significativamente a deriva física. A recuperação de calda nas plantas foi maior com o sistema Eletrovortex ligado, obtendo-se maior deposição unitária (massa de ativo por área de folha) em todos os estratos das plantas e maior quantidade de ativo recuperado por hectare. No que se refere à distribuição da calda entre as partes das plantas, o uso do sistema EletroVortex ligado proporcionou uma significativa redistribuição entre os estratos, com um grande aumento da recuperação de calda no terço médio das plantas, com pequenas reduções de recuperação do ativo nos terços superior e inferior das plantas.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING. ASABE S572.3. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St Joseph, 2020.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING. S561.1. **Procedure for measuring drift deposits from ground, orchard, and aerial sprayers**. St. Joseph, 2009.
- ANTUNIASSI, U. R., BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu: FEPAF, 2 Edição, 373 p. 2019.
- ANTUNIASSI, U. R., CARVALHO, F. K., MOTA, A. A. B., CHECHETTO, R. G. **Entendendo a tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 3 Edição, 72 p. 2022.
- ANTUNIASSI, U. R.; MOTTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G.; CARVALHO, F. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A. Spray drift from aerial application. **Aspects of Applied Biology: International Advances in Pesticide Application**, v. 122, 2014.
- ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; CARVALHO, W. P. A.; OLIVEIRA, R. B.; OLIVEIRA, M. A. P. Spray drift from aerial application on sugarcane. **Phytopathology**, v. 101, n. 6, June 2011.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Air-assisted boom sprayer and spray deposition on bean plants. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.211-215, Abr./Jun. 2003.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Assistência de ar na deposição e perdas de produtos fitossanitários em pulverizações na cultura da soja. **Scientia Agricola**, v.57, n.2, p.271-276, abr./jun. 2000.
- CHAIM, A. **Pulverização eletrostática: principais processos utilizados para eletrificação de gotas**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 19 p., 2006.
- CHECHETTO, R. G. **Métodos de coleta de deposição para ensaios de deriva em aplicações aéreas**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2015.
- CHRISTOVAM, R. S.; RAETANO, C. G.; LEITE, L. A. I.; PRADO, E. P.; DAL POGETTO, M. H. F. A. Diferentes técnicas de pulverização sobre o depósito de gotas na cultura do trigo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p. 41-46, jan./mar. 2018.
- COFFMAN, C. W.; OBENDORF, S. K.; DERKSEN, R. C. Pesticide deposition on coveralls during vineyard applications. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 37, n. 2, p. 273-279, 1999.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**, v. 6, Safra 2022/23, Sexto levantamento, Brasília, p. 1-117, 2023.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Planilha de custos de produção – Culturas de 1ª safra**. 2019.
- COOKE, B. K.; HISLOP, E. C.; HERRINGTON, P. J.; WESTERN, N. M.; HUMPHERSON-JONES, F. Air-assisted spraying of arable crops, in relation to

deposition, drift and pesticide performance. **Crop Protection**, v. 9, n. 4, p.303-311, 1990.

FREIRE, E. C. F. et al. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília, Brazil: Abrapa, 2007.

GOHLICH, H.; GANZELMEIER, H.; BACKER, G. Air-assisted sprayers for application in vine, orchard and similar crops. **EPPO Bulletin**, v. 26, n.1, p. 53-58, March, 1996.

HISLOP, E. C. Electrostatic ground-rig spraying: an overview. **Weed Technology**, v.2, p. 94-105, 1988.

HISLOP, E. C.; WESTERN, N. M.; BUTLER, R. Experimental air-assisted spraying of a maturing cereal crop under controlled conditions. **Crop Protection**, v. 14, n. 1, p. 19-26, 1995.

ICAC – International Cotton Advisory Committee. **Production of Cotton Lint in '000 Metric Tonnes Season 2019/20**. 2020.

ISO. **Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift**. Geneva: ISSO, 2005. 22 p. ISO/FDIS 22866.

KRUGER, G. R.; ANTUNIASSI, U. R. Deriva na pulverização em culturas anuais. In: ANTUNIASSI, U. R., BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu: FEPAF, 2 Edição, 373 p. 2019.

LAW, S. E. Embedded- electrode electrostatic-induction spray-charging nozzle: theoretical and engineering design. **Transactions of the ASAE**, v.6, n. 21, p. 1096-1104, 1978.

LAW, S. E., DAI, Y, COOPER, S. C. Spray deposition characteristics in cotton canopy using air-assisted electrostatic technology., In: BELTWISE COTTON CONFERENCE, New Orleans, LA. 1993. **National Cotton Council Annals**, 1993.

MARCHI, S.R.; MARTINS, D., COSTA, N.V.; TERRA, M.A.; NEGRISOLI, E. Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como traçadores em pulverizações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 287-294, 2005.

MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of electrode voltage, liquid flow rate, and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray charging system. **Journal of Electrostatics**, v. 68, p. 152–158, 2010.

MATTHEWS, G. A. Electrostatic spraying of pesticides: a review. **Crop Protection**, v. 8, p. 3-15, February, 1989.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Air-assisted sprayers**. In: Pesticide Application Methods, Fourth Edition, 2014.

