

RAFAEL MARCÃO TAVARES

**SISTEMA DE ELETRIFICAÇÃO DE GOTAS E EFICIÊNCIA DA  
PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NO CONTROLE DO PSILÍDEO  
*Triozoida limbata* (ENDERLEIN) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EM  
GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de  
“Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

T231s  
2015      Tavares, Rafael Marcão, 1990-  
             Sistema de eletrificação de gotas e eficiência da pulverização  
             eletrostática no controle do psilídeo Triozoida limbata (Enderlein)  
             (Hemiptera : Triozidade) em goiabeira (Psidium guajava L.) / Rafael  
             Marcão Tavares. - 2015.  
             80 f. : il.

             Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.  
             Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
             Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
             Inclui bibliografia.

             1. Agronomia - Teses. 2. Goiaba - Teses. 3. Pulverização - Teses. I.  
             Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da. II. Universidade Federal de  
             Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

---

CDU: 631

RAFAEL MARCÃO TAVARES

**SISTEMA DE ELETRIFICAÇÃO DE GOTAS E EFICIÊNCIA DA  
PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NO CONTROLE DO PSILÍDEO  
*Triozoida limbata* (ENDERLEIN) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EM  
GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de  
“Mestre”.

APROVADO em 7 de novembro de 2015.

Prof. Dr. Carlos Alberto Alves de Oliveira

IFTM

Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga

UFU

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

UFU

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

ICIAG-UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2015

*Aos meus amados pais, José Aparecido e  
Ana Aparecida, meus exemplos de  
dedicação e hombridade.*

***Dedico!***

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a **DEUS** por tantas graças recebidas, por me conceder o dom da vida e do aprendizado, e pela Sua infinita misericórdia.

Ao meu pai **José Aparecido Tavares**, meu maior exemplo de homem e responsável por hoje eu ser um Engenheiro Agrônomo, e a minha amada mãe **Ana Aparecida Marcão Tavares**, mulher guerreira que sempre me incentivou nas minhas escolhas e dedicou toda a sua vida aos seus filhos.

Ao meu irmão **Filipe Marcão Tavares**, o meu melhor amigo e companheiro desde sempre, e a minha irmã **Maria Luísa Marcão Tavares**, por me escutar e apoiar nos momentos mais difíceis.

Aos meus queridos avós, **Aristides Vicente Marcão**, **Ana Torino Marcão**, **José Pereira Tavares** (*in memorian*) e **Percília Figueiredo Tavares** (*in memorian*), pois sem eles eu não estaria aqui.

Aos meus padrinhos, meus pais por consideração, **Paulo César Florentino** e **Neuza Helena Marcão Florentino**, por se preocuparem sempre comigo e contribuírem para a minha criação.

Ao meu orientador e amigo **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha**, grande exemplo de profissional e pessoa, ao qual sempre me espelharei, por todos os ensinamentos transmitidos, pela paciência e dedicação, pelos conselhos e ajudas, e, principalmente, por me orientar sempre com muita seriedade e confiança.

Aos membros da banca, professores **Carlos**, **Cleyton** e **Marcus Vinicius**, por aceitarem o convite, dedicarem o seu tempo e contribuírem para a melhoria deste trabalho. Em especial ao professor **Marcus Vinicius**, pela amizade e ajuda desde a época de graduação e, especialmente, na execução deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, eternos companheiros de LAMEC, **Thales**, **Mariana**, **Guilherme**, **João Eduardo**, **Sérgio**, **Jorge**, **César**, **Rodrigo** (Pastor), **Artur** e **Olinto**, por toda amizade e ajuda, com os quais me diverti e aprendi muito. Em especial, à **Mariana**, por ter aberto as portas da Tecnologia de Aplicação para mim.

Ao professor **Paulo Bernardes**, por toda a ajuda e atenção ao disponibilizar a área na fazenda Água Limpa, e por sempre contribuir com seus ensinamentos em fruticultura.

Aos professores **Denise Garcia de Santana** e **Stephan Malfitano Carvalho**, por, além de contribuírem imensamente na execução deste trabalho, me incentivaram e ajudaram na minha formação profissional.

Aos técnicos de laboratório, **Adílio** e **Marco Aurélio**, pela amizade e ajuda sempre que precisei.

Aos membros das equipes das fazendas Capim Branco e Água Limpa, os quais sempre me receberam bem em suas áreas e me ajudaram quando necessário.

Ao professor **Marcelo da Costa Ferreira** e a toda equipe do Laboratório de Análise de Tamanho de Partículas (LAPAR) da UNESP Jaboticabal, pela disposição em contribuir com este trabalho e por permitirem as minhas análises no laboratório.

A todos os meus colegas de pós graduação, que caminharam comigo durante este período tão importante na minha vida, agregando os meus conhecimentos e contribuindo na minha formação profissional.

À **Universidade Federal de Uberlândia**, onde passei os melhores momentos da minha vida até agora, pela minha formação desde a graduação, e ao CNPq por todo o apoio financeiro para execução da minha dissertação.

Enfim, o meu muito obrigado a todos os meus amigos, família e pessoas que, mesmo indiretamente, contribuíram para minha formação e para a execução deste trabalho. Um homem sozinho é pequeno, mas com amigos ao seu lado, ele se faz grande. Por isso, a minha eterna gratidão!

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO I .....	1
1 Introdução Geral .....	1
2 Objetivo Geral.....	6
2.1 Objetivos Específicos .....	6
Referências.....	7
<b>CAPÍTULO II: Estudo de um sistema de eletrificação de gotas em pulverizador costal pneumático pelo método de gaiola de Faraday .....</b>	<b>11</b>
Resumo .....	12
Abstract.....	13
1 Introdução .....	14
2 Material e Métodos .....	17
3 Resultados e Discussão .....	23
4 Conclusões .....	38
Referências.....	39
<b>CAPÍTULO III: Uso da pulverização eletrostática no controle químico do psíldeo <i>Triozoida limbata</i> (Enderlein) (Hemiptera: Triozidae) em goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.) .....</b>	<b>43</b>
Resumo .....	44
Abstract.....	45
1 Introdução .....	46
2 Material e Métodos .....	49
2.1 Avaliação da tecnologia de aplicação .....	52
2.2 Avaliação de eficácia de controle do psíldeo-da-goiabeira .....	55
2.3 Análises estatísticas .....	57
3 Resultados e discussão.....	58
3.1 Avaliação da tecnologia de aplicação .....	58

3.2 Avaliação da eficácia de controle do psilídeo-da-goiabeira .....	65
4 Conclusões .....	72
Referências.....	73
 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	 78
ANEXOS .....	79



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

TABELA 1. Valores de F calculados por meio das análises de variância e valores dos testes de pressuposições dos dados quantitativos avaliados (ANEXO A)..... 77

TABELA 2. Caracterização físico-química das cinco caldas estudadas: água potável (AG), água potável + óleo mineral (OM), água potável + óleo vegetal (OV), água potável + espalhante adesivo (EA) e água potável + inseticida (IN)..... 26

TABELA 3. Influência das caldas de pulverização na relação Q/M gerada pela pulverização eletrostática em gaiola de Faraday e na amplitude relativa (AR) do espectro de gotas..... 27

TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ , %) em função da composição da calda e da vazão em pulverização eletrostática..... 30

TABELA 5. Equações, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), pontos críticos e valor de F calculado dos modelos de regressões representados na Figura 11..... 33

### CAPÍTULO III

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados quanto à eficácia de controle do psilídeo-da-goiabeira..... 54

TABELA 2. Deposição de marcador nas folhas de goiabeira ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ), nas aplicações de inseticidas para controle do psilídeo-da-goiabeira, nas duas épocas, em função da tecnologia de aplicação..... 57

TABELA 3. Perdas do marcador para o solo ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ), nas aplicações de inseticidas para controle do psilídeo-da-goiabeira, nas duas épocas, em função da tecnologia de aplicação..... 60

TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e porcentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetros menores do que 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ ), nas aplicações de inseticidas da 1ª época, em função da tecnologia de aplicação..... 61

TABELA 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e porcentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetros menores do que 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ ) na aplicação de inseticidas da 2ª época, em função da tecnologia de aplicação..... 62

TABELA 6. Valores de F calculados por meio das análises de variância e valores dos testes de pressuposições dos dados avaliados (ANEXO B)..... 78

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

- FIGURA 1. Orifícios do pulverizador. Uberlândia – MG, 2015..... 15
- FIGURA 2. Pulverizador utilizado nos experimentos. Uberlândia – MG, 2015..... 17
- FIGURA 3. Kit de conversão eletrostático. A) Fio ligado a vela de ignição do motor. B) Bocal de condução eletrostática adaptado ao pulverizador. Uberlândia – MG, 2015.... 18
- FIGURA 4. Vista lateral (A) e frontal (B) da Gaiola de Faraday. Uberlândia – MG, 2015..... 18
- FIGURA 5. A) Multímetro utilizado para medir a corrente. B) Detalhe da conexão do multímetro com a gaiola de Faraday. C) Detalhe da barra de ferro utilizada para aterrar o multímetro. Uberlândia – MG, 2015..... 19
- FIGURA 6. Bocal do pulverizador, mantido na horizontal a 35-40 cm de distância do feixe de laser, pulverizando no analisador de partículas. Jaboticabal – SP, 2015..... 20
- FIGURA 7. Curva de regressão para a relação Q/M em função da vazão do pulverizador..... 22
- FIGURA 8. Curva de regressão para a relação Q/M em função da distância entre o bocal do pulverizador e a gaiola de Faraday..... 24
- FIGURA 9. Curva de regressão para a relação Q/M em função da vazão (Experimento 3)..... 28
- FIGURA 10. Curva de regressão para a amplitude relativa do espectro de gotas em função da vazão (Experimento 3)..... 29
- FIGURA 11. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e percentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ ) (Experimento 3), para as caldas a base de água (AG), óleo mineral (OM), óleo vegetal (OV), espalhante adesivo (EA) e inseticida (IN), em função da vazão..... 32

### CAPÍTULO III

- FIGURA 1. Dimensões da goiabeira, adaptado de Corrêa et al. (2004) e Favarin et al. (2002). Altura de plantas (Ht), altura da “saia” da planta (Hs) e altura do dossel da planta (Hd)..... 48
- FIGURA 2. Esquema da vista superior de uma planta de goiabeira, mostrando os dois diâmetros a altura do peito (DAP), utilizados para o cálculo do DAPc médio das plantas dispostas na parcela experimental, adaptado de Corrêa et al. (2004)..... 48
- FIGURA 3. Esquema de divisão dos quadrantes das goiabeiras..... 49

FIGURA 4. Bocal de condução do kit de conversão eletrostático. Uberlândia – MG, 2015.....	50
FIGURA 5. Esquema das plantas dispostas na parcela experimental.....	55
FIGURA 6. Avaliação da porcentagem de folhas com sintomas de ataque do psilídeo-da-goiabeira, na 1ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida.....	64
FIGURA 7. Avaliação da porcentagem de folhas com sintomas de ataque do psilídeo-da-goiabeira, na 2ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida.....	65
FIGURA 8. Avaliação do número de ninfas de psilídeo-da-goiabeira por folha, na 1ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida.....	66
FIGURA 9. Avaliação do número de ninfas de psilídeo-da-goiabeira por folha, na 2ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida.....	67

## RESUMO

TAVARES, RAFAEL MARCÃO. **Sistema de eletrificação de gotas e eficiência da pulverização eletrostática no controle do psilídeo *Triozoida limbata* (Enderlein) (Hemiptera: Triozidae) em goiabeira (*Psidium guajava* L.).** 2015. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

Tecnologias de aplicação têm sido estudadas a fim de aumentar a eficácia de tratamentos fitossanitários, como a pulverização eletrostática. Nessa, eletrificam-se as gotas de pulverização para ocorrer atração pelos alvos de aplicação. No entanto, fatores que influenciam a eficiência desta tecnologia, como a relação carga/massa (Q/M), precisam ser melhor analisadas. Este trabalho objetivou estudar fatores que influenciam no funcionamento de um sistema de eletrificação de gotas, e comparar a eficiência do mesmo com uma tecnologia pneumática convencional de aplicação no controle químico do psilídeo na goiabeira. Dividiu-se a pesquisa em duas partes, nas quais estudou-se um pulverizador pneumático costal com kit eletrostático com eletrificação por indução indireta. Na primeira parte, com três experimentos em delineamento inteiramente casualizado, estudou-se em gaiola de Faraday com multímetro a influência das vazões de aplicação, da distância entre o pulverizador e o alvo e da composição das caldas de aplicação na relação Q/M gerada pelo sistema eletrostático. No primeiro experimento, avaliaram-se vazões entre 0,2 e 1,6 L min<sup>-1</sup>. No segundo, avaliaram-se quatro distâncias (0; 0,5; 1 e 2 m) entre o pulverizador e a gaiola. E no terceiro, estudaram-se com cinco caldas (água, óleo mineral, óleo vegetal, espalhante adesivo e inseticida) e cinco vazões. Verificou-se que maiores vazões implicam na redução da relação Q/M, o que também ocorre ao distanciar-se o pulverizador do alvo. A composição das caldas também pode influenciar a relação Q/M. Na segunda parte da pesquisa, efetuaram-se dois estudos simultâneos, ambos em duas épocas, para avaliar o controle do psilídeo e o desempenho das tecnologias de aplicação. No primeiro estudo, em delineamento de blocos casualizados com cinco tratamentos (testemunha sem aplicação; 600 L ha<sup>-1</sup> em pulverização pneumática convencional e 300, 200 e 100 L ha<sup>-1</sup> com pulverização eletrostática), avaliaram-se a porcentagem de folhas infestadas e a população da praga. No segundo estudo, em blocos casualizados e parcelas subdivididas, avaliaram-se nas parcelas as mesmas tecnologias do estudo anterior, e os quadrantes das plantas (Q1, Q2, Q3 e Q4) nas sub parcelas, quanto a deposição de calda nas folhas, as perdas de calda para o solo em placas de Petri e os espectros de gotas em papel hidrossensível. Para a avaliação da deposição e das perdas, adicionou-se à calda de aplicação o marcador Azul Brilhante para ser detectado por absorbância em espectrofotometria. Os dados obtidos foram divididos pelas respectivas áreas de folhas e placas. A deposição de calda foi duas vezes maior e as perdas foram quatro vezes menores com as pulverizações eletrostáticas, em comparação com a tecnologia convencional. Apenas as pulverizações eletrostáticas proporcionaram menores porcentagens de infestação, em comparação à testemunha. Todas as tecnologias reduziram a população da praga. Conclui-se que a pulverização eletrostática é mais eficiente, possibilitando a redução das taxas de aplicação sem prejudicar o controle do psilídeo.

**PALAVRAS-CHAVE:** tecnologia de aplicação, eletrificação de gota, relação Q/M, sistema eletrostático, psilídeo-da-goiabeira.

---

<sup>1</sup>Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

## ABSTRACT

TAVARES, RAFAEL MARCÃO. **Droplet electrification system and electrostatic pulverization efficacy in the control of the psyllid *Triozoida limbata* (Enderlein) (Hemiptera: Triozidae) in guava plants (*Psidium guajava* L.).** 2015. 80 p. Dissertation (Master Program in Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia.<sup>2</sup>

Spray technologies have been studied to increase efficacy of pesticide treatments, such as electrostatic spraying. In this technology, spray droplets are electrified to be attracted by the spray targets. However, factors that affect the efficacy of this technology, such as relation charge/mass (Q/M), need to be better analyzed. This study evaluated factors that affect the performance of a droplet electrification system, and compared its efficacy with a conventional spraying technology on the chemical control of guava psyllid. The study was divided in two parts, in which a backpack sprayer containing an electrostatic kit with indirect induction electrification was analyzed. The first part, with three experiments in completely randomized design, studied, in Faraday cage with a multimeter, the effect of application rates, of the distance between the nozzle and the target, and of the mixture composition in the relation Q/M generated by the electrostatic system. Application rates between 0.2 and 1.6 L min<sup>-1</sup> were evaluated in the first experiment. Four distances (0, 0.5, 1 and 2 m) between the nozzle and the cage were analyzed in the second one. Five tank mixtures (water, mineral oil, vegetable oil, spreader adhesive and insecticide) and five rates were evaluated in the third experiment. Greater flow rates imply in a reduction of the relation Q/M, which was also observed with increasing distances between nozzle and target. The composition of tank mixtures also can affect the relation Q/M. The second half of the research was done with two simultaneous experiments, both in two seasons, to evaluate the control of the psyllid and the performance of spraying technologies. The first study, in randomized blocks, with five treatments (control with no spray; 600 L ha<sup>-1</sup> in a conventional air spraying, and 300, 200 and 100 L ha<sup>-1</sup> with electrostatic spraying), evaluated the percentage of infested leaves and the pest population. The second study, in split plots and randomized blocks, evaluated the same technologies of the previous study and plant quadrants (Q1, Q2, Q3 and Q4) in the sub plots for the deposition of the mixture on the leaves, mixture losses to soil in Petri plates, and droplet spectra in hydro-sensitive paper. Evaluation of deposition and losses was done by adding Brilliant Blue dye to the spraying mixture, and subsequent detection by absorption in spectrophotometry. Data obtained was divided by the respective leaf or plate areas. Deposition was twice as greater and losses four times smaller in electrostatic spraying than in the conventional technology. Only the electrostatic spraying resulted in smaller infestation percentage in relation to the control. All technologies reduced pest population. It can be concluded that electrostatic spraying is more effective, allowing a reduction of spraying rates with no loss of control of the guava psyllid.

**Keywords:** spraying technology, droplet electrification, Q/M relation, electrostatic system, guava psyllid.

---

<sup>2</sup> Major Professor: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

## **CAPÍTULO I**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

O objetivo principal da agricultura sempre foi a produção de alimentos e matéria prima. No cenário atual, essa busca acentuou-se, principalmente devido ao crescimento exacerbado da população mundial. Diante disso, a agricultura foi modernizada a fim de otimizar as produções agrícolas. No entanto, houve com isso consequências como a contaminação ambiental e danos à integridade dos ecossistemas, devido aos erros nas aplicações de agrotóxicos.

De acordo com as perspectivas da FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2013), a população mundial deve ultrapassar 9 bilhões de pessoas até o ano de 2050. Em paralelo, a agricultura mundial atinge atualmente altas produções, como cerca de 2,3 bilhões de toneladas de cereais e 640 milhões de toneladas de frutas (FAO, 2013). O Brasil, por sua vez, ocupa posição de destaque na produção agrícola, o qual alcançou tetos de 195 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2014) e 43,6 milhões de toneladas de frutas (IBRAF, 2013).

No entanto, apesar dos avanços nas produções agrícolas, a agricultura moderna também é caracterizada pela grande presença de pragas nas lavouras, que prejudicam o potencial produtivo das culturas e a qualidade dos produtos. Frente a isso, o manejo fitossanitário é de grande importância, pois mantém a sanidade das lavouras e favorece o desenvolvimento adequado das plantas.

Na tentativa de amenizar os ataques de pragas, uma opção do manejo integrado é a aplicação de agrotóxicos nas lavouras a fim de favorecê-las na competição com plantas daninhas, insetos-praga e doenças. Dessa forma, os agrotóxicos, durante todo o desenvolvimento das culturas, desde a semeadura até a colheita, são grandes ferramentas na otimização da agricultura.

O uso racional de produtos químicos em tratamentos fitossanitários, associado a outras boas práticas agrícolas, têm amenizado o impacto negativo sobre os ecossistemas, além de estimular a oferta de alimentos. Entretanto, a falta de conhecimento nas técnicas de aplicação e o uso demasiado de tais produtos, devido à

complexidade na relação produto e ambiente, exigem atenção no controle químico (ANTUNIASSI; BOLLER, 2011).

A aplicação de agrotóxicos visa o manejo econômico de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, com distribuições corretas e uniformes das quantidades de produto. Dessa forma, reduzem-se as perdas de rentabilidades das lavouras, além de menores danos ao ambiente e à saúde das pessoas (MINGUELA; CUNHA, 2010). No entanto, nos tratamentos fitossanitários, dá-se muita atenção aos agrotóxicos utilizados e suas características, mas a tecnologia para a sua aplicação é deixada muitas vezes para segundo plano (CUNHA, 2008).

Os conhecimentos básicos da tecnologia de aplicação adotada e a utilização adequada da mesma, permitem que o produto seja depositado uniformemente no alvo, em favor da eficácia do tratamento. Por isso, é fundamental estudar métodos de aplicação que melhorem e facilitem o manejo fitossanitário, otimizem as técnicas de controle e favoreçam a viabilidade econômica dos tratamentos.

Devido ao emprego inadequado das tecnologias de aplicação, sérios problemas de contaminação ambiental e humana podem ocorrer, prejudicar também a economia e a eficiência do tratamento. Isso se dá principalmente através da deriva da calda de pulverização para outras áreas distantes dos alvos, além do escoamento superficial e lixiviação, contaminação dos cursos d'água e lençol freático e da evaporação para o ambiente. Quanto a isso, fatores como as condições meteorológicas e os aspectos intrínsecos da tecnologia de aplicação são de extrema importância, especialmente no que diz respeito à penetração da calda no dossel da cultura e à redução da deriva (MINGUELA; CUNHA, 2010; ANTUNIASSI; BOLLER, 2011).

A arquitetura da planta, principalmente em culturas arbóreas, dificulta a boa cobertura das folhas durante a aplicação dos agrotóxicos. Além disso, há também risco de deriva devido a corrente de ar gerada pelos pulverizadores hidropneumáticos (turbo-atomizadores), muito empregados em frutíferas, que pode prejudicar a eficácia dos tratamentos fitossanitários e contaminar o ambiente (NUYTTENS et al., 2011).

Por isso, as técnicas adequadas de aplicação, que favorecem o depósito de produto no alvo, são uma das maneiras de aumentar a eficácia dos tratamentos, além de reduzir perdas e riscos de contaminação ambiental (CUNHA, 2008; RODRIGUES et al., 2010; VAN ZYL et al., 2013). Dessa forma, é indispensável a atenção aos fatores como o pulverizador, o tamanho e a densidade de gotas, as perdas para o solo e por deriva, além da melhor taxa de aplicação (SOUZA et al., 2011).

O tamanho das gotas é um fator fundamental no depósito da calda tanto dentro como fora do alvo, pois se relaciona diretamente com as perdas de agrotóxicos para o ambiente (FRITZ et al., 2012). Em geral, gotas finas elevam a cobertura em pulverizações, o que favorece a eficácia dos produtos (DERKSEN et al., 2007b), e gotas grossas, menos sujeitas à evaporação e deriva, são mais propensas a não se fixarem no alvo e escorrerem para o solo (CUNHA et al., 2006; CZACZYK et al., 2012).

Na agricultura moderna, a deriva é uma das maiores preocupações no uso de produtos químicos, já que nas aplicações os desperdícios pela ação do vento podem ser maiores que 70% (CHAIM et al., 1999; CHAIM et al., 2000; ALVES, 2014). Alguns autores afirmam que 80% do que se aplica nas culturas anuais perdem-se para áreas vizinhas, contaminando rios, lençóis freáticos, solo e atmosfera (MASKI; DURAIRAJ, 2010).

Outro fator importante é quanto à taxa de aplicação, que deve permitir bom molhamento do alvo e mínimas perdas por escoamento de gotas para o solo (SILVA, et al., 2014). Sobre isso, um fator relevante a ser considerado é quanto à possibilidade da redução das taxas aplicadas, de acordo com as condições de campo (GARCERÁ et al., 2011). Essas reduções podem ser alternativas para aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores, reduzir custos nas aplicações (SOUZA et al., 2011) e diminuir perdas para o ambiente (BUENO et al., 2014). No entanto, essa redução de taxa requer otimização da tecnologia de aplicação, a fim de manter a eficiência das aplicações (SOUZA et al., 2012).

Nesse sentido, a fim de reduzir perdas para o meio ambiente e proporcionar maior contato das gotas com seus alvos, com melhores depósitos dos agrotóxicos e menores taxas de aplicação, desenvolveu-se o sistema de pulverização eletrostático. As pesquisas sobre estes sistemas se iniciaram na década de 70, com o desenvolvimento de um protótipo de bico pneumático eletrostático, por Law (1978) na Universidade de Georgia. Na década seguinte, as pesquisas sobre o uso de gotas com cargas eletrostáticas tiveram crescimento, principalmente depois de Coffee (1981) desenvolver o pulverizador Electrodyn. No Brasil, por sua vez, Chaim (1984) também desenvolveu um protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico.

Trata-se de um sistema no qual as gotas geradas recebem carga elétrica, ou seja, ocorre o carregamento da calda com cargas positivas ou negativas, a fim de criar um campo elétrico que mantém a gota em sua trajetória ideal entre o pulverizador e o alvo. Carregada eletricamente, a gota tende a ser atraída pelo seu alvo, sem desvios de sua



trajetória e menores perdas da calda (CHAIM, 2006). Sobre isso, Chaim (2004) afirma que a produção de gotas pequenas favorece a indução de forças elétricas em grandeza suficiente para controlar o movimento das mesmas, inclusive contra a força da gravidade, para evitar que elas se percam para o ambiente e proporcionar até mesmo capacidade às gotas de se depositarem na face inferior das folhas.

Além disso, os sistemas eletrostáticos podem ser projetados tanto para pulverização pneumática quanto para pulverização hidráulica. Um exemplo é o pulverizador hidráulico eletrostático autopropelido Spra Coupe, lançado pela Empresa Agco, no qual há um tanque principal e um outro menor onde é feita a eletrificação da calda (CHAIM, 2006).

Se por um lado a contaminação do solo é comum nos sistemas convencionais de pulverização, devido ao escorrimento da calda (MAGNO JÚNIOR et al., 2011), por outro lado, através da pulverização eletrostática em relação a aplicação convencional, Chaim (2006) constatou contaminações até 20 vezes menores. Além disso, Chaim et al. (2002), em estudos comparativos entre pulverizações convencionais e com sistemas eletrostáticos, verificaram que o pulverizador eletrostático proporcionou depósitos de cerca de 70% do produto aplicado, enquanto a aplicação convencional proporcionou apenas 30%.

Por isso, a tecnologia de aplicação com pulverizadores eletrostáticos vem sendo estudada por diversos pesquisadores (KIRK et al., 2001; CHAIM, 2002; KANG et al., 2004; LARYEA; NO, 2005; DERKSEN et al., 2007a; MAGNO JÚNIOR et al., 2011; XIONGKUI et al.; 2011; SASAKI et al., 2013a; SASAKI et al., 2013b; MAGNO JÚNIOR et al., 2014), no entanto diversas dúvidas ainda cercam esta tecnologia, principalmente em relação a forma de funcionamento, além das vantagens e desvantagens da mesma. Apesar da pulverização eletrostática ser um sistema disponível comercialmente, ainda é pouco utilizada, principalmente devido às dúvidas a respeito da eficiência desse sistema, o que faz necessário o estudo dessa tecnologia e suas interações com a planta (SASAKI et al., 2013a).

Sobre isso, Zheng et al. (2002) afirmaram que alguns fatores influenciam o desempenho dos sistemas de pulverização eletrostática, como as características da calda utilizada, o tamanho das gotas geradas, o sistema de eletrificação de gotas e a relação carga/massa. Estes autores também afirmaram que a pulverização eletrostática favorece a distribuição e deposição das gotas no dossel das plantas, reduz a contaminação ambiental, devido a utilização de menores taxas de aplicação, e melhora a eficácia de

controle dos tratamentos, em comparação com tecnologias convencionais. Mas, por outro lado, também há estudos com pulverização eletrostática que não verificaram melhorias em aplicação de agrotóxicos (BAYER et al., 2011; MAGNO JÚNIOR et al., 2011).

Diante disso, é nítida a importância de estudos a fim de entender melhor os fatores que influenciam no funcionamento da pulverização eletrostática, principalmente na eficiência da eletrificação das gotas, a fim de verificar também a real eficiência desta tecnologia comparada com pulverizações convencionais.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Estudar um sistema de eletrificação de gotas de pulverização quanto aos fatores que influenciam em seu funcionamento e a eficácia de tratamentos com esta tecnologia.

### **2.1 Objetivos Específicos**

Avaliar a influência da vazão, da distância entre o bocal do pulverizador e o alvo e da composição da calda no sistema de eletrificação de gotas e na relação carga/massa.

Avaliar a deposição de calda nas folhas, as perdas para solo e o controle químico do psilídeo-da-goiabeira *Triozoida limbata* (Hemiptera: Psyllidae) promovidos pela pulverização eletrostática, em comparação a pulverização convencional.

## REFERÊNCIAS

ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.8, p.622-629, 2014.

ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.

BAYER, T.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.192-198, 2011.

BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; NAVES, M. G.; TAVARES, R. M. Deposição de calda e controle de plantas daninhas empregando pulverizador de barra convencional e com barra auxiliar, em volumes de calda reduzidos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 447-454, 2014.

CHAIM, A. **Desenvolvimento de um pulverizador eletrohidrodinâmico: avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle de trips (*Enneothrips flavens* Moulton, 1951), em amendoim (*Arachis hypogaea* L.)**. 1984. 107f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1984.

CHAIM, A.; CASTRO, V. L. S. S.; CORRALES, F.; GALVÃO, J. A. H.; CABRAL, O. M. R. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 741-747, 1999.

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; PIO, L. C. Avaliação de perdas na pulverização de agrotóxicos na cultura do feijão. **Pesticidas Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 10, s/n., p. 65-74, 2000.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Eficiência de deposição de agrotóxicos, obtida com bocal eletrostático para pulverizador motorizado costal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 497-501, 2002.

CHAIM, A. Pulverização eletrostática. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. [Ed.]. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2004. p. 85-92. Botucatu: FEPAF, 2004. p. 85-92.

CHAIM, A. **Pulverização eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 17p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, n.57).

COFFEE, R.A. Electrodynamic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v.10, n.7, p.350-356, 1981.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2014/2015**: segundo levantamento. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 09 dez. 2014.

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

CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.

CZACZYK, Z.; KRUGER, G.; HEWITT, A. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v.52, n. 4, p.415-420, 2012.

DERKSEN, R.C.; VITANXA, S.; WELTY, C.; MILLER, S.; BENNETT, M.; ZHU, H. Field evaluation of application variables and plant density for bell pepper pest management. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v.50, n.6, p.1945-1953, 2007a.

DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; KRAUSE, C. R. Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchards applications. **Transaction of the ASABE**, St. Joseph, v.50, n. 5, p.1493-1501, 2007b.

FAO - Food and Agricultural Organization. **FAO Statistical Yearbook 2013**. Disponível em: <[www.fao.org](http://www.fao.org)>. Acesso em: 09 dez. 2014.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; CZACZYK, Z.; BAGLEY, W.; KRUGER, G.; HENRY, R. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v.52, n. 4, p.447-457, 2012.

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Effect of spray volume of two organophosphate pesticides on coverage and on mortality of California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell). **Crop Protection**, Londres, v. 30, n. 6, p. 693-697, 2011.

IBRAF - Instituto Brasileiro de Frutas. **Panorama da cadeia produtiva das frutas em 2012 e projeções para 2013**. Disponível em: <[www.todafruta.com.br/noticia\\_anexo\\_arquivo.php?id=39](http://www.todafruta.com.br/noticia_anexo_arquivo.php?id=39)>. Acesso em: 14 de jan. 2015.

LARYEA, G. N.; NO, S. Y. Effect of fan speed and electrostatic charge on deposition of orchard canopy sprays. **Atomization and Sprays**, Danbury, v. 15, n. 2, p. 133-144, 2005.

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

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, L. B.; FERREIRA, L. R.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de

gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 798-804, 2011.

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; RODRIGUES, D. E.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrostático para pulverizador pneumático costal. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 9-16, 2014.

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**, Londres, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010.

MINGUELA, V. J.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. 1ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2010. 588p.

NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M. DE; BAETENS, K.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D.; VERBOVEN, P. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five-year study. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p.403-408, 2011.

KANG, T. G.; LEE, C. S.; KIM, S. H.; LEE, G. I.; CHOI, W. K.; NO, S. Y. Spray and depositional characteristics of electrostatic nozzles for orchard sprayers. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.41, n.5, p.21-28, 2004.

KIRK, I.W.; HOFFMANN, W. C.; CARLTON, J. B. Aerial electrostatic spray system performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.44, s/n., p.1089-1092, 2001.

RODRIGUES, A. C. P.; FILHO, S. I. B. S.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; ROCHA, D. C.; SOUZA, G. S. F. Avaliação qualitativa e quantitativa na deposição de calda de pulverização em *Commelina benghalensis*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 421-428, 2010.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. B.; RODRIGUES, D. E. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.9, p.1605-1609, 2013a.

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, 2013b.

SILVA, J. E. R.; CUNHA, J. P. A. R.; NOMELINI, Q. S. S. Deposição de calda em folhas de cafeeiro e perdas para o solo com diferentes taxas de aplicação e pontas de pulverização. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.12, p.1302–1306, 2014.

SOUZA, L. A; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-D amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 1149-1156, 2011.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.

VAN ZYL, J. G. J.; FOURIEA, P. H.; SCHUTTEB, G. C. Spray deposition assessment and benchmarks for control of Alternaria brown spot on mandarin leaves with copper oxychloride. **Crop Protection**, Londres, v. 46, n. 4. p. 80-87, 2013.

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**, Pequim, v.4, n. 1, p.35-40, 2011.

ZHENG, J.; ZHOU, H.; XU, Y. Advances in pesticide electrostatic spraying research in China. In: ASAE Annual International Meeting/CIGR World Congress, 15, 2002, Chicago, **Anais...** St. Joseph.: ASAE, 2002. (Paper nº 021034).

## **CAPÍTULO II**

### **ESTUDO DE UM SISTEMA DE ELETRIFICAÇÃO DE GOTAS EM PULVERIZADOR COSTAL PNEUMÁTICO PELO MÉTODO DE GAIOLA DE FARADAY**



# **ESTUDO DE UM SISTEMA DE ELETRIFICAÇÃO DE GOTAS EM PULVERIZADOR COSTAL PNEUMÁTICO PELO MÉTODO DE GAIOLA DE FARADAY**

## **RESUMO**

A eletrificação de gotas nos pulverizadores eletrostáticos, a fim de reduzir perdas de calda, ainda é uma técnica pouco utilizada no Brasil devido às dúvidas acerca dos fatores que influenciam no seu funcionamento, como na relação carga/massa (Q/M). O presente trabalho objetivou estudar os fatores que influenciam na relação Q/M gerada por um sistema de eletrificação de gotas em um pulverizador pneumático costal com kit eletrostático, por meio de uma gaiola de Faraday. Executaram-se três experimentos, em delineamento inteiramente casualizado, a fim de verificar a influência da vazão de aplicação (experimento 1), da distância entre o pulverizador e o alvo (experimento 2) e da calda de pulverização no funcionamento do sistema de eletrificação de gotas (experimento 3). No primeiro experimento, apenas com água potável, avaliaram-se doze vazões, entre 0,20 e 1,60 L min<sup>-1</sup>, com quatro repetições cada. No segundo, também com água potável, avaliaram-se quatro distâncias (0; 0,5; 1,0 e 2,0 m) entre o pulverizador e a gaiola, com cinco repetições cada. E no terceiro, em esquema fatorial com cinco caldas e cinco vazões (0,25; 0,76; 1,00; 1,45; e 1,58 L min<sup>-1</sup>), com quatro repetições cada. A relação Q/M foi determinada através da medição da corrente elétrica a partir do volume de calda pulverizado em gaiola de Faraday com multímetro, e dividida pela respectiva massa de líquido, obtendo o resultado em mC kg<sup>-1</sup>. Analisou-se também o espectro de gotas produzidas pelo pulverizador em um analisador de partículas por difração de raio laser. Avaliaram-se o diâmetro da mediana volumétrica, a amplitude relativa, e a percentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100 µm. Verificou-se que conforme se aumentou a vazão de pulverização na gaiola de Faraday, menor foi a relação Q/M, o que também ocorreu conforme distanciou-se o bocal do pulverizador eletrostático da entrada da gaiola. Em relação à calda de pulverização, a relação Q/M aumentou com a adição do óleo mineral, do óleo vegetal e do inseticida, no entanto, não houve alteração da mesma com a adição do espalhante adesivo. A adição de adjuvantes e inseticida à calda reduziu o diâmetro das gotas pulverizadas e a amplitude relativa. Conclui-se que a vazão, a distância entre o bocal do pulverizador e o alvo e a calda de aplicação influenciam na eficiência da pulverização eletrostática. Os componentes da calda de pulverização são fatores relevantes na eficiência da pulverização eletrostática, no entanto, a alteração da relação Q/M depende da substância adicionada.

**PALAVRAS-CHAVE:** pulverização eletrostática, tecnologia de aplicação, calda de aplicação, relação Q/M.

# **STUDY OF A DROPLET ELECTRIFICATION SYSTEM IN A BACKPACK SPRAYER IN A FARADAY CAGE**

## **ABSTRACT**

Droplet electrification in electrostatic sprayers, to reduce mixture losses, still is little used in Brazil due to uncertainties about the factors affecting its performance, such as the relation (Q/M). Therefore, this study evaluated the factors affecting the relation Q/M generated by a droplet electrification system in a backpack sprayer with an electrostatic kit, in a Faraday cage. Three experiments were done, in completely randomized design, to determine the effect of application rate (experiment 1), of the distance between the nozzle and the target (experiment 2) and of spraying mixture on the performance of the droplet electrification system (experiment 3). The first experiment, with treated water, evaluated twelve flow rates, between 0.20 and 1.60 L min<sup>-1</sup>, with four replications. The second one, also with treated water, evaluated four distances (0, 0.5, 1 and 2 m) between the nozzle and the cage, with five replications. And the third one was done as factorial, with five tank mixtures and five flow rates (0.25, 0.76, 1.00, 1.45 and 1.58 L min<sup>-1</sup>), with four replications. The relation Q/M was determined by measuring the electric current from the volume of mixture sprayed in the Faraday cage with a multimeter, and divided by the respective liquid mass, obtaining the result in mC kg<sup>-1</sup>. Also, droplet spectrum was analyzed by a particle analyzer using laser beam diffraction. The volumetric median diameter, relative amplitude, and percentage volume of sprayed droplets with diameter below 100 µm were evaluated. The relation Q/M became smaller as the spraying flow rate increased in the Faraday cage, similarly to what was observed with increasing distances of the electrostatic spray nozzle from the cage entrance. The relation Q/M increased with the addition of mineral oil, vegetable oil, or insecticide to the spraying mixture; in contrast, no change in the relation was observed when the spreader adhesive was added. Adding surfactants and insecticide to the mixture reduced droplet diameter and relative amplitude. It can be concluded that flow rate, distance between the nozzle and the target, and the spraying mixture affect the efficacy of electrostatic spraying. The components of the spraying mixture are significant factors on the efficacy of electrostatic spraying; however, changes in the relation Q/M depend on the substance added to it.

**Keywords:** electrostatic spraying, spraying technology, spraying mixture, Q/M relation.

## 1 INTRODUÇÃO

As tecnologias inadequadas de aplicação de agrotóxicos podem causar sérios problemas ao ambiente, deixar resíduos nos alimentos e aumentar o risco de intoxicação dos trabalhadores rurais. Há diversos relatos sobre pulverizações agrícolas ineficientes, com excesso ou falta de ingrediente ativo. Para o sucesso nessas aplicações, é fundamental que ocorra o depósito das gotas pulverizadas nos alvos, sendo necessário conhecer bem o equipamento de pulverização (ALVES; CUNHA, 2014; TAVARES et al., 2014; SASAKI et al., 2015;). A fim de aumentar a eficácias de tratamentos fitossanitários e reduzir custos e impactos ambientais, algumas tecnologias de aplicação têm sido desenvolvidas.

Neste sentido, uma alternativa é o emprego de gotas com diâmetros reduzidos. No entanto, por apresentarem pequenas massas, essas gotas têm baixa energia cinética, o que facilita a deriva nas pulverizações. Por isso, o emprego dessas gotas deve acontecer em condições especiais. Um meio para permitir a utilização é o acréscimo de forças elétricas às mesmas, com grandeza suficiente para controlar seus movimentos, inclusive contra a gravidade (CHAIM, 2006).

A eletrificação de gotas ocorre nos pulverizadores eletrostáticos, a fim de reduzir perdas de calda nas pulverizações, se utilizados corretamente. No Brasil, a pulverização eletrostática ainda é uma técnica pouco utilizada, apesar de diversos pesquisadores mostrarem que essa tecnologia pode trazer benefícios às aplicações de agrotóxicos.

Essa tecnologia consiste no carregamento das gotas com cargas positivas ou negativas, com formação de um campo elétrico que evita o desvio da gota de sua trajetória até o alvo e provoca atração entre ambos. Para isso, é necessário causar desequilíbrio nas cargas elétricas da gota, com fornecimento ou extração de elétrons. Dessa forma, cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais opostos se atraem, além de que a carga de um corpo eletrificado induz uma carga igual e oposta em algum outro corpo condutor aterrado. Então, a nuvem de gotas eletrificada ao se aproximar da planta, um objeto neutro e aterrado, provoca desequilíbrio entre prótons e elétrons, induz uma carga de sinal contrário na superfície do alvo e, promove assim, atração entre as cargas (CHAIM, 2006).

Como vantagens, a pulverização eletrostática pode aumentar a eficácia dos tratamentos fitossanitários, principalmente por favorecer a deposição dos ingredientes ativos sobre os alvos, além de possibilitar redução da taxa de aplicação e de perdas de

calda (MAYNAGH et al., 2009; SASAKI et al., 2015). Porém, há estudos com pulverização eletrostática que não constataram melhorias nas aplicações de agrotóxicos, como os realizados por Bayer et al. (2011) e Magno Júnior et al. (2011).

Além da distância do alvo com o pulverizador, outros parâmetros, como o processo de eletrificação e as propriedades da calda, também influenciam a indução eletrostática e afetam a capacidade de eletrificação, a carga máxima acumulada em uma gota, a deposição no alvo e a eficácia biológica (MASKI et al., 2004). Sobre o processo utilizado para eletrificar as gotas, Chaim et al. (2002) afirmam que o aumento na tensão de indução eleva a intensidade de carga das gotas até determinado limite, a partir do qual a tensão pode prejudicar a eletrificação.

De acordo com Chaim (2006), existem alguns processos utilizados na eletrificação das gotas pulverizadas: o processo de eletrificação de gotas por “efeito corona” e o processo de carga por indução com eletrificação direta e com eletrificação indireta. O processo de eletrificação de gotas por indução tem sido o mais utilizado.