MATUO, T. et al. Tecnologia de aplicação de defensivo agrícola. Jaboticabal: FUNEP, 1987. 200 p.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P.A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013. 588 p.

OLIVEIRA, M. A. P.; ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; SIQUERI, F. V.; OLIVEIRA, R.B.; PONTELLI, C. O.; BELTRAMELLO, L. G. F.; ZAIDAN, S. E. **Desempenho de**

um sistema eletrostático com assistência de ar na deposição de calda e no controle da deriva em aplicações de fungicidas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 5., 2011, Cuiabá. *Anais...* Botucatu: FEPAF, 2011. p. 1-4.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas.** 2011, 134 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. **Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 109–116, 2015.

PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações.** 111 f., 2000. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2000.

PRADO, E. P.; RAETANO, C. G.; JÚNIOR, H. O. A.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; CHRISTOVAM, R. S.; GIMENES, M. J.; ARAÚJO, D. Velocidade do ar em barra de pulverização na deposição da calda fungicida, severidade da ferrugem asiática e produtividade da soja. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.1, p.45-50, 2010.

RAETANO, C. G. Assistência de ar em pulverizadores de barra. **Biológico**, São Paulo, v.64, n.2, p.221-225, jul./dez., 2002.

RAETANO, C. G. **Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários.** In: Antuniassi, U. R.; Boller, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2 ed, 373 p, Passo Fundo: Aldeia Norte, Botucatu: FEPAF, 2019.

RAETANO, C. G.; BAUER, F. C. Deposição e perdas da calda em feijoeiro em aplicação com assistência de ar na barra pulverizadora. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.2, p.309-315, 2004.

RAETANO, C. G.; CUNHA, J. P. A. R. **Assistência de ar e transferência de carga elétrica às gotas em pulverização: interferência e potencial de uso das tecnologias em sistemas de produção.** In: Antuniassi, U. R.; Boller, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 2 ed, 373 p, Passo Fundo: Aldeia Norte, Botucatu: FEPAF, 2019.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia vegetal e sua importância na tecnologia de aplicação de defensivos. **Biológico, São Paulo**, v. 65, n. 1/2, p. 59-61, 2003.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. B.; RODRIGUES, D. E.; ALVARENGA, C. B. Parameters of electrostatic spraying and its influence on the application efficiency. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.4, p. 474-479, jul/ago, 2013.

SERRA, M. E. **Pulverização eletrostática e assistência de ar no tratamento fitossanitário na cultura do algodoeiro.** 2011. 102f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SERRA, M. E.; CHAIM, A.; RAETANO, C. G. Pontas de pulverização e eletrificação das gotas na deposição da calda em plantas de crisântemo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.4, p.479-485, abr. 2008.

- SOUZA, D. M.; RAETANO, C. G.; MOREIRA, C. A. F.; BUENO, R. C. O. F.; CARVALHO, M. M. Effects of new sowing arrangements and air assistance on fungicide spray distribution on soybean crop. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 41, e42700, 2019.
- SUMNER, H. R., HERZOG, G. A., SUMNER, P. E., BADER, M., MULLINIX, B. G. Chemical Application Equipment for Improved Deposition in Cotton. **Journal of Cotton Science**, Baton Rouge, v.4, n.1, p.19-27, 2000.
- TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R. ALVES, T. C.; ALVES, G. S.; SILVA, J. E. R. Estudo de um sistema de eletrificação de gotas em pulverizador costal pneumático pelo método de gaiola de Faraday. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n.5, p. 476-485, set/out, 2017.
- WALKLATE, P. J. A simulation study of pesticide drift from an air-assisted orchard sprayer. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 51, p. 263-283, January–April, 1992.
- WALKLATE, P. J.; WEINER, K. L.; PARKIN, C. S. Analysis of and experimental measurements made on a moving air-assisted sprayer with two-dimensional air-jets penetrating a uniform crop canopy. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 63, n. 4, p. 365-378, 1996.
- WANDKAR, S. V.; MATHUR, S. M.; DHANDE, K. G.; JADHAV, P. P.; GHOLAP, B. S. Air assisted sprayer for improved spray penetration in greenhouse floriculture crops. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series A**, v. 96, n.1, p.1–9, January-March 2015.
- WOMAC, A. R.; MULROONEY, J. E.; SCOTT, W. P. Characteristics of air assisted and drop-nozzle sprays in cotton. **Transactions of the ASAE**, v.35, n. 5, p. 1369-1376, 1992.
- XIONGKUI, H.; AIJUN, Z.; YAJIA, L.; JIANLI, S. Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 4, n. 1, p. 35-40, 2011.
- ZHAO, S.; CASTLE, G.S.P.; ADAMIYAK, K. Factors affecting deposition in electrostatic pesticide spraying. **Journal of Electrostatics**, n. 66, p. 594–601, 2008.
- ZHAO, S.; CASTLE, G.S.P.; ADAMIYAK, K. The effect of space charge on the performance of an electrostatic induction charging spray nozzle. **Journal of Electrostatics**, n. 63, p. 261-272, 2005.