No processo por “efeito corona”, a ionização do ar ocorre por um eletrodo pontiagudo submetido a altas tensões, promovendo o encontro das cargas livres se com as gotas produzidas pelo bico. Este processo é adequado para eletrificar gotas com tamanhos inferiores a 20  $\mu\text{m}$  (CHAIM, 2006).

No processo de indução com eletrificação direta, um eletrodo aterrado tem a função de promover um campo eletrostático onde o líquido recebe alta tensão. Essa concepção é utilizada nos pulverizadores eletrohidrodinâmicos, com caldas oleosas de baixa condutividade elétrica (CHAIM, 2006).

Já no processo de carga por indução com eletrificação indireta, o líquido é mantido aterrado. Neste processo, as gotas adquirem a carga na presença de um intenso campo eletrostático, formado entre o eletrodo de indução mantido em alta voltagem e o jato de gotas. O eletrodo de indução deve ser posicionado na região da borda do jato onde as gotas se formam em uma distância mínima suficiente para evitar centelhas de descarga entre o eletrodo e o líquido. Uma desvantagem desse processo é que as gotas adquirem carga oposta ao eletrodo de indução e são atraídas pelo mesmo molhando-o e causando gotejamento. Devido a esse fato, um colapso no sistema acontece e a eletrificação das gotas é prejudicada. Para contornar essa situação, foram projetados bicos pneumáticos eletrostáticos que se caracterizam por proporcionar jatos concêntricos de ar e líquido. Assim, o próprio ar que pulveriza o líquido arrasta as gotas

carregadas para longe da influência do eletrodo, mantendo-o seco (CHAIM, 2006; PATEL, GHANSHYAM e KAPUR, 2012).

Em relação ao líquido, a densidade, tensão superficial, viscosidade, condutividade elétrica e constante dielétrica são as características que afetam o processo de eletrificação das gotas (SASAKI et al., 2015). Maski e Durairaj (2010) afirmam que quanto maior a condutividade elétrica na calda de pulverização, maior será a carga elétrica nas gotas geradas. Por isso, de acordo com Sasaki et al. (2015), a adição de adjuvantes às caldas de pulverização, ao alterar as propriedades do líquido, podem aumentar ou reduzir a eficiência do sistema eletrostático.

Além disso, outro fator que influencia a eficiência de um pulverizador eletrostático é a relação carga/massa ( $Q/M$ ), ou seja, a quantidade de carga elétrica, contida em uma massa conhecida de líquido. Essa relação é constatada através da divisão da corrente contida no jato de gotas, pela massa de líquido pulverizado (MAGNO JÚNIOR et al., 2014). Quanto maior a relação  $Q/M$ , maior a força de atração entre a gota e o alvo, em favor da qualidade da pulverização. Portanto, é importante conhecer os parâmetros e/ou produtos que afetam a relação  $Q/M$  na pulverização eletrostática (SASAKI et al., 2015).

Uma forma de estudar essa relação  $Q/M$  é através da determinação da intensidade da carga elétrica em um sistema de Gaiola de Faraday, como demonstrado por Magno Júnior et al. (2014) e Sasaki et al. (2015), segundo a metodologia de Chaim (1998) e Simmons e Lehtinen (1986), na qual conecta-se um multímetro a uma gaiola de tela metálica a fim de verificar a corrente elétrica no campo eletrostático formado. A Gaiola de Faraday é uma superfície condutora, que funciona como blindagem eletromagnética, capaz de impedir perturbações produzidas por campos eletrostáticos e/ou eletromagnéticos externos. Trata-se de uma câmara formada por material condutor, por exemplo uma chapa ou malha metálica, projetada para separar os ambientes eletromagnéticos externo e interno (PORTO et al., 2005; SPINDOLA, 2010).

Desse modo, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de estudar um sistema de eletrificação de gotas em um pulverizador pneumático costal, através de um sistema de Gaiola de Faraday, a fim de avaliar a influência da composição da calda, da vazão e da distância entre o bocal do pulverizador e o alvo na relação carga/massa gerada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Casa de Defensivos Agrícolas, na Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia – MG. A caracterização das caldas utilizadas nas pulverizações foi feita no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) da UFU. O estudo dos espectros de gotas gerados pelo pulverizador utilizado nos experimentos foi realizado no Laboratório de Análise de Tamanho de Partículas (LAPAR), do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, em Jaboticabal - SP, da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Executaram-se três experimentos, em delineamento inteiramente casualizado, a fim de verificar a influência da vazão de aplicação (experimento 1), da distância entre o pulverizador e o alvo (experimento 2) e da calda de pulverização (experimento 3) no funcionamento de um sistema de eletrificação de gotas, através da análise da relação carga/massa (Q/M).

As condições ambientais foram monitoradas durante a realização dos experimentos através de um termo-higro-anemômetro digital, marca Kestrel® e modelo 4000, com temperaturas mínima de 21,5°C e máxima de 29,2°C, umidade relativa do ar entre 47,9% e 74,0% e ventos com velocidades entre 1,3 e 4,6 km h<sup>-1</sup>.

O experimento da vazão de aplicação foi constituído por 12 tratamentos, de acordo com todos os orifícios restritores de vazão do pulverizador (Figura 1). Para as pulverizações, com cada orifício efetuaram-se quatro repetições, com total de 48 parcelas. Utilizou-se apenas água potável nas pulverizações do experimento 1.



FIGURA 1. Os três registros do pulverizador, providos de orifícios restritores de vazão.

O experimento sobre a distância entre o pulverizador e o alvo foi constituído por quatro tratamentos, isto é, as distâncias de 0; 0,5; 1 e 2 m, com cinco repetições, com

total de 20 parcelas. Nas pulverizações do experimento 2, utilizou-se apenas água potável e uma vazão média de  $0,82 \text{ L min}^{-1}$ .

Por fim, o experimento da calda de pulverização foi constituído por um esquema fatorial  $5 \times 5$ , isto é, cinco caldas de pulverização e cinco vazões de aplicação, com quatro repetições e total de 100 parcelas. As caldas avaliadas foram: água potável (AG); água potável + óleo mineral (OM); água potável + óleo vegetal (OV); água potável + espalhante adesivo (EA); e água potável + inseticida (IN). As vazões avaliadas, 0,25; 0,76; 1,00; 1,45 e  $1,58 \text{ L min}^{-1}$ , foram selecionadas após o teste de vazão.

No experimento 3, os produtos utilizados nas caldas de pulverização foram: o óleo mineral Nimbus, com 42,80% de i.a., na concentração de 500 mL para 100 litros de calda; o óleo vegetal Veget'oil, com 93,00% de i.a, na concentração de 500 mL para 100 litros de calda; o espalhante adesivo In-Tec, com 12,0% do i.a. Nonil Fenol Etoxilado, na concentração de 50 mL para 100 litros de calda; e o inseticida Provado 200 SC, com 20% do i.a. imidacloprido, na concentração de 25 mL para 100 litros de calda.

Previamente às aplicações na gaiola de Faraday, caracterizaram-se as diferentes caldas utilizadas. Foram avaliados o potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, densidade, viscosidade e tensão superficial das cinco caldas utilizadas. Todas as avaliações foram realizadas a partir de soluções preparadas em béqueres de 0,5 L, à temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ . Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada uma das caldas estudadas.

O pH e a condutividade elétrica foram medidos diretamente nas soluções com peagâmetro e condutivímetro portátil, marca Hach® e modelo HQ40d. O equipamento foi previamente calibrado por meio de soluções-padrão. A densidade foi estimada por meio da determinação da massa de 0,1 L da solução depositada em um balão volumétrico, em balança com resolução de 0,1 mg. A viscosidade dinâmica foi determinada com um viscosímetro rotativo microprocessado, marca Quimis® e modelo Q860M21, o qual permite medir eletronicamente a força de torção já convertida em viscosidade. Este viscosímetro de medição direta funciona pelo princípio da rotação de um cilindro submerso na amostra a ser analisada, para medir a força da torção necessária para superar a resistência da rotação. Utilizou-se o rotor zero e rotação de 60 rpm.

A tensão superficial foi determinada, após calibração com água destilada, por um tensiômetro de bancada com anel de platina, marca Kruss® e modelo K6, com o

método Du Nouy (DOPIERALA; PROCHASKA, 2008). O teste consiste em medir a tensão sofrida pelo anel que fica na extremidade de uma haste flexível, colocado sobre a superfície da amostra e tensionado até que sofra repulsão.

Para as aplicações, utilizou-se um pulverizador pneumático costal motorizado da marca Stihl®, modelo SR450, com um volume de tanque de 14 litros e um motor dois tempos monocilíndrico de 2900 W de potência (Figura 2). O fluxo máximo de ar gerado pelo pulverizador é de  $920 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , na rotação máxima de 6800 rpm, já que há três acelerações possíveis. Adotou-se em todos os experimentos uma rotação do motor mantida com a aceleração intermediária. Verificou-se com um multímetro, através de uma ponta de prova de alta tensão, que a vela de ignição do motor é alimentada por uma tensão de 7 kV. Por se tratar de um motor dois tempos, a corrente gerada a partir da tensão na vela de ignição, apesar de se caracterizar como contínua, apresenta picos de leitura. A corrente passa por uma rede de resistores e diodos para retificação.



FIGURA 2. Pulverizador pneumático costal motorizado, marca Stihl® e modelo SR450.

Para a pulverização eletrostática, foi instalado ao pulverizador um kit de conversão da marca Spectrum®, modelo 3010, com processo de carga por indução com eletrificação indireta, onde o líquido é mantido aterrado, com voltagem igual a zero.

O bocal do Spectrum 3010 converte o sistema pneumático convencional para um sistema eletrostático, sem necessidade de uma bateria externa como fonte de alimentação elétrica. O bocal se encaixa sobre a extremidade da saída de ar do pulverizador. No seu interior, na parte superior, há um orifício de plástico não condutor para saída da calda de pulverização, e na parte oposta há um eletrodo condutor. Na parte externa do bocal, para fornecimento da energia eletrostática há um filtro resistor-capacitor e um circuito retificador, ambos ligados por um único fio à vela de ignição do pulverizador. Há também um segundo fio, ligado ao chassi do pulverizador, para estabelecer o aterramento do sistema. Quando se liga o motor do pulverizador, a corrente elétrica é fornecida ao eletrodo condutor e resulta na criação de um campo



eletrostático negativo no interior do bocal. Com o orifício de saída da calda e o eletrodo posicionados em paredes opostas do interior do bocal, a corrente de ar e a calda são liberados simultaneamente, de forma que a corrente de ar eletrifica o líquido e arrasta as gotas para fora do bocal, evitando o escorrimento (DOBBINS, 1995; HOFFMANN, 2009). Assim, o kit de conversão eletrostático apresenta o fio ligado à vela de ignição do motor e o bocal de condução eletrostática, ambos acoplados ao pulverizador costal pneumático (Figura 3).

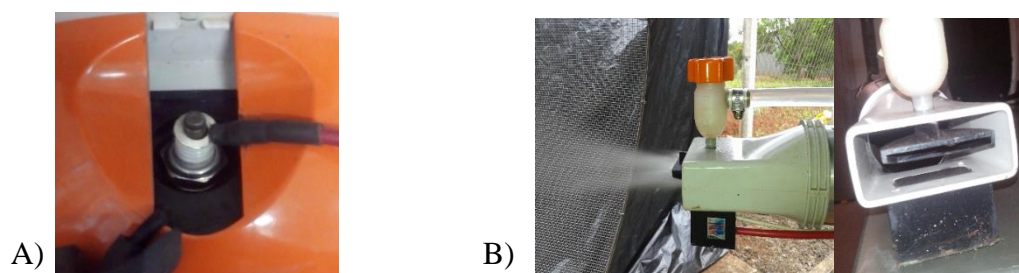


FIGURA 3. Kit de conversão eletrostático, marca Spectrum e modelo 3010, adaptado ao pulverizador pneumático costal. A) Fio ligado à vela de ignição do motor. B) Bocal de condução eletrostática adaptado ao pulverizador.

A quantidade de carga do sistema foi determinada através do método usado por Chaim (1998) e Simmons e Lehtinen (1986), que consiste no uso de uma gaiola de Faraday. Nos experimentos 1 e 3, a saída do bocal do pulverizador foi mantida a 0,05 m de distância da abertura da gaiola. Essa foi construída no LAMEC-UFU, com as dimensões de 0,8 m de diâmetro e 0,6 m de comprimento, de modo que todo o jato de pulverização fosse captado pela gaiola ao longo dos tratamentos. Para a construção da gaiola, fez-se uma estrutura cilíndrica de aço galvanizado, envolto com tela metálica, malha 6 (abertura de 3,033 mm) e fio de 1,2 mm. A gaiola foi isolada por meio de uma haste de madeira de 1,7 m de comprimento, com 0,7 m da haste abaixo do nível do solo (Figura 4).



FIGURA 4. Vista lateral (A) e frontal (B) da Gaiola de Faraday.

Antes de todas as pulverizações, marcou-se o tempo de 15 segundos até se estabilizar o pulverizador e, em seguida, pulverizou-se durante 2 min no interior da gaiola. Adotou-se o volume fixo de 4 L de calda no tanque do pulverizador. Posteriormente, mensurou-se a quantidade de líquido pulverizada com o auxílio de uma proveta graduada com precisão de 5 mL. Determinou-se a densidade de cada calda utilizada, em todos os experimentos, através da relação entre a massa da calda e um volume amostrado. Dessa forma, a cada pulverização no interior da gaiola, determinou-se a massa de líquido pulverizada.

Para verificar a corrente elétrica presente nas gotas pulverizadas, conectou-se à gaiola um multímetro da marca Minipa®, modelo ET-2517A, com escala de 0 a 600  $\mu\text{A}$  e precisão de  $\pm 0,2\%$  (Figura 5. A e B). O multímetro foi aterrado por uma barra de ferro enterrada a 1 m abaixo do nível do solo (Figura 5. C), semelhantemente à metodologia empregada por Maski e Durairaj (2010). As leituras no multímetro foram feitas no modo de corrente elétrica contínua.

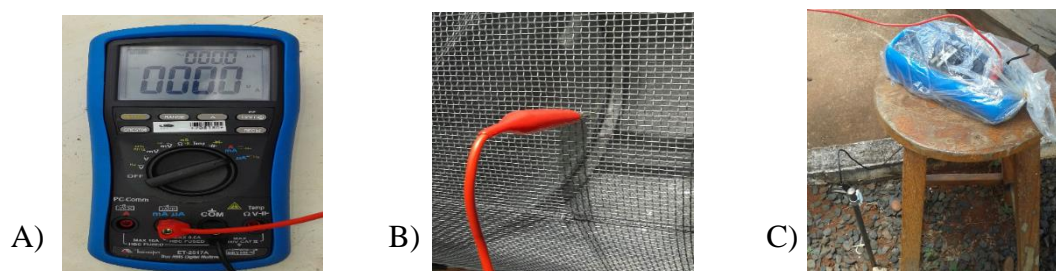


FIGURA 5. A) Multímetro utilizado para medir a corrente. B) Detalhe da conexão do multímetro com a gaiola de Faraday. C) Detalhe da barra de ferro utilizada para aterrar o multímetro.

Dessa forma, determinou-se a descarga de eletricidade contida no jato de gotas, a fim de verificar a relação carga/massa ( $Q/M$ ), através da relação entre a corrente elétrica e a quantidade da massa de líquido pulverizada ( $\text{kg s}^{-1}$ ), conforme a seguinte equação:

$$Q/M = \frac{i}{m}$$

Na qual,

$Q/M$ : Relação carga/massa ( $\text{mC kg}^{-1}$ );

i: Corrente elétrica contida no jato de pulverização ( $\text{mC s}^{-1}$ );

m: Fluxo de líquido ( $\text{kg s}^{-1}$ ).

Para complementar o experimento 3, também foi realizada a análise do espectro de gotas pulverizadas através de um analisador de partículas em tempo real Mastersizer S® (Malvern Instruments Ltd.). Essa análise foi feita em delineamento inteiramente casualizado, repetindo-se os 25 tratamentos do experimento 3, de acordo com o fatorial  $5 \times 5$ , isto é, 5 caldas e 5 vazões. Em ambas as etapas, o sistema eletrostático sempre esteve ligado. Para todas as leituras do espectro, efetuaram-se quatro repetições.

Inicialmente, verificou-se o alinhamento do feixe óptico para garantir o seu correto posicionamento no sistema detector, corrigiram-se possíveis contaminações das lentes por partículas e procedeu-se à calibração do aparelho. O equipamento dispõe de unidade óptica constituída por lente focal. Para medição do espectro de gotas, utilizou-se uma lente focal de 300 mm, capaz de analisar gotas na faixa de 0,5 a 900  $\mu\text{m}$ . O bocal do pulverizador foi mantido na horizontal a 35 cm de distância do feixe de laser (Figura 6), com o intuito de que todo o jato atravessasse o feixe.



FIGURA 6. Bocal do pulverizador, mantido na horizontal a 35 cm de distância do feixe de laser, pulverizando no analisador de partículas.

A decodificação dos dados, segundo o algoritmo elaborado para a caracterização do diâmetro de partículas por difração de raios laser, foi realizada pelo *software* Mastersizer S versão 2.19, Malvern Instruments Ltd. As condições ambientais durante a realização dos experimentos foram: temperatura do ar entre 26,2°C e 27,1°C; umidade relativa do ar entre 67% e 83%; e ausência de ventos e de luminosidade externa, uma vez que as análises foram realizadas com ausência de luz.

Avaliaram-se os seguintes parâmetros: diâmetro da mediana volumétrica (DMV), AR – amplitude relativa e  $D_v < 100 \mu\text{m}$  – percentagem do volume de gotas

pulverizadas com diâmetro inferior a 100 µm. A amplitude relativa (AR) foi determinada com a seguinte equação:

$$AR = \frac{Dv0,9 - Dv0,1}{Dv0,5}$$

Na qual,

AR: amplitude relativa;

Dv0,1: diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

Dv0,5: diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

Dv0,9: diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

Todos os dados obtidos foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com o programa SPSS 20 (SPSS, 2011). Nos casos em que as pressuposições não foram atendidas, os dados foram transformados em  $\sqrt{x}$  e submetidos à nova análise. Somente quando a transformação corrigiu ou pelo menos melhorou uma das pressuposições, sem prejudicar as demais, utilizaram-se os dados transformados para a análise de variância. Do contrário, utilizaram-se os dados originais (STEEL; TORRIE, 1980; SOKAL; ROHLF, 1995).

Em todos os experimentos, após a análise das pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008). Quando pertinente, os tratamentos qualitativos foram comparados entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância, enquanto que os tratamentos quantitativos foram submetidos à análise de regressão. As curvas foram elaboradas pelo programa SigmaPlot 12.0 (SYSTAT SOFTWARE Inc., 2011).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados quantitativos, bem como a análise das pressuposições, estão apresentados na Tabela 1 (ANEXO A).

Na Figura 7, é apresentada a curva de regressão obtida para o experimento 1, na qual é possível notar que conforme aumentou-se a vazão de pulverização na gaiola de Faraday, menor foi a relação Q/M encontrada. Nesta curva, optou-se por modelo exponencial, pois a redução na relação Q/M é acentuada até estabilizar-se sem expectativa de crescimento, como visto para as maiores vazões. Este resultado indica que quanto maior a quantidade de água pulverizada, menor a eficiência do sistema eletrostático, isto é, maior será a carga necessária para eletrificar a calda. O aumento da vazão levou ao aumento de massa, que decresceu a relação Q/M, demonstrando que este sistema não proporciona compensação da energia gerada em função da massa da calda.

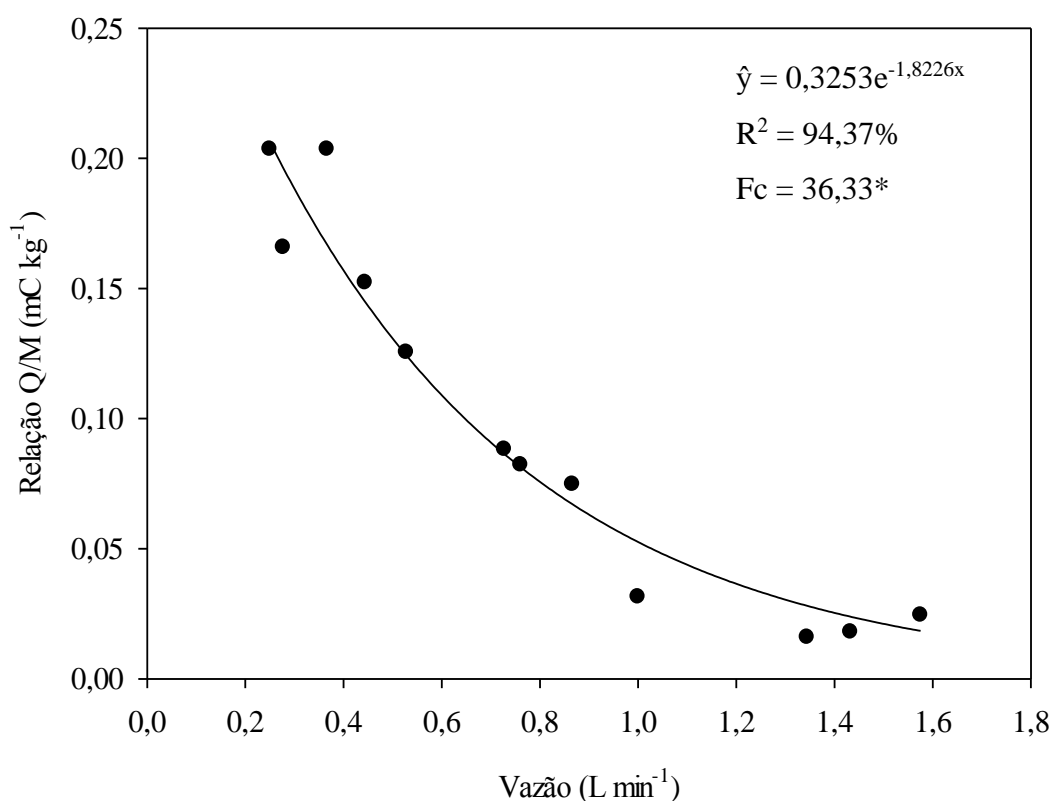


FIGURA 7. Relação Q/M em função da vazão do pulverizador. \*regressão significativa a 0,01.

Com vazões maiores, a eficiência da pulverização eletrostática foi reduzida, já que se usa a relação Q/M como um parâmetro para indicar a capacidade de eletrificação das gotas e, conseqüentemente, a atração pelo alvo. Se por um lado, as vazões menores resultam em melhores relações Q/M, por outro, vazões muito baixas podem ser inviáveis em condições de campo, principalmente em relação ao caminhamento na área, dependendo da taxa de aplicação almejada, isto é, quanto menor a vazão, mais devagar

deve ser o caminhar do pulverizador a fim de aplicar a mesma taxa. Sobre isso, Zhao, Castle e Adamiak (2008) ao estudarem por meio de um software de simulação numérica os fatores que afetam a pulverização eletrostática quanto a deposição de gotas sobre os alvos e os desvios de suas trajetórias, verificaram que a eficiência da tecnologia eletrostática é maior conforme há o aumento da relação Q/M.

Magno Júnior et al. (2014), em um trabalho para desenvolver um dispositivo eletrostático para pulverizador pneumático costal capaz de gerar um nível de carga suficiente para aumentar a eficiência da aplicação de agrotóxicos, verificaram decréscimo da relação Q/M em função do aumento da vazão do pulverizador. Segundo os autores, esse decréscimo é devido ao aumento da massa de água por minuto, diminuindo, assim, a relação Q/M.

A respeito de baixas vazões de aplicação, Magno Júnior et al. (2014) afirmaram que estas implicam na velocidade de trabalho do pulverizador, pois assim é necessário andar muito devagar para atingir uma taxa usual em campo, fato muito importante em culturas arbóreas, as quais apresentam alta densidade foliar que serve como obstáculo para a pulverização. Uma solução para isso seria a redução de taxas de aplicação com a pulverização eletrostática, a fim de proporcionar maior deposição das gotas, alternativa que ainda precisa ser melhor estudada.

No presente trabalho, encontraram-se as maiores relações Q/M médias por volta de  $0,21 \text{ mC kg}^{-1}$ , valor que está abaixo do nível mínimo de  $0,80 \text{ mC kg}^{-1}$ , que torna a pulverização eletrostática mais eficiente de acordo com Carlton (1995). Isso pode ser explicado devido a característica peculiar do sistema eletrostático estudado, que não possui um sistema próprio de geração de tensão, já que a corrente contínua gerada a partir do motor 2 tempos, apresentava picos, mas as leituras do multímetro foram efetuadas no modo instantâneo, com valores abaixo dos picos, a fim de não superestimar a eletrificação das gotas. A respeito disso, Sasaki et al. (2013b), ao avaliarem a relação Q/M a diferentes distâncias de pulverização (0, 1, 2, 3, 4 e 5 m) em gaiola de Faraday e a deposição de líquido sobre o alvo, concluíram que não há relação Q/M ideal para a pulverização eletrostática, no entanto, quanto maior é a relação, melhor é a eficiência da aplicação. A relação Q/M mínima encontrada por Sasaki et al. (2013b) que aumentou o depósito de calda com o sistema eletrostático foi de  $0,60 \text{ mC kg}^{-1}$ .

Mamidi et al. (2012), ao estudarem a deposição de calda a partir de um pulverizador costal manual, adaptado a um sistema eletrostático, constataram que a

melhor eficiência da pulverização se deu com uma relação Q/M de 0,37 mC kg<sup>-1</sup>, com uma tensão aplicada de 3,30 kV e vazão de 0,34 L min<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram obtidos por Laryea e No (2005). Ao estudarem a influência da velocidade do fluxo de ar no bocal de um pulverizador eletrostático nas forças eletrostáticas na copa de árvores de maçãs, através da análise da deposição da calda em comparação com pulverização convencional, também demonstraram que valores inferiores a 0,8 mC kg<sup>-1</sup> podem causar aumento da deposição no alvo. Estes autores trabalharam com uma relação Q/M de 0,28 mC kg<sup>-1</sup>, a partir de uma tensão de 4 kV e vazão de 0,56 L min<sup>-1</sup>.

Na Figura 8, é apresentada a variação na relação Q/M conforme distanciou-se o bocal do pulverizador eletrostático da entrada da gaiola de Faraday (Experimento 2). Observa-se que à medida que se distanciou o pulverizador da gaiola, houve redução na relação Q/M gerada pela calda eletrificada de pulverização. Optou-se por um modelo linear porque a redução na relação Q/M foi constante, e observou-se que o aumento de 1 m na distância entre o pulverizador e a gaiola provoca a redução de 0,0412 vezes na relação Q/M.

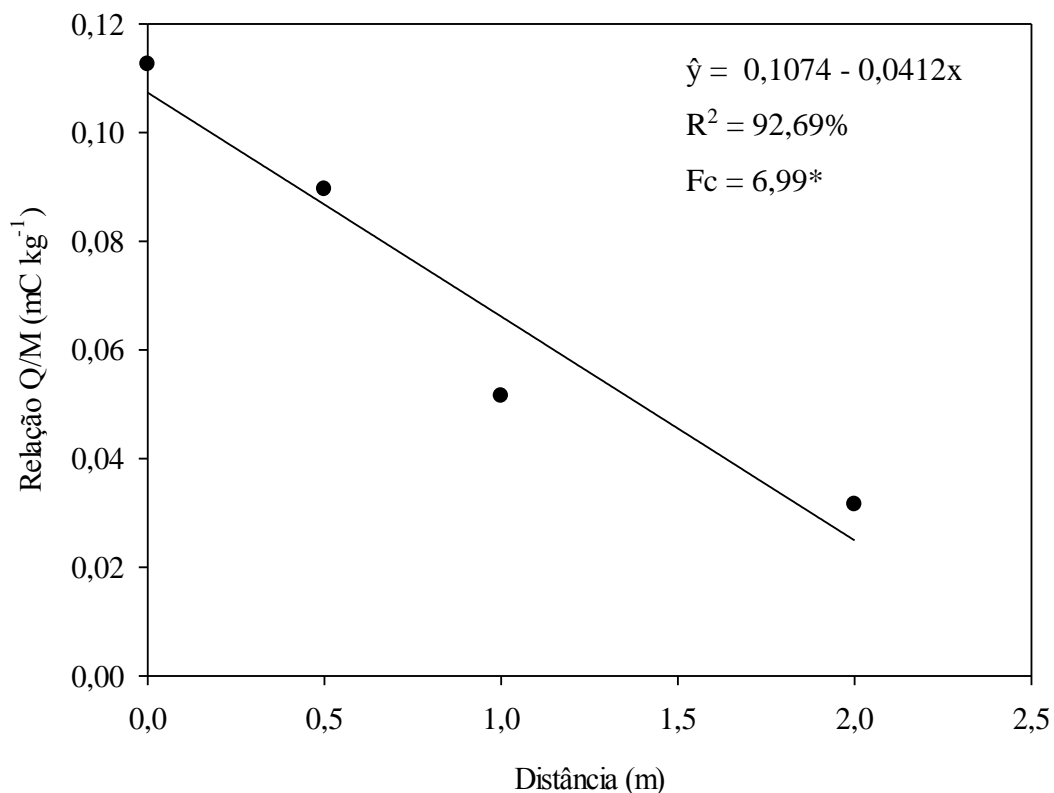


FIGURA 8. Relação Q/M em função da distância entre o bocal do pulverizador e a gaiola de Faraday. \*regressão significativa a 0,05.

A partir da Figura 8, é possível observar a importância da distância entre o alvo e o bocal do pulverizador. Além disso, essa distância também é importante no estudo da relação Q/M do jato de gotas em gaiola de Faraday, e influencia diretamente nos resultados obtidos. Usando a gaiola como referência, percebeu-se que para alvos mais distantes do bocal de indução eletrostática, a pulverização perde eficiência. Uma possibilidade que explica esses resultados pode ser devido a perda da carga eletrostática durante a trajetória entre o bocal e o alvo. Outra possibilidade pode ser também a perda de calda para o ambiente através de deriva ou evaporação, pois tratam-se de gotas com diâmetros reduzidos.

Zhao, Castle e Adamiak (2008) defendem que a distância do bocal do pulverizador com o alvo é um ponto importante na eficiência da pulverização eletrostática. Estes autores afirmam que quanto maior esta distância maior será a perda de carga da gota, além de facilitar também o efeito de deriva dessas gotas. Por isso, segundo estes autores, a distância entre o pulverizador e o alvo é um fator que deve ser cuidadosamente estudado.

Sasaki et al. (2013b) verificaram que a relação Q/M é inversamente proporcional à distância entre o pulverizador e o alvo, isto é, conforme distancia-se o bocal do pulverizador, diminui-se a relação Q/M nas gotas geradas, assim como foi encontrado no presente trabalho. Quanto a isso, Sasaki et al. (2013b) explicam que em maiores distâncias do alvo, maiores são os caminhos percorridos pelas gotas. Como as gotas enfrentam a resistência do ar, há perda de carga elétrica durante a trajetória até o alvo, com a redução da relação Q/M. Além disso, as gotas menores podem ter mais tendência a se distanciarem do alvo pela força do vento e/ou evaporarem durante o percurso, prejudicando também a relação Q/M.

O pH, a condutividade elétrica, a densidade, a viscosidade dinâmica e a tensão superficial de todas as caldas estudadas no experimento 3 estão apresentados na Tabela 2. Em geral, a adição de produtos às caldas aumentou todos os parâmetros em comparação a calda AG. O pH ficou entre 7,64 e 7,99, sendo que apenas a calda OV caracterizou-se com um pH semelhante ao da calda AG. A condutividade elétrica, em relação à calda AG, foi menor apenas na calda OV, e o maior aumento ocorreu na calda EA. A densidade e a viscosidade dinâmica da calda AG foi semelhante às caldas EA e IN, respectivamente. Já a tensão superficial foi menor nas caldas OM e EA.

Cunha e Alves (2009), ao avaliarem o efeito da adição de adjuvantes, em diferentes doses, nas propriedades físico-químicas de soluções aquosas, concluíram que



o comportamento das características das caldas não é semelhante, mesmo para produtos com mesma indicação de uso. Além disso, o pH, a tensão superficial e a viscosidade são as propriedades mais sensíveis à adição dos adjuvantes.

TABELA 2. Propriedades físico-química das caldas: água potável (AG), água potável + óleo mineral (OM), água potável + óleo vegetal (OV), água potável + espalhante adesivo (EA) e água potável + inseticida (IN)

Caldas	pH	Cond. elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Densidade (g $\text{cm}^{-3}$ )	Viscosidade dinâmica (mPa s)	Tensão superficial (mN m <sup>-1</sup> )
AG	7,81 b	18,25 c	1,00 c	2,00 d	80,90 d
OM	7,99 a	18,42 b	0,97 ab	4,14 b	45,12 a
OV	7,74 b	18,05 d	0,95 a	4,43 a	46,92 b
EA	7,64 c	18,98 a	0,98 bc	3,13 c	44,72 a
IN	7,95 a	18,42 b	0,96 ab	2,10 d	60,97 c
Fc	42,99*	100,56*	7,76*	746,61*	2756,55*
W	20,239	<b>3,636</b>	<b>1,368</b>	<b>2,342</b>	<b>1,984</b>
F <sub>Levene</sub>	<b>0,946</b>	<b>0,892</b>	<b>0,950</b>	<b>0,903</b>	<b>0,931</b>
C.V. (%)	0,56	0,37	1,36	2,59	1,07

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Fc; W; F<sub>Levene</sub>: valor do F calculado; estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente. C.V: coeficiente de variação. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01. \*significativo a 0,01.

A relação Q/M e a amplitude relativa (AR) do espectro de gotas, estudados no experimento 3, são apresentados na Tabela 3, para os quais não houve interação entre os fatores estudados. Tanto as caldas de pulverização quanto as vazões influenciaram estes parâmetros, que apresentaram diferenças entre si. Este fato mostra que, apesar da pulverização eletrostática ser influenciada tanto pela composição das caldas de pulverização, quanto pelas vazões pulverizadas, estes fatores atuam independentemente entre si no sistema eletrostático.

Em relação à calda de pulverização, a relação Q/M aumentou com a adição do óleo mineral (OM), do óleo vegetal (OV) e do inseticida (IN), no entanto, não houve alteração da mesma com a adição do espalhante adesivo (EA). Por isso, os componentes da calda de pulverização são fatores relevantes na eficiência da pulverização eletrostática, no entanto, a alteração da relação Q/M depende da substância adicionada.

A adição de adjuvantes à calda reduziu a amplitude relativa em comparação com as pulverizações apenas com água (AG), com exceção da calda IN que não se diferenciou da calda AG.

TABELA 3. Influência das caldas de pulverização na relação Q/M gerada pela pulverização eletrostática em gaiola de Faraday e na amplitude relativa (AR) do espectro de gotas

Caldas	Relação Q/M (mC kg <sup>-1</sup> )	AR
AG	0,072 b	1,658 c
OM	0,095 a	1,561 a
OV	0,096 a	1,579 a
EA	0,081 ab	1,597 ab
IN	0,094 a	1,640 bc
Fc	4,87*	13,52*
W/K-S	<b>0,982</b>	0,631
F <sub>Levene</sub>	3,616	5,966
C.V.(%)	24,79	3,11

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Fc; W/K-S; F<sub>Levene</sub>: valor do F calculado; estatística dos testes de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, e de Levene, respectivamente. C.V: coeficiente de variação. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal a 0,01. \*significativo a 0,01.

Sasaki et al. (2015), em estudo para avaliar o efeito da adição de nove adjuvantes à calda de pulverização, quanto às propriedades físicas do líquido, à eficiência de eletrificação e ao espectro de gotas produzido na pulverização eletrostática, concluíram que ao alterar as propriedades da calda, pode também ocorrer alterações dos parâmetros técnicos da pulverização, assim como constatado no presente trabalho. Segundo estes autores, o uso de adjuvantes na pulverização eletrostática pode melhorar a eficiência da tecnologia, pois aumenta a carga elétrica da gota e a força de atração entre o alvo e a gota. Observaram ainda que caldas com produtos que aumentam a condutividade elétrica tendem a apresentar maior relação Q/M, enquanto que caldas com produtos que reduzem esta característica causam a diminuição da relação Q/M.

Maski e Durairaj (2010), ao estudarem a influência da densidade, viscosidade dinâmica, condutividade elétrica e constante dielétrica de caldas de pulverização na eficiência da indução de carga elétrica em pulverização eletrostática, concluíram que caldas com maiores condutividades elétricas devido à adição de adjuvantes

apresentaram também maiores cargas elétricas. Sasaki et al. (2015), por sua vez, verificaram que diversas caldas, mesmo com a adição de produtos, não diferiram da testemunha, isto é, apresentaram a mesma relação Q/M que a calda somente com água, o que também foi verificado no presente trabalho. Observações semelhantes foram obtidas por Maski et al. (2004) e Maski (2005).

Na figura 9, é apresentada a curva de regressão da relação Q/M conforme aumentaram-se as vazões no experimento 3.

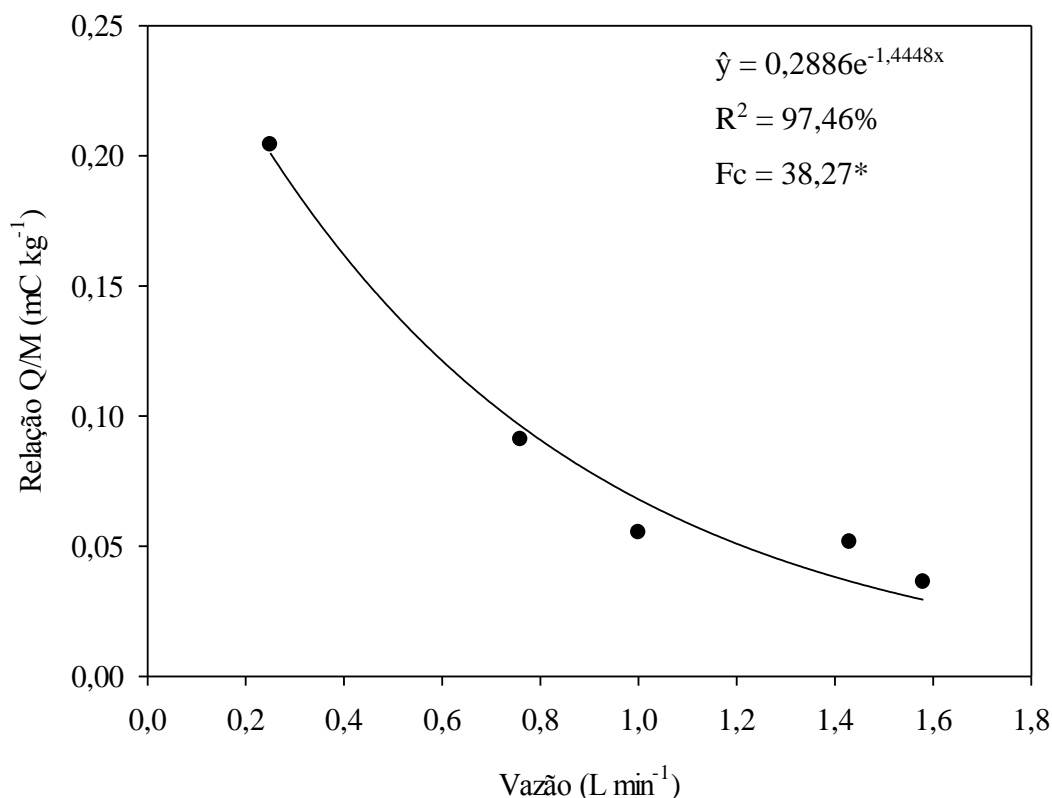


FIGURA 9. Curva da relação Q/M em função da vazão (Experimento 3). \*significativo a 0,01.

As vazões pulverizadas, assim como a composição das caldas de pulverização, também influenciaram na relação Q/M. Conforme aumentou-se a vazão de aplicação na gaiola de Faraday, houve redução na relação Q/M, resultado também obtido no teste de vazão do experimento 1. Constatou-se, assim, que quanto maior a massa de líquido pulverizado, maior a carga necessária para eletrificação da calda. Porém, nas três maiores vazões a curva tendeu a estabilizar-se sem expectativa de crescimento, por isso a opção por um modelo exponencial. Esta tendência de estabilização também foi obtida por Magno Júnior et al. (2014), que não verificaram diferenças na relação Q/M nas mais

altas vazões estudadas, de 1,50 e 1,90 L min<sup>-1</sup>. Estes resultados mostram que em vazões mais altas, há uma tendência em diminuir a queda na relação Q/M.

Na Figura 10, é apresentada a curva de regressão da amplitude relativa (AR) do espectro de gotas gerado pelas pulverizações no experimento 3.

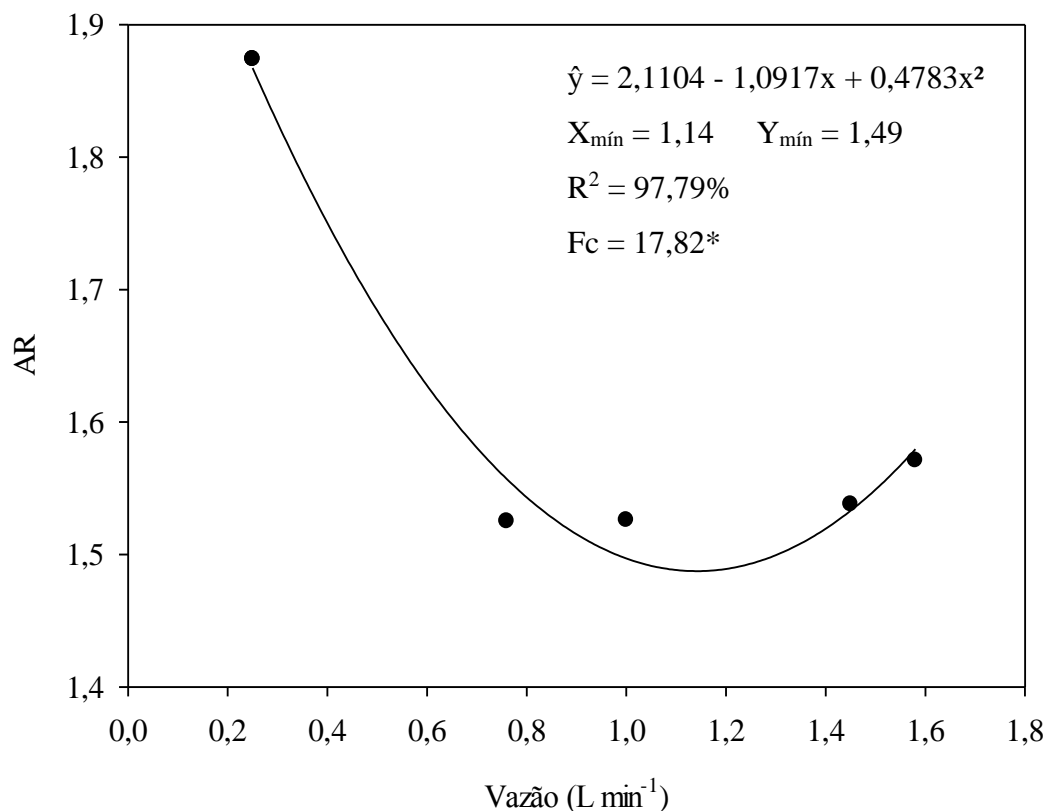


FIGURA 10. Amplitude relativa do espectro de gotas em função da vazão (Experimento 3). \*regressão significativa a 0,01.

Quanto a AR, esta foi maior ao pulverizar-se com a menor vazão. Sobre isso, Sasaki et al. (2015) afirmaram que o espectro deve ser o mais homogêneo possível, de forma que quanto mais próximo de zero for a AR, mais homogêneo é o espectro, maiores as chances de atingir o alvo e reduzir perdas para o ambiente.

As interações entre os fatores caldas e vazões em relação ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e à percentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100 µm (Dv<100 µm) estão apresentadas na Tabela 4. Para as caldas de aplicação, a classificação das médias ocorre com letras minúsculas, enquanto que a comparação das vazões ocorre por meio das curvas de regressão.

TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ , %) em função da interação entre a composição da calda e a vazão de pulverização eletrostática

DMV ( $\mu\text{m}$ )						
Caldas	Vazões ( $\text{L min}^{-1}$ )					Média
	0,25	0,76	1,00	1,45	1,58	
AG	82,74 c	92,39 d	91,97 c	93,53 cd	95,78 d	91,28
OM	68,51 a	71,20 a	74,94 a	77,97 a	85,32 b	75,59
OV	71,46 a	78,92 b	83,67 b	83,29 b	76,60 a	78,79
EA	79,30 bc	83,75 c	94,69 c	89,92 c	89,50 c	87,43
IN	76,50 b	81,86 bc	81,70 b	94,20 d	87,58 bc	84,37
Média	75,70	81,62	85,39	87,78	86,95	
$F_{c^{int}}$ : 14,06*; W: 0,932; $F_{Levene}$ : 2,659; C.V. (%): 2,30						
$D_v < 100 \mu\text{m}$ (%)						
Caldas	Vazões ( $\text{L min}^{-1}$ )					Média
	0,25	0,76	1,00	1,45	1,58	
AG	62,49 a	55,25 a	55,57 a	54,34 ab	52,72 a	56,07
OM	79,04 d	75,24 d	71,23 c	67,78 d	61,37 c	70,93
OV	74,93 c	66,60 c	62,76 b	63,02 c	68,53 d	67,17
EA	66,33 b	62,47 b	53,80 a	57,26 b	57,52 b	59,48
IN	68,75 b	63,51 bc	63,41 b	54,02 a	58,68 bc	61,67
Média	70,31	64,61	61,35	59,28	59,76	
$F_{c^{int}}$ : 14,78*; W: 0,958; $F_{Levene}$ : 2,832; C.V. (%): 2,50						

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05.  $F_{c^{int}}$ : valor do F calculado para a interação entre caldas e vazões. W;  $F_{Levene}$ : estatística dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente. C.V: coeficiente de variação. \*significativo a 0,01.

A adição de substâncias à água reduziu o diâmetro das gotas pulverizadas, em comparação com as pulverizações apenas com água (AG). Em relação à porcentagem de gotas com diâmetros menores que 100  $\mu\text{m}$ , a calda AG apresentou menor valor de gotas pulverizadas com diâmetros reduzidos. Nota-se que a adição de substâncias à calda de pulverização, ao reduzir o diâmetro das gotas pulverizadas, aumenta a porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ . Sobre estes parâmetros, a adição de óleo mineral designou

maiores diferenças em relação à calda apenas com água, ao gerar gotas com os menores DMVs.

Cunha, Alves e Reis (2010), ao avaliarem o efeito da temperatura da calda (5°C, 15°C e 25°C) e da adição de adjuvantes de uso agrícola nas características físico-químicas de soluções aquosas para aplicação de agrotóxicos, constataram redução no tamanho das gotas pulverizadas. Segundo estes autores, esse efeito depende da composição química e da formulação da calda, já que o comportamento dessas características não é semelhante mesmo para produtos com mesma indicação de uso. Por isso, Bueno, Cunha e Alves (2011), ao estudarem o espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata, não observaram alterações do DMV com o uso de adjuvantes.

Sasaki et al. (2015) também observaram que, em geral, a adição de adjuvantes à calda de pulverização eletrostática tem tendência em reduzir o diâmetro das gotas formadas, no entanto, nem todas as substâncias estudadas atuaram dessa forma. Por isso, Cunha, Alves e Reis (2010) defendem que o efeito da adição de um adjuvante não pode ser generalizado, já que a tecnologia para quebra de gotas também influencia na caracterização do espectro. No trabalho de Sasaki et al. (2015), o sistema de fragmentação de líquido foi o pneumático, assim como o presente trabalho, fato que influenciou os resultados, de acordo com os autores. Além disso, para Sasaki et al. (2015), o método de carregamento elétrico e a geometria do eletrodo do sistema eletrostático também podem influenciar no espectro de gotas, o que pode explicar os resultados aqui obtidos.

Na Figura 11, são apresentadas as curvas de regressão do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e da percentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ , %), para cada uma das caldas estudadas. Já na Tabela 5, estão apresentadas as equações, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), os pontos críticos e o valor de F calculado para os modelos das regressões, representados na Figura 11.

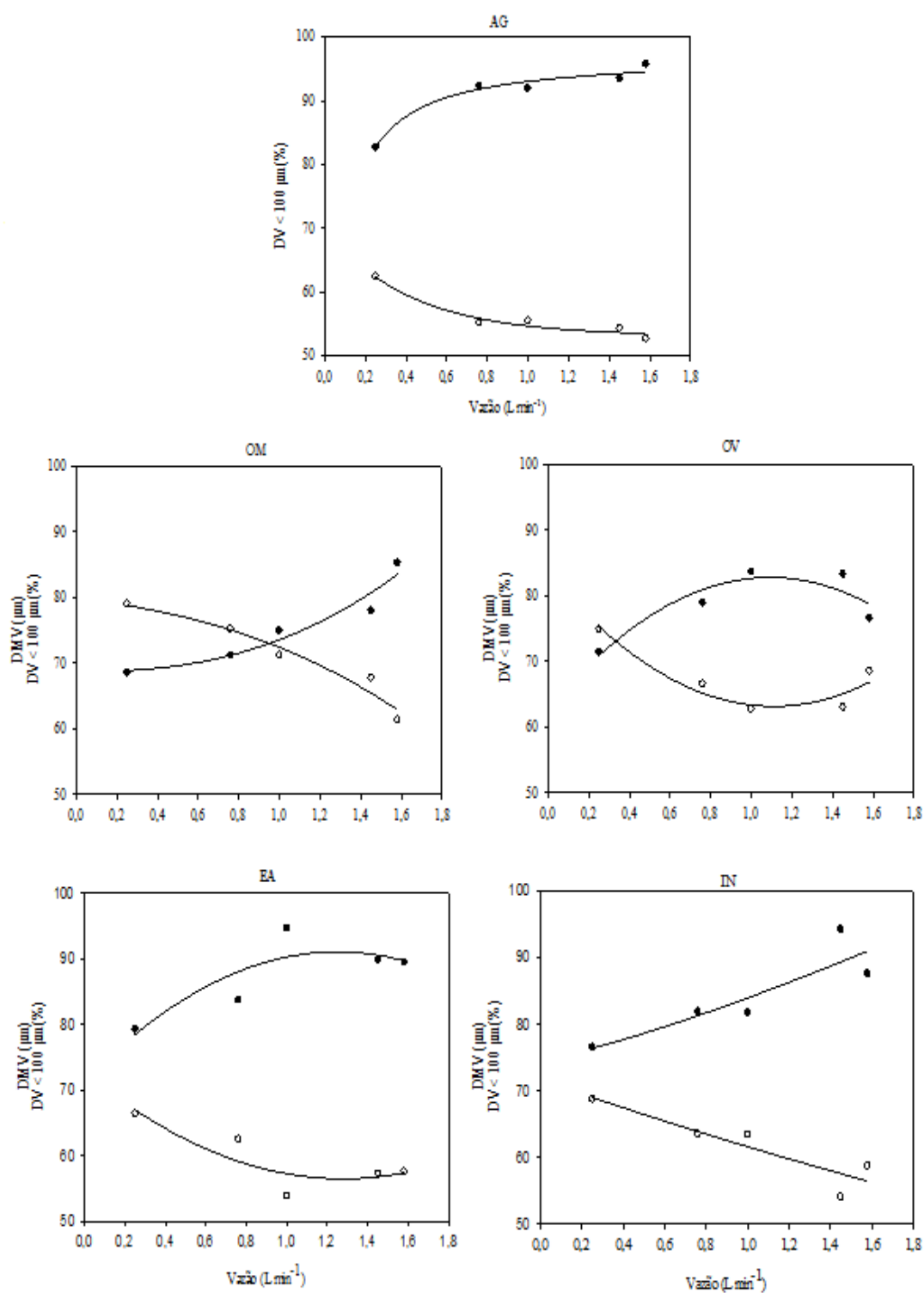


FIGURA 11. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e percentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ ) (Experimento 3), para as caldas a base de água (AG), óleo mineral (OM), óleo vegetal (OV), espalhante adesivo (EA) e inseticida (IN), em função da vazão.

TABELA 5. Equações, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), pontos críticos e valor de F calculado dos modelos de regressões representados na Figura 11

Caldas	Equações	$R^2$ (%)	Fc
AG	DMV: $\hat{y} = 97,1128x/(0,0435 + x)$	96,33	26,18*
	Dv<100 $\mu\text{m}$ : $\hat{y} = 53,1986 + 16,8253 e^{-2,3995x}$	95,95	10,86*
OM	DMV: $\hat{y} = 68,7088 + 4,8861x^{2,4133}$	92,45	21,39*
	Dv<100 $\mu\text{m}$ : $\hat{y} = 83,0496/(1 + e^{[-(x - 2,4272)/-0,7440]})$	95,01	35,44*
OV	DMV: $\hat{y} = 62,7769 + 36,7065x - 16,8208x^2$	83,15	11,60*
	$X_{\text{máx}} = 1,09$ $Y_{\text{máx}} = 82,80$		
	Dv<100 $\mu\text{m}$ : $\hat{y} = 83,4392 - 36,5514x + 16,4871x^2$	90,18	17,94*
	$X_{\text{mín}} = 1,11$ $Y_{\text{mín}} = 63,18$		
EA	DMV: $\hat{y} = 71,3987 + 31,5071x - 12,6029x^2$	72,69	14,11*
	$X_{\text{máx}} = 1,25$ $Y_{\text{máx}} = 91,09$		
	Dv<100 $\mu\text{m}$ : $\hat{y} = 72,6681 - 25,3451x + 9,9132x^2$	75,55	28,81*
	$X_{\text{mín}} = 1,28$ $Y_{\text{mín}} = 56,47$		
IN	DMV: $\hat{y} = 77,1557 + 14,3826/(1 - e^{[-(x - 1,0344)/0,1830]})$	80,44	13,29*
	Dv<100 $\mu\text{m}$ : $\hat{y} = 74,7336 + 9,1885x^{1,2434}$	77,74	28,46*

\*regressões significativas a 0,05

A partir destas curvas, em geral nota-se que os DMVs foram maiores conforme aumentaram-se as vazões e, conseqüentemente, menores as porcentagens de gotas com diâmetros reduzidos.

De maneira semelhante ao presente trabalho, Sasaki et al. (2013a), ao estudarem a utilização da pulverização eletrostática na cultura do café, com pulverizador pneumático, quanto à deposição e à uniformidade de distribuição da calda de aplicação, verificaram diâmetros de 57,0  $\mu\text{m}$ , considerados pequenos para as gotas produzidas.

Quanto ao percentual de gotas com diâmetro abaixo de 100  $\mu\text{m}$ , Sasaki et al. (2013a) obtiveram valores médios da ordem de 60%, muito próximos dos observados no presente trabalho, que foram entre 56% e 70%. A respeito disso, Arvidsson et al. (2011), ao estudarem as perdas de gotas em pulverização, influenciado por fatores meteorológicos e técnicos em pulverizador de barra convencional em campos de pastagens e culturas de cereais, a fim de obter dados para tomada de decisão na aplicação de agrotóxicos, afirmaram que a porcentagem de gotas com diâmetro menor que 102  $\mu\text{m}$  é o melhor parâmetro para prever o risco de deriva.



Resultados semelhantes quanto aos diâmetros das gotas pulverizadas foram obtidos por Magno Júnior et al. (2014), que observaram, ao aumentar a vazão do pulverizador pneumático, o aumento no tamanho de gotas, já que a quantidade de ar gerada pela turbina permanece constante para fragmentar uma massa maior de líquido. Além disso, a adição de produtos à calda reduziu o diâmetro das gotas pulverizadas, já que a calda AG apresentou os maiores DMVs e as menores porcentagens de gotas com diâmetros menores que 100  $\mu\text{m}$ . A calda EA, por sua vez, foi a que apresentou a maior quantidade de valores semelhantes ou próximos aos da calda AG. Por outro lado, a calda OM foi a que gerou gotas com os menores diâmetros.

Estes resultados mostram que as alterações no espectro de gotas também influenciam na eficiência da pulverização eletrostática, pois com a redução das vazões e dos diâmetros de gotas pulverizadas, houve aumento da relação Q/M. Dessa forma, há indicação que, além da composição da calda e da massa de líquido pulverizado, a dimensão das gotas também afeta a pulverização eletrostática, ou seja, gotas com diâmetros menores exigem menores quantidades de carga para sua eletrificação. Há que se salientar que no equipamento estudado ao se alterar a vazão, também ocorre modificação no espectro de gotas gerado.

Apesar de Maski e Durairaj (2010) e Sasaki et al. (2015), afirmarem que a adição de adjuvantes pode favorecer a eficiência da pulverização eletrostática através do aumento da condutividade elétrica das caldas, isto não foi observado no presente trabalho. Apesar dos produtos terem aumentado a condutividade elétrica das caldas em comparação com a calda AG, isto não se refletiu na tendência da relação Q/M, pois a calda EA com maior condutividade elétrica, apresentou a relação Q/M semelhante à gerada pela calda AG. Contudo, embora estatisticamente as caldas tenham se diferenciado quanto à condutividade elétrica, a diferenciação numérica foi pequena, o que pode ter contribuído para a não influência na relação Q/M. Outra propriedade que pode ter influenciado na relação Q/M é a densidade das caldas, sobre as quais nota-se que a calda EA foi semelhante a calda AG. As caldas OM, OV e IN, que apresentaram menores densidades, resultaram em maiores relações Q/M (Tabela 3).

Além disso, é possível verificar que a redução nos diâmetros das gotas pulverizadas acompanha o aumento da relação Q/M, isto é, as caldas que apresentaram os menores DMVs também resultaram em maiores relações Q/M. A calda EA, que apresentou relação Q/M semelhante à da calda AG (Tabela 3), foi a que também gerou DMV e  $D_v < 100 \mu\text{m}$  mais semelhantes aos da água (Figura 11). As caldas OM e OV,

por sua vez, apresentaram os menores DMVs e mais se diferenciaram de AG neste aspecto, por isso a relação Q/M foi maior nessas caldas. Infere-se então que no presente trabalho as diferenças encontradas na eficiência da eletrificação das caldas foram, além de influenciadas pelas vazões, provavelmente devido às alterações nos espectros de gotas, e não pelo aumento da condutividade elétrica.

Chaim et al. (2002), ao avaliarem um bocal eletrostático adaptável em pulverizador costal motorizado e verificarem a influência da tensão de indução e vazão de líquido na intensidade da carga das gotas, bem como o efeito da carga na deposição de marcador, afirmaram que o tamanho das gotas influencia diretamente na relação Q/M, pois quanto menor os diâmetros das gotas, mais facilmente ocorre o carregamento das mesmas.

Nascimento et al. (2012), ao estudarem a influência de adjuvante na deposição da calda de pulverização com glifosato, aplicada com três pontas de pulverização (jato plano comum, jato plano com pré-orifício e jato plano com indução de ar) e em condições distintas de temperatura e umidade relativa do ar, constataram que as gotas pulverizadas devem ser suficientemente grandes para não se perderem por evaporação, e pequenas o suficiente para fornecerem uma boa cobertura do alvo. Por isso, Sasaki et al. (2015) afirmaram que se, por um lado, gotas pequenas proporcionam maior cobertura do alvo e favorecem a eletrificação das gotas, por outro, são altamente susceptíveis à evaporação e deriva.

Para Magno Júnior et al. (2014), mesmo com o uso da pulverização eletrostática, em que a força de atração entre a gota e o alvo pode ser aumentada, o uso de taxas muito reduzidas em pulverizadores pneumáticos pode prejudicar a cobertura do alvo, devido à deriva e evaporação, com risco de prejudicar a eficácia de controle e selecionar biótipos resistentes das pragas e doenças aos agrotóxicos.

Por outro lado, se a pulverização eletrostática for empregada com critérios técnicos, atentando-se às condições meteorológicas, ao momento correto de aplicação e às características do alvo e da cultura, além de favorecer o manejo fitossanitário, pode também levar a uma redução na taxa de aplicação e, conseqüentemente, redução da contaminação ambiental e dos operadores.

## 4 CONCLUSÕES

A vazão, a distância entre o bocal do pulverizador e o alvo e a composição da calda de aplicação influenciam a eficiência da pulverização eletrostática.

O aumento da vazão de aplicação e da distância entre o bocal do pulverizador e o alvo reduzem a relação  $Q/M$  gerada pela pulverização eletrostática.

Cada produto adicionado à calda de aplicação influencia de maneira peculiar a pulverização eletrostática, independente das características físico-químicas.

A composição das caldas de aplicação e a vazão influenciam no espectro de gotas da pulverização pneumática.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.8, p.622-629, 2014.
- ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pesticide Management Science**, Londres, v. 67, n. 5, p.586-598, 2011.
- BAYER, T.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.192-198, 2011.
- BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Estudo do espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 54, n. 3, p. 225-234, 2011.
- CARLTON, J. B.; BOUSE, L. F.; KIRK, I. W. Electrostatic charging of aerial spray over cotton. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 6, p. 1641-1645, 1995.
- CHAIM, A. Aperfeiçoamento de bico de pulverização eletrostática para geração de gotas com alto nível de carga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 463-470, 1998.
- CHAIM, A. PESSOAL, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Eficiência de deposição de agrotóxicos obtida com bocal eletrostático para pulverizador costal motorizado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p.497-501, 2002.
- CHAIM, A. **Pulverização eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 17p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, n.57).
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; REIS, E. F. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 665-672, 2010.
- DOBBINS, T. Electrostatic spray heads convert knapsack mistblowers to electrostatic operation. **International Pest Control**. Londres, v. 37, n. 5, p. 155-158, 1995.
- DOPIERALA, K.; PROCHASKA, K. The effect of molecular structure on the surface properties of selected quaternary ammonium salts. **Journal of colloid and interface science**, San Diego, v. 321, n. 1, p. 220-226, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensaios de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

HOFFMANN, W. C.; FAROOQ, M.; WALKER, T. W.; FRITZ, B.; SZUMLAS, D.; QUINN, B.; BERNIER, U.; HOGSETTE, J.; LAN, Y.; HUANG, Y.; SMITH, V. L.; ROBINSON, C.A. Canopy penetration and deposition of barrier sprays from electrostatic and conventional sprayers. **Journal of the American Mosquito Control Association**. Washington, v. 25, n. 3, p. 323-331, 2009.

LARYEA, G. N.; NO, S. Y. Effect of fan speed and electrostatic charge on deposition of orchard canopy sprays. **Atomization and Sprays**, Danbury, v. 15, n. 2, p. 133-144, 2005.

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, L. B.; FERREIRA, L. R.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.5, p. 798-804, 2011.

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; RODRIGUES, D. E.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrostático para pulverizador pneumático costal. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 9-16, 2014.

MAMIDI, V. R.; GHANSHYAM, C.; KUMAR, M. P.; REDDY, K. V.; KAPUR, P. Electrostatic hand pressure swirl nozzle for small crop growers. **International Journal of Applied Science & Technology Research Excellence**, Nova Deli, v. 2, n. 2, p.164-168, 2012.

MAMIDI, V. R.; GHANSHYAM, C.; KUMAR, M. P.; KAPUR, P. Electrostatic hand pressure knapsack spray system with enhanced performance for small scale farms. **Journal of Electrostatics**, Londres, v. 71, n. 4, p. 785-790, 2013.

MASKI, D.; DIVAKER DURAIRAJ, C.; PUSHPA, T. Characterization of spray liquids for electrostatic charging. **Institution of Engineers**, Calcutá, v. 85, n. 1, p. 33-36, 2004.

MASKI, D. Spray chargeability studies and data modeling using electrostatic spraying system for drift mitigation. In: ASAE Annual International Meeting. **Anais...**, St. Joseph.: ASAE, 2005. (Paper nº 051153).

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**, Londres, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010.

MAYNAGH, B. M.; GHOBADIAN B; JAHANNAMA M. R.; HASHJIN, T. T. Effect of Electrostatic Induction Parameters on Droplets. Charging for Agricultural Application. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehran, v. 11, n. 3, p. 249-257, 2009.

MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.28, n.1, p.1-5, 2013.

NASCIMENTO, A. B.; OLIVEIRA, G. M.; BALAN, M. G.; HIGASHIBARA, L. R.; ABI SAAB, O. J. G. Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.2, p.105-116, 2012.

PATEL, M. K.; GHANSHYAM, C.; V. REDDY MAMIDI, V. R.; KAPUR, P. Performance and characterization of different material electrodes in electrostatic pesticide spraying nozzle system. **International Journal of Applied Science & Technology Research Excellence**, Nova Deli, v. 2, n. 2, p. 158-163, 2012.

PORTO, F.; GURGEL, J.; RUNGE, A.; RUSSOMANO, T.; GUIMARÃES, A. C. S.; VAZ, M. A. Replicabilidade da emgs do exercício rosca bíceps após período de 10 minutos. In: Congresso Brasileiro de Biomecânica, 11, 2005, João Pessoa, **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 2005.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. B.; RODRIGUES, D. E. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.9, p.1605-1609, 2013a.

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

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; SANTIAGO, H.; MADUREIRA, R. P.; MACIEL, C. F. S.; FERNANDES, H. C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 274-279, 2015.

SIMMONS, H. C.; LEHTINEN, J. R. Characteristics of electrostatically charged air atomized spray for pesticide application. **Pesticide Formulation and Application Systems**, West Conshohocken , v. 7, s/n p. 116-132, 1986.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**: the principles and practice of statistics in biological research. 3<sup>a</sup> ed., New York: W. H. Freeman, 1995. 937p.

SPINDOLA, M. M. **Habilidade cognitiva espacial: medida com eletroencefalografia**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Informática) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.

SYSTAT SOFTWARE, Inc. **SigmaPlot for Windows, version 12.0**. Chicago, IL, 2011.

TAVARES, R. M.; CUNHA, J. P. A. R.; NAVES, M. G.; BUENO, M. R.; ALVES, G. S. Deposição de calda em plantas de soja empregando pulverizador com barra convencional e barra auxiliar. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 5, n. 1, p. 87-104, 2014.

ZHAO, S.; CASTLE, G. S. P.; ADAMIAK, K. Factors affecting deposition in electrostatic pesticide spraying. **Journal of Electrostatics**, Londres, v. 66, n. 1, p. 594-601, 2008.

### **CAPÍTULO III**

#### **USO DA PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NO CONTROLE QUÍMICO DO PSILÍDEO *Triozoida limbata* (ENDERLEIN) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EM GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.)**



**USO DA PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA NO CONTROLE QUÍMICO DO  
PSILÍDEO *Triozoida limbata* (ENDERLEIN) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EM  
GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.)**

**RESUMO**

Em função da dificuldade em se atingir o alvo durante as aplicações de agrotóxicos na cultura da goiaba (*Psidium guajava* L), é importante o estudo de tecnologias que favoreçam essas aplicações, como a pulverização eletrostática. O presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de pulverizações eletrostáticas e convencionais no controle do psilídeo-da-goiabeira, bem como a deposição e as perdas de calda das folhas para o solo e o espectro das gotas pulverizadas. Em um pomar de goiaba cultivar Paluma, utilizou-se um pulverizador pneumático costal a uma vazão de 1,45 L min<sup>-1</sup>, com um kit de conversão eletrostático. O inseticida utilizado foi o imidacloprido na dose de 2,5 mL por planta. Efetuaram-se dois estudos simultâneos, ambos em duplicata (duas épocas), para avaliar o controle da praga e o desempenho das tecnologias de aplicação. Conduziu-se um estudo em delineamento de blocos casualizados com cinco tratamentos (testemunha sem aplicação; 600 L ha<sup>-1</sup> em pulverização convencional e 300, 200 e 100 L ha<sup>-1</sup> com pulverização eletrostática) e quatro repetições. Cada parcela foi constituída por cinco plantas, as três centrais consideradas para amostragem de eficácia de controle. Avaliou-se previamente a porcentagem de folhas infestadas por psilídeo em ramos marcados e coletaram-se 12 folhas por parcela para contagem de ninfas. Repetiram-se as avaliações aos 7, 12 e 14 dias após a 1ª aplicação. Conduziu-se outro estudo em blocos casualizados e parcelas subdivididas, com quatro repetições. As quatro formas de aplicação constituíram as parcelas, e os quadrantes das plantas (Q1, Q2, Q3 e Q4) foram as parcelas subdivididas. Avaliaram-se a deposição de calda nas folhas, as perdas de calda para o solo em placas de Petri e o espectro de gotas em papel hidrossensível. A área útil de cada parcela foi as três plantas centrais da mesma, nas quais foram coletadas uma folha por quadrante e, para as avaliações das perdas e do espectro, considerou-se apenas a planta central. Para a avaliação da deposição e das perdas, adicionou-se à calda de aplicação o marcador Azul Brilhante para ser detectado por absorbância em espectrofotometria. Para avaliação do espectro, utilizou-se um programa computacional. A pulverização eletrostática foi eficiente no manejo de psilídeo, proporcionou maior deposição de calda, menores perdas para o solo e afetou o espectro das gotas geradas. Portanto, é possível reduzir taxas convencionais de aplicação, com a pulverização eletrostática, sem prejudicar o controle do psilídeo-da-goiabeira.

**PALAVRAS-CHAVE:** tecnologia de aplicação, taxa de aplicação, eletrificação de gotas, pulverizador pneumático, *Psidium guajava*.

**USE OF ELECTROSTATIC SPRAYING FOR THE CHEMICAL CONTROL  
OF THE PSYLLID *Triozoida limbata* (ENDERLEIN) (HEMIPTERA:  
TRIOZIDAE) IN GUAVA (*Psidium guajava* L.)**

**ABSTRACT**

Because it is so difficult to reach the target in pesticide spraying in guava (*Psidium guajava* L.) orchards, the study of spraying technologies that favor the process, such as electrostatic spraying, is important. This study evaluated the performance of electrostatic and conventional spraying on the control of the guava psyllid, as well as the deposition and losses of the mixture on the leaves and to the soil, and the spectrum of sprayed droplets. A backpack sprayer coupled with an electrostatic conversion kit was evaluated in a guava orchard of cultivar Paluma, at a flow rate of 1.45 L min<sup>-1</sup>. The insecticide imidacloprid was used at the dose 2.5 mL per plant. Two simultaneous studies were done, both in duplicate (two seasons), to evaluate the pest control and the performance of spraying technologies. The experimental design was in randomized blocks, with five treatments (non sprayed control, 600 L ha<sup>-1</sup> in conventional spraying, and 300, 200 or 100 L ha<sup>-1</sup> in electrostatic spraying), with four replications. Each plot consisted of five plants, and control efficacy was determined in the three central ones. A previous evaluation of leaf infestation by the psyllid was done in marked branches and 12 leaves were collected in each plot to count the nymphs. Evaluations were done at 7, 12 and 14 days after spraying. Another study was done in randomized blocks, with split plots, with four replications. The four application modes were considered as plots, and plant quadrants (Q1, Q2, Q3 and Q4) were the sub plots. Pesticide deposition on the leaves and losses to the soil, collected in Petri plates, and droplet spectrum from hydro-sensitive paper were evaluated. The three central plants in each plot were evaluated, and one leaf was collected per quadrant. Evaluation of losses and droplet spectrum were evaluated in the central plant. Determination of deposition and losses was done by adding Brilliant Blue dye to the pesticide, to allow detection by absorbance in spectrophotometry. Droplet spectrum was evaluated with a software. Electrostatic spraying was effective for the management of the psyllid, resulting on greater deposition of the pesticide on the leaves, lower losses to the soil, and affected the generated droplet spectrum. Therefore, it is possible to reduce the conventional spraying rates with electrostatic spraying, without hindering the control of the guava psyllid.

**Keywords:** spraying technology, spraying rate, droplet electrification, boom sprayer, *Psidium guajava*.

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de agrotóxicos tem grande importância no desenvolvimento das plantas cultivadas, a fim de alcançar produções satisfatórias, frente a competição com pragas, doenças e plantas daninhas. Assim, deve-se buscar a utilização adequada da tecnologia de aplicação, além de inovações que otimizem a proteção fitossanitária nas pulverizações agrícolas, a fim de aumentar a eficácia dos tratamentos fitossanitários e favorecer a viabilidade econômica.

No entanto, há vários problemas na deposição das caldas sobre os alvos, como evaporação, escoamento e deriva, e consequentes perdas para o ambiente, especialmente em culturas arbóreas. Eliminar esses problemas por completo ainda é praticamente impossível, mas a utilização de tecnologias adequadas pode minimizar essas questões (ALVES, 2014).

Em relação às culturas arbóreas, existem diversos desafios quanto à tecnologia de aplicação de agrotóxicos, principalmente na penetração da calda no dossel da cultura e na redução da deriva, sendo comum a baixa eficácia nos tratamentos, o aumento nas taxas de aplicação, a contaminação ambiental e a elevação do custo de produção. Os principais fatores que causam essas dificuldades são a arquitetura das plantas e o índice de área foliar, além do elevado risco de deriva ocasionado pelos pulverizadores hidropneumáticos e pneumáticos (NUYTTENS et al., 2011; SILVA et al., 2014).

Segundo Miranda et al. (2013), nos pulverizadores pneumáticos, o ar em alta velocidade consegue lançar as gotas em direção à planta com maior capacidade de penetração no interior da copa. Porém, Marti et al. (2006) afirmam que a penetração de gotas e a distribuição uniforme do ingrediente ativo nas pulverizações em plantas arbóreas é difícil de ser alcançada, devido as influências das condições meteorológicas e da corrente de ar do pulverizador sobre as gotas de pulverização.

Outro problema, relatado por Konno et al. (2001), é que as pragas de culturas arbóreas se instalam em locais de difícil deposição, tornando necessária a redução dos intervalos entre as pulverizações devido à má distribuição da calda. Isso explica o fato de muitos produtores de culturas arbóreas adotarem gotas finas e elevadas taxas de aplicação no controle de pragas e doenças.

Quanto a isso, é fundamental adotar diâmetro adequado das gotas geradas durante a aplicação, pois isso influencia a cobertura do alvo e a penetração no dossel da

planta, já que gotas muito finas podem ser arrastadas mais facilmente pelo vento, apesar de apresentarem melhores coberturas (MATUO et al., 2005; GULER et al., 2007).

Além disso, na tentativa de um bom controle de pragas em culturas com alta densidade foliar, especialmente as arbóreas, usam-se elevadas taxas de aplicação, com altos níveis de escurimento (FERNANDES et al., 2005). Apesar dessa tendência, atualmente estudos têm sido feitos com a redução dessas taxas a fim de diminuir os custos de produção e elevar a capacidade operacional das aplicações (BALAN et al., 2006; FERNANDES et al., 2010). Para isso, houve evolução de algumas tecnologias, com resultados promissores quanto à redução na taxa de aplicação (BAUER et al., 2006).

Algumas tecnologias têm sido estudadas para incorporação nas pulverizações agrícolas, a fim de aumentar a eficiência na aplicação de agrotóxicos (SASAKI et al., 2015). Vários pesquisadores têm procurado melhorar as tecnologias de aplicação através de alternativas que favoreçam a deposição dos produtos diretamente nos alvos e reduzam a contaminação ambiental (CERQUEIRA, 2013).

O emprego de gotas finas proporciona melhores resultados no manejo fitossanitário, já que ocorre maior cobertura dos alvos. No entanto, devido às suas pequenas massas, essas gotículas sofrem muita deriva. Desta maneira, as vantagens da utilização de gotas pequenas se dão em condições muito especiais. É necessário acrescentar às gotas pequenas uma força elétrica capaz de controlar seus movimentos, para que sejam eficientemente coletadas pelo alvo, inclusive na face inferior das folhas. Esta eletrificação ocorre na pulverização eletrostática, uma técnica de aplicação que pode ser utilizada em culturas arbóreas (CHAIM, 2006).

Trata-se de uma técnica na qual ocorre a eletrificação das gotas a fim de promover atração com a planta, devido a diferença de potencial elétrico, e atingir áreas ou alvos difíceis de serem alcançados pela pulverização convencional, em culturas com alta densidade foliar e de difícil cobertura. Com isso, aumenta-se a eficácia nos tratamentos fitossanitários e reduzem-se perdas nas aplicações (SASAKI et al., 2015).

Sobre isso, uma cultura arbórea de grande importância na agricultura brasileira, ainda deficiente nos estudos sobre tecnologia de aplicação, especialmente em uma técnica ainda pouco empregada como a pulverização eletrostática, é a goiaba (*Psidium guajava* L.). Segundo Gallo et al. (2002), trata-se de uma cultura que, apesar de sua rusticidade, apresenta diversos problemas fitossanitários, especialmente quanto ao ataque de insetos-praga.

O Brasil, com uma área estimada em torno de 18.000 ha, distribuídos na região sudeste e nordeste, é o terceiro maior produtor mundial de goiaba, com produção acima de 300 mil toneladas. Entre os estados brasileiros, Minas Gerais, São Paulo e Pernambuco são os mais importantes e respondem, em conjunto, por mais de 80% da produção nacional (INSTITUTO FNP, 2013; VALENTE, 2014).

Atualmente, há demanda da indústria e do mercado de frutas frescas por goiaba durante o ano todo, motivando o agricultor a produzir fora do período de safra normal para obter melhor retorno financeiro. Por isso, há irrigação e podas constantes para possibilitar o aumento da produtividade e a ampliação do período de produção (COLOMBI; GALLI, 2009).

No entanto, a expansão desta cultura e a mudança nos sistemas de produção têm propiciado condições favoráveis ao surgimento de problemas fitossanitários, sendo que atualmente o psíldeo-da-goiabeira, *Triozoida limbata* (Enderlein, 1918) (Hemiptera: Triozidae), é considerado a principal praga da cultura (OLIVEIRA et al., 2012; SÁ; FERNANDES, 2015a).

São insetos sugadores de seiva, cujos adultos medem entre 2 e 2,4 mm de comprimento e as maiores densidades populacionais ocorrem no período de setembro a novembro. As colônias dessa praga se localizam no interior das margens foliares da goiabeira, recobertas pela secreção cerosa, entre gotículas de substâncias açucaradas. Devido à sucção de seiva e às toxinas injetadas nas margens das folhas, os psíldeos causam enrolamento dos bordos do limbo foliar, amarelecimento e necrose, queda das folhas e, conseqüentemente, comprometimento na produção (COLOMBI; GALLI, 2009; MEDEIROS; COSTA; BATISTA, 2012; SÁ; FERNANDES, 2015b).

O aumento nas populações dos psíldeos provavelmente é devido ao fato deste inseto atacar as folhas novas da planta, que estão sempre brotando devido as constantes podas. Por isso, há pulverizações na goiabeira em períodos consecutivos de 15 a 20 dias, na tentativa de proteger as brotações novas (COLOMBI; GALLI, 2009). Além disso, os surtos populacionais também são devido ao uso constante dos mesmos inseticidas no manejo dessa praga, uma vez que existe no Brasil apenas um inseticida registrado no controle do *T. libata*, o neonicotinóide imidacloprido (LIMA, GRAVINA, 2009; PAZINI, GALLI, 2011; AGROFIT, 2015).

Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar a deposição de calda nas folhas, as perdas para solo e o controle químico do psíldeo-da-goiabeira *Triozoida*

*limbata* (Hemiptera: Psyllidae) promovidos pela pulverização eletrostática, em comparação a pulverização pneumática convencional.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em duplicata (duas épocas) em um pomar de produção de goiaba (*Psidium guajava* L), cultivar Paluma, na Fazenda Experimental Água Limpa, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia – MG. Conduziu-se um experimento na safra 2014/2015, nos meses de outubro e novembro de 2014, época de alta infestação de psilídeo-da-goiabeira (1ª época). Para aumentar a confiabilidade sobre os resultados obtidos, ao término da safra, após a colheita dos frutos, repetiu-se o experimento na mesma área, seguindo a mesma metodologia, no mês de abril de 2015 (2ª época). As análises das amostras coletadas foram feitas no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) da UFU.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, isto é, tropical quente úmido com inverno frio e seco. A altitude da área é de 795 m, com coordenadas geográficas 19° 6'16,49"S e 48°20'54,38"O. Foi selecionado um talhão de aproximadamente 175 plantas, de sete anos de idade, e espaçamento de 5,0 m entre linhas de cultivo e 3,0 m entre plantas. Este talhão representa o sistema de cultivo predominante na região, ou seja, com poda de frutificação drástica e escalonada por talhão, irrigação e cultivar de dupla aptidão.

Na instalação do ensaio, inicialmente delimitou-se a bordadura do talhão, deixou-se uma linha de goiabeiras em cada lateral do talhão, e 2 goiabeiras no início e no final de cada linha, sendo que cada linha do talhão continha 29 plantas. A área experimental foi dividida de modo que, simultaneamente, conduziram-se dois estudos no pomar de goiabeira, a fim de avaliar a eficácia do tratamento fitossanitário sobre o psilídeo-da-goiabeira e avaliar também a tecnologia de aplicação utilizada para isso.

Previamente a condução dos experimentos caracterizaram-se as dimensões médias das plantas utilizadas, através de medições com trena métrica (Figura 1). Adaptado de Corrêa et al. (2004) e Favarin et al. (2002), mensuraram-se a altura de plantas (Ht); a distância do nível do solo até a copa da planta, isto é, a altura da “saia” da planta (Hs); o diâmetro da copa a altura do peito (DAPc), através de uma média entre o DAP sobreposto a linha de cultivo e o DAP perpendicular à linha de cultivo (Figura

2); e por fim, a distância entre as linhas de cultivo (DL). Através da diferença entre  $H_t$  e  $H_s$ , calculou-se a altura do dossel da planta ( $H_d$ ). Para todas as características, as constatações médias para as plantas do pomar na 1ª época foram:  $H_t = 2,28$  m;  $H_s = 0,90$ ;  $H_d = 1,38$  m;  $DAPc = 3,41$  e  $DL = 5,24$ . Já na 2ª época, as constatações foram:  $H_t = 3,18$  m;  $H_s = 1,09$  m;  $H_d = 2,09$  m;  $DAPc = 3,51$  m e  $DL = 5,24$  m.

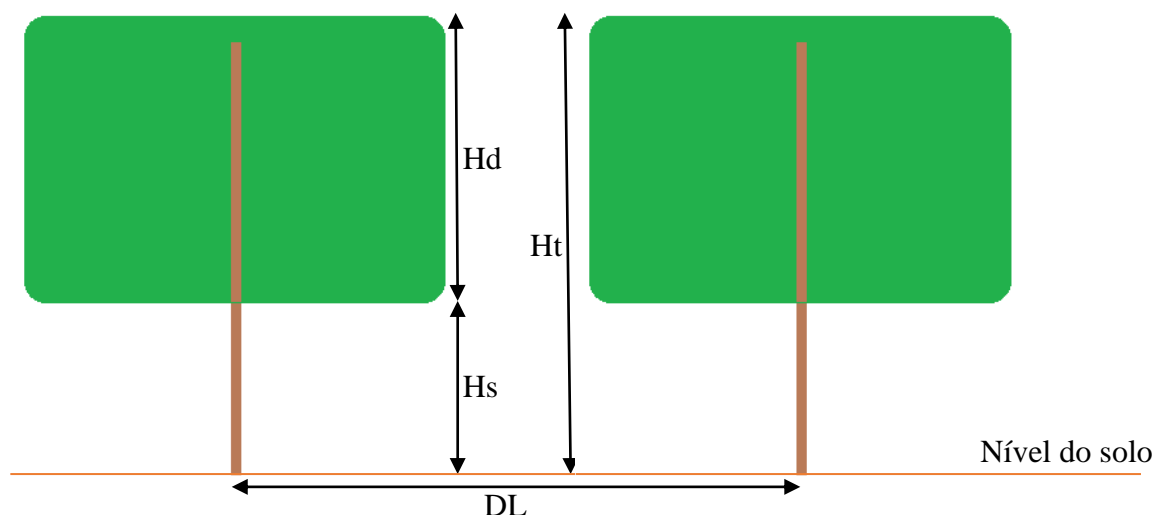


FIGURA 1. Dimensões da goiabeira, adaptado de Corrêa et al. (2004) e Favarin et al. (2002). Altura de plantas ( $H_t$ ), altura da “saia” da planta ( $H_s$ ) e altura do dossel da planta ( $H_d$ ). Uberlândia – MG, 2015.

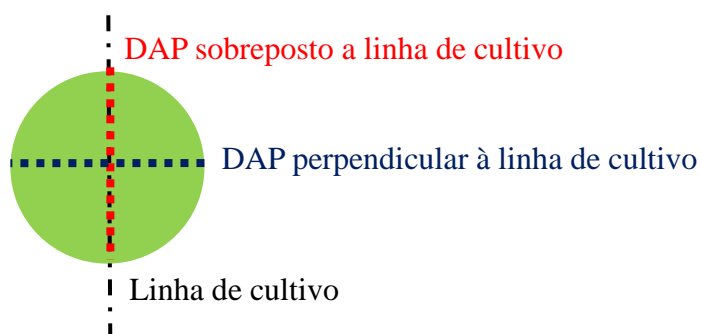


FIGURA 2. Esquema da vista superior de uma planta de goiabeira, mostrando os dois diâmetros a altura do peito (DAP), utilizados para o cálculo do  $DAPc$  médio das plantas dispostas na parcela experimental, adaptado de Corrêa et al. (2004). Uberlândia – MG, 2015.

As plantas de cada parcela experimental foram divididas em quatro quadrantes (Q1, Q2, Q3 e Q4), em sentido anti-horário, sendo que Q1 sempre se localizou na linha de cultivo (Figura 3). Essa divisão foi em função das avaliações realizadas na área.

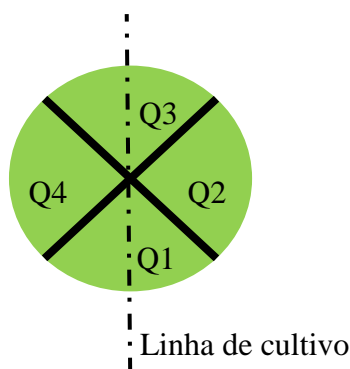


FIGURA 3. Esquema de divisão dos quadrantes das goiabeiras. Uberlândia – MG, 2015.

Em todas as aplicações, durante o caminhamento nas entre linhas, o bocal do pulverizador foi mantido a uma distância de 1,50 m do dossel da cultura, a fim de não afetar a eficiência da pulverização eletrostática entre os tratamentos. Em todos os tratamentos utilizou-se vazão de  $1,45 \text{ L min}^{-1}$ , que foi estudada no capítulo II do presente trabalho, e variou-se apenas a velocidade de caminhamento na área, para alterar as taxas de aplicação, a fim de não influenciar no espectro de gotas e na eficiência da pulverização eletrostática.

Para as aplicações utilizou-se um pulverizador pneumático costal motorizado da marca Stihl®, modelo SR450, com um volume de tanque de 14 litros e um motor dois tempos monocilíndrico de 2900 W de potência. A rotação máxima possível com esse pulverizador é de 6800 rpm, na qual é possível gerar um fluxo de ar de  $920 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . No entanto, para as aplicações no pomar, manteve-se a meia aceleração do pulverizador, a fim de causar menos deriva e não sobrecarregar o motor.

Ao pulverizador utilizado, instalou-se um kit de conversão da marca Spectrum®, modelo 3010, para permitir assim a pulverização eletrostática. Esse kit de conversão, através de um fio conectado à vela de ignição do motor, permite que as gotas geradas durante a pulverização recebam carga elétrica no bocal de saída do pulverizador. Para isso, o bocal de saída original do pulverizador foi substituído por um bocal de condução eletrostática, capaz de carregar eletricamente por indução as gotas geradas (Figura 4).





FIGURA 4. Bocal de condução do kit de conversão eletrostático. Uberlândia – MG, 2015.

Devido ao pulverizador ser costal e apresentar apenas uma saída de calda, foi necessário aplicar em um sentido de caminhamento diretamente no quadrante Q2, e ao término da parcela, retornar em sentido contrário aplicando diretamente no quadrante Q4, ambos voltados para as entre linhas. Como não havia plantas suficientes no pomar para serem deixadas como bordaduras entre os blocos, foi necessário construir uma cortina de lona a fim de proteger as parcelas vizinhas durante as aplicações. Dessa maneira, à medida que ocorria o caminhamento com o pulverizador, a cortina cobria totalmente a parcela do lado oposto para evitar contaminações entre os tratamentos.

As condições ambientais, nos momentos das aplicações, foram monitoradas durante a realização dos experimentos através de um termo-higro-anemômetro digital marca Kestrel® modelo 4000. Na 1ª época, as condições foram: temperaturas mínima de 27,40°C e máxima de 31,90°C, umidade relativa do ar entre 42,30% e 53,60% e ventos com velocidades entre 1,43 e 6,47 km h<sup>-1</sup>. Na 2ª época, as condições foram: temperaturas mínima de 22,70°C e máxima de 29,30°C, umidade relativa do ar entre 63,50% e 79,30% e ventos com velocidades entre 1,67 e 5,60 km h<sup>-1</sup>. Embora algumas das condições não estivessem dentro da faixa ideal para pulverização, estas são situações normais de aplicação na região de estudo e se aproximam das recomendadas.

## **2.1 Avaliação da tecnologia de aplicação**

Para a avaliação da tecnologia de aplicação, utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os quatro tratamentos com aplicações (600 L ha<sup>-1</sup>, em pulverização convencional; 300,

200 e 100 L ha<sup>-1</sup>, com pulverização eletrostática) constituíram as parcelas, e os quadrantes das plantas (Q1, Q2, Q3 e Q4) constituíram as subparcelas. Assim, cada parcela foi constituída por 5 plantas e cada planta útil foi subdivida em 4 quadrantes. Apenas os quadrantes (subparcelas) Q2 e Q4 foram alvos diretos durante as aplicações.

Como efetuaram-se duas aplicações para manejo do psilídeo-da-goiabeira na 1ª época, avaliaram-se as duas aplicações separadamente, a fim de verificar a deposição de calda nas folhas da goiabeira, as perdas para o solo durante as aplicações e as características do espectro de gotas gerados nas pulverizações.

Para a avaliação da deposição e das perdas para o solo, adicionou-se à calda de aplicação um marcador composto do corante alimentício Azul Brilhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na concentração fixa de 1 g de corante por litro de calda (1000 ppm), para ser detectado por absorbância em espectrofotometria. Devido à essa concentração fixa de marcador na calda para todos os tratamentos, calculou-se um fator de correção, baseado na maior taxa de aplicação, a fim de ajustar a comparação das médias na análise estatística para todas as outras taxas. Assim, os dados da deposição e das perdas para o solo foram multiplicados por um fator de correção, obtido pela seguinte equação:

$$FC = Mv/mv$$

Na qual,

FC: fator de correção;

Mv: valor da maior taxa de aplicação;

mv: valor da taxa do respectivo tratamento.

Utilizou-se um espectrofotômetro, da marca Biospectro® e modelo SP-22, com cubetas de vidro de 3,5 mL e caminho óptico de 10 mm, com lâmpada de tungstênio-halogênio para realizar as leituras. A quantificação da coloração foi feita por absorbância em 630 nm, faixa de detecção do corante azul utilizado.

A área útil de cada parcela foi formada pelas três plantas centrais da mesma, ou seja 45 m<sup>2</sup>, nas quais foram coletadas uma folha por quadrante, com total de 12 folhas por parcela. Essas folhas foram coletadas, logo após as aplicações, no terço médio das plantas na parte mediana da copa. Após a coleta, as folhas foram armazenadas em sacos

plásticos em caixa de isopor, para serem analisadas em laboratório quanto à deposição de calda.

A fim de verificar as perdas de calda para o solo, na terceira planta de cada parcela, colocaram-se no chão sob a copa da goiabeira, a 20 cm do tronco da planta, dois conjuntos de placas de Petri compostos por capa e fundo, de forma que cada placa ficou em um quadrante da planta. Os fundos dos conjuntos, com 149,57 cm<sup>2</sup>, foram dispostos nos quadrantes Q1 e Q3, e as capas, com 169,72 cm<sup>2</sup>, foram dispostas nos quadrantes Q2 e Q4. Após as pulverizações, as placas foram recolhidas e acondicionadas em caixa térmica para posterior quantificação do marcador.

Em laboratório, adicionaram-se 100 mL de água destilada em cada saco plástico com as folhas de goiabeira. Nas placas de Petri, adicionaram-se 30 mL de água destilada. Os mesmos foram fechados e agitados por 30 segundos para a homogeneização do corante presente nas amostras. Em seguida o líquido foi retirado e transferido para copos plásticos, os quais foram acondicionados em local refrigerado providos de isolamento luminoso por 24 horas para posterior leitura de absorbância no espectrofotômetro.

Através de curva de calibração, originada por meio de soluções-padrão de corante, obteve-se a equação:  $y = 0,0151x - 0,0008$ , em que  $y$  = absorbância e  $x$  = concentração ( $R^2 = 99,9\%$ ). Com isso, os dados de absorbância, obtidos em espectrofotometria foram transformados em concentração (mg L<sup>-1</sup>). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinaram-se a massa de corante retida nas folhas de goiabeira coletadas nas parcelas. O depósito total foi dividido pela área foliar de cada amostra, para obter-se a quantidade em µg de corante por cm<sup>2</sup> de área foliar. Para as perdas para o solo, o mesmo foi feito em relação à área das placas. A área das folhas foi medida com um medidor de área foliar marca ADC BioScientific® Ltda, modelo AM 300.

Conduziu-se também um estudo do espectro de gotas pulverizadas, a fim de caracterizar melhor as aplicações, por meio da avaliação das gotas depositadas em papéis sensíveis à água (76 x 26 mm) da marca Hypro®, desenvolvidas pela Syngenta Crop Protection. Embora seja uma metodologia menos precisa do que as avaliações feitas em laboratório com equipamentos baseados em laser, permite individualizar melhor os tratamentos realizados a campo, de forma a explicar possíveis diferenças em termos de deposição e eficácia de controle. Para isto, antes da pulverização, quatro papéis hidrossensíveis foram grampeados às folhas da terceira planta de cada parcela,

um em cada quadrante, de modo que ficaram no terço médio da cultura, na parte mediana da copa. Após a aplicação, estes foram recolhidos e armazenados em envelopes, livres de umidade. Posteriormente, foram digitalizados com resolução espacial de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 *bits*, em *scanner* da marca Hp®, modelo Hp Scanjet 2400. A análise foi feita com o programa computacional “CIR” (*Conteo y tipificación de impactos de pulverización*) versão 1.5/2002. Determinou-se o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm (Dv<100 µm). A amplitude relativa foi determinada com a seguinte equação:

$$AR = \frac{Dv_{0,9} - Dv_{0,1}}{Dv_{0,5}}$$

Na qual,

AR: amplitude relativa;

Dv<sub>0,1</sub>: diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

Dv<sub>0,5</sub>: diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

Dv<sub>0,9</sub>: diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

## 2.2 Avaliação de eficácia de controle do psilídeo-da-goiabeira

Para a avaliação de eficácia de controle do psilídeo-da-goiabeira, conduziu-se um estudo em delineamento de blocos casualizados, para avaliar cinco tratamentos qualitativos com quatro repetições cada, em um total de 20 parcelas.

Os tratamentos avaliados foram: T1 – testemunha sem aplicação; T2 – aplicação convencional, com o kit de conversão eletrostático desligado, com 600 L ha<sup>-1</sup>; T3 – aplicação eletrostática com 300 L ha<sup>-1</sup>; T4 – aplicação eletrostática com 200 L ha<sup>-1</sup>; e T5 – aplicação eletrostática com 100 L ha<sup>-1</sup>. A testemunha sem aplicação teve o intuito de embasar o estudo da infestação da praga, enquanto que a aplicação convencional foi adotada segundo os padrões já utilizados na área de produção, a fim de ser comparada

com as aplicações eletrostáticas com redução da taxa de aplicação (Tabela 1). As velocidades foram determinadas de acordo com a taxa de aplicação requerida em cada tratamento.

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados quanto à eficácia de controle do psilídeo-da-goiabeira.

Tecnologia de aplicação	Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Velocidade média de caminhamento (km h <sup>-1</sup> )	Kit eletrostático
Testemunha	0	-	-
Convencional	600	0,46	Desligado
Eletrostática	300	1,00	Ligado
Eletrostática	200	1,32	Ligado
Eletrostática	100	2,39	Ligado

O inseticida utilizado foi o neonicotinóide Provado 200 SC, com 20% do i.a. imidacloprido, na dose de 2,5 mL por planta, uma calda já estudada no capítulo II do presente trabalho.

Cada parcela foi constituída por cinco plantas, isto é, 75 m<sup>2</sup> como área total por parcela. Consideraram-se para amostragem de eficácia de controle as três plantas centrais, ou seja, 45 m<sup>2</sup> como área útil por parcela, e deixaram-se duas plantas, no início e no fim de cada parcela, respectivamente, como bordaduras (Figura 5).

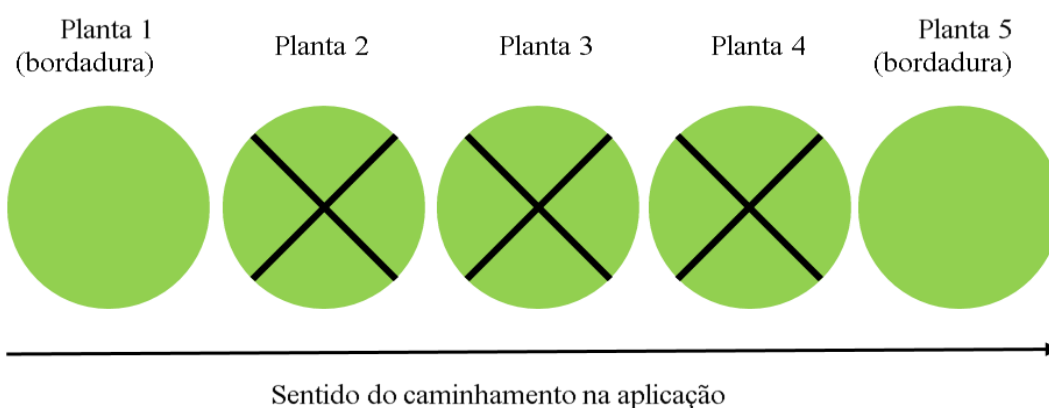


FIGURA 5. Esquema das plantas dispostas na parcela experimental. Uberlândia – MG, 2015.

A necessidade das aplicações foi baseada no limiar de dano econômico do psilídeo da goiabeira, determinado por Barbosa et al. (2001), ou seja, 30% de infestação justificou as pulverizações para manejo da praga na área. No dia anterior a primeira aplicação, realizou-se uma amostragem prévia de psilídeo na área, feitas no terço médio das goiabeiras, para verificar o nível de infestação da praga. Durante essa avaliação, demarcou-se com fita vermelha um ramo por quadrante, em cada uma das três plantas centrais da parcela, a fim de utilizar o mesmo ramo em todas as avaliações seguintes. Neste ramo, sempre nos dois últimos pares de folhas, verificou-se a porcentagem de folhas com danos causados pelo psilídeo.

Ainda previamente às aplicações, coletou-se uma folha por quadrante, nas três plantas centrais, sempre dos dois últimos pares de folhas de cada ramo, com total de 12 folhas por parcela. Essas folhas foram armazenadas em caixa de isopor e levadas para avaliação em laboratório. Contou-se então, com o auxílio de uma lupa com lente de aumento de 40x, o número de ninfas de *T. limbata* em cada folha e em seguida efetuou-se a média da parcela.

Após as aplicações, as avaliações foram repetidas com intervalos estabelecidos de 7, 12 e 14 dias após a primeira aplicação (DAA). Na 1ª época (outubro/novembro), 7 dias após a primeira aplicação, efetuou-se uma segunda aplicação na área, com a mesma metodologia explicada anteriormente, pois novamente alcançou-se o limiar de dano econômico da praga. Essa segunda aplicação foi necessária devido à época de alta infestação da praga e à recomendação técnica do inseticida, com intervalos de 7 dias entre as aplicações. Dessa forma, foi possível avaliar o comportamento populacional da praga em um período maior de tempo. Já na 2ª época (abril), não foi necessário repetir a aplicação.

### **2.3 Análises estatísticas**

Os resultados de ambos os estudos foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, homogeneidade das variâncias de Levene e a aditividade dos blocos de Tukey, ambos a 0,01 de significância, com o auxílio do programa SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Nos casos em que as pressuposições não foram atendidas, os dados foram transformados em  $\sqrt{x}$  e submetidos à nova análise. Somente quando a transformação corrigiu ou pelo menos

melhorou uma das pressuposições, sem prejudicar as demais, utilizaram-se os dados transformados para a análise de variância. Do contrário, utilizaram-se os dados originais (STEEL; TORRIE, 1980; SOKAL; ROHLF, 1995). Em seguida, procedeu-se a análise de variância (ANOVA) e, constatada diferença significativa, as médias em estudo foram comparadas pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância. Essas análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT 7.7 beta (SILVA, 2013), na avaliação da tecnologia de aplicação, e com o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008), na avaliação da eficácia de controle do psilídeo-da-goiabeira.

Na avaliação da eficácia de controle, a estatística foi feita para cada período (dia) de avaliação, sendo independentes entre si e apenas referências para as avaliações, pois o intervalo de execução do experimento foi curto para serem considerados como um fator quantitativo na análise estatística. Apesar de os tratamentos serem qualitativos, optou-se pela apresentação dos resultados em forma de gráficos de linhas, elaborados através do programa SigmaPlot 12.0 (SYSTAT SOFTWARE Inc., 2011).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Avaliação da tecnologia de aplicação**

Em todas as aplicações, as perdas de calda para o solo e a deposição nas folhas apresentaram diferenças entre si, em relação às tecnologias de aplicação. No entanto, apenas a deposição nas folhas foi influenciada pelos quadrantes das plantas, e não ocorreu interação entre os fatores estudados.

Em relação às tecnologias de aplicação, a deposição nas folhas de goiabeira foi menor quando adotou-se o sistema convencional de aplicação, isto é, mesmo com taxas de aplicação menores, a pulverização eletrostática promoveu maior deposição de calda na cultura. Já em relação aos quadrantes da planta, o maior depósito sempre se deu no quadrante Q4, enquanto que, em geral, a menor deposição de calda ocorreu no quadrante Q3 (Tabela 2).

TABELA 2. Deposição de marcador nas folhas de goiabeira ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ), nas aplicações de inseticidas para controle do psilídeo-da-goiabeira, nas duas épocas, em função da tecnologia de aplicação

Tecnologia de aplicação	1ª época		2ª época <sup>1</sup>
	1ª aplicação <sup>1</sup>	2ª aplicação	
Convencional	2,757 b	4,342 b	4,314 c
Eletr. 300 L ha <sup>-1</sup>	4,197 ab	6,639 a	5,923 b
Eletr. 200 L ha <sup>-1</sup>	4,467 ab	8,834 a	6,563 b
Eletr. 100 L ha <sup>-1</sup>	5,480 a	8,787 a	8,703 a
Quadrante da planta	1ª época		2ª época <sup>1</sup>
	1ª aplicação <sup>1</sup>	2ª aplicação	
Q1	3,896 ab	5,876 b	6,088 ab
Q2	3,550 b	7,918 ab	7,129 a
Q3	3,859 ab	5,164 b	5,645 b
Q4	5,597 a	9,643 a	6,641 ab
Fc <sup>T</sup>	4,20**	17,73*	26,85*
Fc <sup>Q</sup>	3,67**	5,30*	3,24**
Fc <sup>TxQ</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
W/K-S	<b>0,078</b>	<b>0,102</b>	<b>0,990</b>
F <sub>Levene</sub>	<b>2,271</b>	<b>1,781</b>	<b>2,103</b>
F <sub>Aditividade</sub>	<b>0,944</b>	<b>1,493</b>	<b>1,790</b>
C.V. <sup>T</sup> (%)	26,43	28,35	11,02
C.V. <sup>Q</sup> (%)	23,11	49,34	11,16

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Fc: valor de F calculado. W/K-S; F<sub>Levene</sub>; F<sub>Aditividade</sub>: estatística dos testes de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, de Levene e de Tukey para aditividade, respectivamente. C.V: coeficiente de variação. <sup>T</sup>valores para tecnologia de aplicação. <sup>Q</sup>valores para quadrantes da planta. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, a 0,01. <sup>1</sup>Dados transformados por  $\sqrt{x}$ . \*significativo a 0,01; \*\*significativo a 0,05; <sup>ns</sup>não significativo

Mesmo com taxas reduzidas em relação à tecnologia convencional, a pulverização eletrostática proporcionou maior deposição nas folhas de goiabeira, inclusive na taxa de 100 L ha<sup>-1</sup>. A deposição foi até duas vezes maior com a pulverização eletrostática do que com a pulverização convencional (Tabela 2). Além da maior atração pelo alvo das gotas eletrificadas, uma justificativa para essa maior



deposição é que em pulverizações com taxas excessivas de aplicação pode ocorrer maior escoamento das gotas e prejudicar a deposição nas folhas.

Ao contrário do presente resultado, Balan, Abi Saab e Silva (2006), ao avaliarem o depósito nas folhas e as perdas de calda em aplicações com equipamento hidropneumático no sistema de pulverização em videira, verificaram que as maiores taxas aplicadas apresentaram as maiores deposições. No entanto, estes trabalhos estudaram tecnologias convencionais de aplicação, sem eletrificação das gotas geradas, o que pode explicar essas diferenças.

Por outro lado, Ramos et al. (2007), ao avaliarem o efeito da redução da taxa aplicada por um pulverizador hidropneumático convencional sobre a deposição e a cobertura em folhas, ramos e frutos de citros, concluíram que tanto a deposição quanto a cobertura não foram prejudicadas pela utilização de taxa reduzida em 30%, sem afetar também o manejo de pragas. Por isso, a redução da taxa de aplicação pode ser uma boa alternativa para a agricultura no que diz respeito a sustentabilidade, conforme defendem Souza et al. (2011) e Bueno et al. (2014).

Sasaki et al. (2013), de maneira semelhante aos presentes resultados, ao avaliarem a utilização da pulverização eletrostática na cultura do café quanto à eficiência de deposição e à uniformidade de distribuição da calda, concluíram que o sistema eletrostático foi eficiente, com incrementos na deposição de até 37%. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Laryea e No (2005) que verificaram, em pulverizações com sistema eletrostático na cultura da maçã, aumentos em deposição de até 2,51 vezes.

Contudo, Magno Júnior et al. (2011), em um trabalho para desenvolver um dispositivo para promover a atração de gotas eletrificadas para o interior do dossel de plantas cítricas com uma taxa de aplicação de 458 L ha<sup>-1</sup>, não verificaram influência do dispositivo proposto na penetração de gotas no interior do dossel das plantas. Para os autores, uma das explicações para isso é que a força aerodinâmica do vento pode ter sido maior que a força elétrica induzida na gota.

Esehaghbeygi, Tadayyon e Besharati (2012), ao estudarem a eficácia de controle de plantas daninhas com pulverização eletrostática na cultura do trigo com pulverizador pneumático, verificaram maiores deposições através do sistema de eletrificação de gotas e maior eficácia no controle. Esses autores atribuíram seus resultados ao fato de que as forças eletrostáticas em pequenas gotas são mais eficientes do que as forças

gravitacionais e, portanto, a carga eletrostática das gotas de pulverização proporciona uma melhor deposição.

Já em relação aos quadrantes da planta, é possível notar na Tabela 2 que há diferenças na deposição de calda nas diferentes partes da planta, especialmente devido à proximidade com o jato de pulverização. Em todas as aplicações, a deposição sempre foi igual nos quadrantes Q1 e Q3, o que também ocorreu com Q2 e Q4 em duas aplicações. O Q4, em ambas as aplicações, em geral apresentou as maiores deposições, pois estava diretamente voltado para o jato de pulverização. No entanto, na 1ª época, isso não ocorreu com o Q2, que também estava voltado para o jato de pulverização. Este fato pode ser explicado pela dificuldade em distribuir uniformemente a calda em toda a planta, pois trata-se de uma cultura arbórea e de um equipamento costal, dependente do desempenho humano.

Sobre isso, Sasaki et al. (2013) verificaram maiores deposições na posição externa do dossel de plantas de café com a pulverização eletrostática. Segundo os autores, isso pode ter ocorrido pelo fato da gota eletrificada se descarregar em um corpo aterrado o mais próximo possível, isto é, na parte externa do dossel. Além disso, os autores também afirmaram que o objetivo da pulverização em uma planta arbórea é a distribuição da calda de aplicação o mais uniforme possível no dossel, porém isso nem sempre ocorre, especialmente em culturas arbóreas, o que pode justificar os resultados do presente trabalho em relação aos quadrantes da planta. Magno Júnior et al. (2011), por sua vez, também observaram maiores deposições na parte externa da planta, devido à maior facilidade na chegada das gotas. Estes resultados podem indicar que quando o alvo biológico da pulverização estiver em partes mais distantes do jato de pulverização, a deposição pode ficar prejudicada.

As diferenças entre as perdas de calda para o solo, em relação às tecnologias de aplicação adotadas, estão apresentadas na Tabela 3. A pulverização eletrostática, com menores taxas de aplicação, gerou menores perdas. Assim, como a taxa de 600 L ha<sup>-1</sup> em aplicação convencional apresentou a menor deposição de calda nas aplicações e a maior perda de calda para o solo, este tratamento apresentou a menor eficiência de aplicação. Vale ressaltar que as perdas para o solo no presente trabalho foram até 4 vezes menores com a pulverização eletrostática. Segundo Chaim (2006), a pulverização eletrostática, além de aumentar a eficácia no controle de pragas, reduz as perdas para o solo, em até 20 vezes em comparação às pulverizações convencionais.

TABELA 3. Perdas para o solo ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ), nas aplicações de inseticidas para controle do psilídeo-da-goiabeira, nas duas épocas, em função da tecnologia de aplicação

Tecnologia de aplicação	1ª época		2ª época
	1ª aplicação	2ª aplicação <sup>1</sup>	
Convencional	1,584 b	1,407c	0,872 b
Eletr. 300 L ha <sup>-1</sup>	0,435 a	0,425 ab	0,443 ab
Eletr. 200 L ha <sup>-1</sup>	0,441 a	0,885 bc	0,315 a
Eletr. 100 L ha <sup>-1</sup>	0,332 a	0,332 a	0,542 ab
Fc	92,34*	9,59*	4,83**
W/K-S	<b>0,994</b>	<b>0,116</b>	<b>0,966</b>
F <sub>Levene</sub>	2,714	5,149	<b>1,804</b>
F <sub>Aditividade</sub>	<b>1,512</b>	31,422	<b>2,029</b>
C.V. (%)	35,36	39,09	79,77

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Fc: valor de F calculado. W/K-S; F<sub>Levene</sub>; F<sub>Aditividade</sub>: estatística dos testes de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, de Levene e de Tukey para aditividade, respectivamente. C.V: coeficiente de variação. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, a 0,01. <sup>1</sup>Dados transformados por  $\sqrt{x}$ . \*significativo a 0,01. \*\*significativo a 0,05.

Zhou et al. (2012), em um trabalho para desenvolvimento de um pulverizador pneumático eletrostático em orquídeas, comparando seus parâmetros de pulverização com tecnologias convencionais, verificaram que o sistema eletrostático pode reduzir as perdas nas pulverizações em até 50%, além de aumentar a deposição de calda em até 60%, e os custos em até 20%.

Em relação aos espectros de gotas pulverizadas, o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetros menores do que 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ ) nas aplicações da 1ª época estão apresentados na Tabela 4. Em geral, os tratamentos não influenciaram nas características estudadas, como era esperado. As exceções foram na 2ª aplicação, na qual houve diferenças na AR e no  $D_v < 100 \mu\text{m}$ . Os quadrantes das plantas não influenciaram nos espectros e não houve interação entre os fatores estudados.

TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e porcentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetros menores do que 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ ), nas aplicações de inseticidas da 1ª época, em função da tecnologia de aplicação

Tec. de aplicação	DMV ( $\mu\text{m}$ )		AR		Dv < 100 $\mu\text{m}$ (%)	
	1ª Apl. <sup>1</sup>	2ª Apl. <sup>1</sup>	1ª Apl. <sup>1</sup>	2ª Apl. <sup>1</sup>	1ª Apl.	2ª Apl. <sup>1</sup>
Convencional	96,10 a	105,70 a	0,83 a	0,99 b	55,39 a	45,59 a
Eletr. 300 L ha <sup>-1</sup>	116,95 a	99,17 a	0,85 a	0,85 a	56,74 a	53,83 ab
Eletr. 200 L ha <sup>-1</sup>	97,11 a	99,49 a	0,83 a	0,82 a	60,92 a	53,09 ab
Eletr. 100 L ha <sup>-1</sup>	88,45 a	97,89 a	0,75 a	0,84 a	66,28 a	63,57 b
Fc	0,96 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	9,31*	0,97 <sup>ns</sup>	4,27**
W/K-S	0,155	0,090	<b>0,106</b>	<b>0,101</b>	<b>0,084</b>	<b>0,054</b>
F <sub>Levene</sub>	3,782	2,527	<b>1,817</b>	<b>1,675</b>	<b>0,702</b>	<b>2,105</b>
F <sub>Aditividade</sub>	29,008	<b>7,028</b>	<b>0,100</b>	<b>0,305</b>	<b>0,002</b>	<b>2,458</b>
C.V. (%)	50,61	8,58	22,41	5,91	33,31	11,89

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Fc: valor de F calculado. W/K-S; F<sub>Levene</sub>; F<sub>Aditividade</sub>: estatística dos testes de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, de Levene e de Tukey para aditividade, respectivamente. C.V.: coeficiente de variação. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, a 0,01. <sup>1</sup>Dados transformados por  $\sqrt{x}$ . <sup>ns</sup>não significativo. \*significativo a 0,01. \*\*significativo a 0,05.

Observa-se que a AR foi maior na 2ª aplicação com 600 L ha<sup>-1</sup>, com maior uniformidade no espectro de gotas nas aplicações com as menores taxas. Porém, a aplicação com 100 L ha<sup>-1</sup> gerou maior porcentagem de gotas com diâmetros menores do que 100  $\mu\text{m}$  em relação a aplicação convencional.

Na Tabela 5, são apresentadas as características do espectro de gotas gerados na aplicação da 2ª época. Mais uma vez, não houve diferença entre os tratamentos quanto aos parâmetros estudados. A partir das Tabelas 4 e 5, é possível caracterizar o espectro de gotas gerado pelo pulverizador empregado nas duas épocas, o qual originou gotas com DMV entre 88,96 e 116,95  $\mu\text{m}$ , isto é gotas muito finas a finas de acordo com a norma ASAE S-572.1 (ASABE, 2009). Apesar das variações nas tecnologias e nas taxas de aplicação, a vazão utilizada e o bocal para gerar as gotas de pulverização foram os mesmos em todos os tratamentos, por isso, em geral, não houve diferenças entre os parâmetros analisados.

TABELA 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e porcentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetros menores do que 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100 \mu\text{m}$ ) na aplicação de inseticidas da 2ª época, em função da tecnologia de aplicação

Tecnologia de aplicação	DMV ( $\mu\text{m}$ )	AR (%)	$D_v < 100 \mu\text{m}$ (%)
Convencional	102,56 a	0,99 a	49,69 a
Eletr. 300 L ha <sup>-1</sup>	94,99 a	0,87 a	56,81 a
Eletr. 200 L ha <sup>-1</sup>	92,69 a	0,82 a	58,91 a
Eletr. 100 L ha <sup>-1</sup>	88,96 a	0,85 a	66,27 a
Fc	3,28 <sup>ns</sup>	3,68 <sup>ns</sup>	2,83 <sup>ns</sup>
W/K-S	<b>0,988</b>	<b>0,974</b>	<b>0,988</b>
F <sub>Levene</sub>	<b>2,039</b>	<b>1,919</b>	<b>1,842</b>
F <sub>Aditividade</sub>	<b>0,067</b>	<b>0,290</b>	<b>0,346</b>
C.V. (%)	13,36	18,16	27,97

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Fc: valor de F calculado. W/K-S; F<sub>Levene</sub>; F<sub>Aditividade</sub>: estatística dos testes de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, de Levene e de Tukey para aditividade, respectivamente. C.V.: coeficiente de variação. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, a 0,01. <sup>ns</sup> não significativo.

A respeito dos diâmetros das gotas é importante ressaltar que o emprego de gotas com diâmetros reduzidos, em se tratando da pulverização eletrostática, favorece a eficácia do tratamento, pois quanto menor o diâmetro da gota mais fácil de eletrificá-la, isto é, menor a carga exigida para isso (SASAKI et al., 2013). Sobre isso, Zhao, Castle e Adamiak (2008), em trabalho para avaliar o efeito da eletrificação das caldas de pulverização sobre o desvio das gotas da trajetória e a deposição sobre os alvos, mostraram que a redução das vazões ou do diâmetro das gotas aumenta significativamente a deposição de calda. No entanto, segundo os autores, gotas de menores diâmetros também apresentam maior tendência a sofrer deriva.

Além disso, gotas de tamanho reduzido, em condições de baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas, têm maior tendência a sofrer a evaporação (VILLALBA; HETZ, 2010), além de apresentarem elevado risco de deriva, pois são mais propensas a se afastarem do alvo pela força do vento (KIRK, 2007).

Sasaki et al. (2013), ao caracterizarem um pulverizador eletrostático pneumático costal utilizado na cultura do café, com o auxílio de um analisador de partículas, encontraram valores de percentual de gotas com diâmetro menor de 100  $\mu\text{m}$ , da ordem de 60%, muito semelhantes aos encontrados no presente trabalho nos tratamentos com a

pulverização eletrostática. Quanto a isso, Bueno et al. (2011) afirmam que quanto menor a porcentagem de gotas sujeitas à deriva, apesar de não haver um valor determinado, menores são os riscos de perdas de gotas. Por outro lado, Cunha et al. (2003), afirmam que valores abaixo de 15% de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm podem implicar em pulverizações mais seguras.

Por isso, as vantagens esperadas de maior eficiência de utilização de gotas pequenas somente se verificam em condições especiais (SERRA; CHAIM; RAETANO, 2008).

### **3.2 Avaliação da eficácia de controle do psilídeo-da-goiabeira**

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados obtidos, bem como a análise das pressuposições, estão apresentados na Tabela 6 (ANEXO B). De acordo com as três avaliações feitas após a aplicação do inseticida na área, todas as características avaliadas a respeito da eficiência da aplicação sobre a infestação da praga apresentaram diferenças entre si (Figuras 6, 7, 8 e 9).

As diferenças quanto às porcentagens de folhas infestadas pela praga estão apresentadas nas Figuras 6 (1ª época) e 7 (2ª época). Foi possível verificar que antes das aplicações, na 1ª época, a porcentagem média de folhas infestadas pela praga variou de 25,44 a 34,94%, e na 2ª época, variou de 24,95 a 35,22%. Essas avaliações prévias permitiram a constatação de um percentual médio de infestação semelhante ao limiar de dano econômico determinado por Barbosa et al. (2001), de 30%, justificando as pulverizações para manejo da praga na área. Na primeira época (Figura 6), a infestação de psilídeos, com pico próximo de 60,00%, foi maior do que na 2ª época (Figura 7), na qual houve pico próximo a 35,00%. Nas avaliações após a primeira aplicação, em ambas as épocas, a tecnologia convencional, em comparação com as aplicações eletrostáticas, apresentou maiores níveis de infestações, próximos da testemunha. Em geral, não houve diferenças entre os tratamentos com aplicações eletrostáticas, independente da taxa de aplicação.

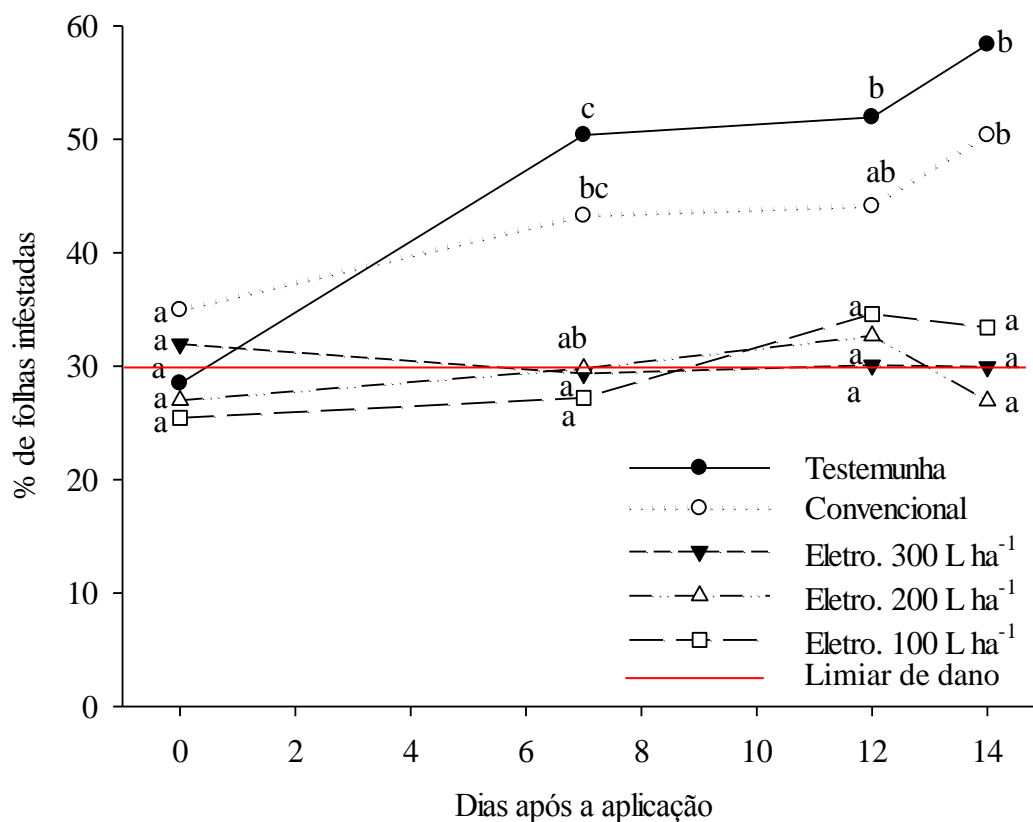


FIGURA 6. Porcentagem de folhas com sintomas de ataque do psilídeo-da-goiabeira, na 1ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida. Médias seguidas por letras distintas, no mesmo dia de avaliação, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Uberlândia, 2015.

É possível notar que a eficiência da pulverização eletrostática superou a da convencional, mesmo em taxas menores de aplicação. Em relação à porcentagem de infestação, a aplicação convencional resultou em médias semelhantes à testemunha sem aplicação.

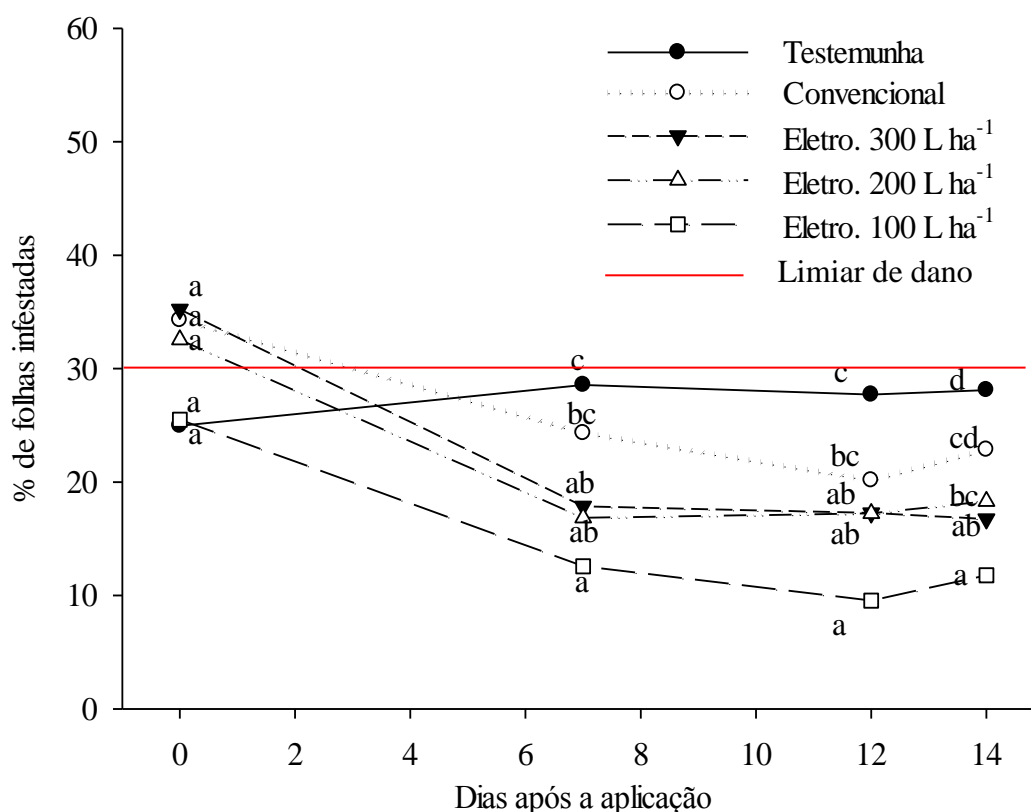


FIGURA 7. Porcentagem de folhas com sintomas de ataque do psíldeo-da-goiabeira, na 2ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida. Médias seguidas por letras distintas, no mesmo dia de avaliação, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Uberlândia, 2015.

Também na 2ª época, a eficiência da pulverização eletrostática superou a da convencional, com menores níveis de infestação. Além disso, novamente nas áreas onde ocorreu a aplicação convencional, os níveis de infestação foram semelhantes aos das áreas sem aplicação. Essas diferenças entre as eficiências das tecnologias estudadas podem ser explicadas pelas maiores deposições de calda e menores perdas para o solo nas aplicações com o sistema eletrostático, verificadas no estudo da tecnologia de aplicação.

As diferenças quanto aos números de ninfas por folha estão apresentadas nas Figuras 8 (1ª época) e 9 (2ª época). Foi possível verificar que antes das aplicações, na 1ª época, o número médio de ninfas por folha variou de 6,58 a 13,03 (Figura 8), e na 2ª época este número variou de 20,62 a 31,30 (Figura 9). Mais uma vez, é possível notar na 1ª época (Figura 8), com picos de até 180 ninfas por folha, uma maior população de



psilídeo-da-goiabeira na área, em comparação com a 2ª época (Figura 9) na qual se atingiu pico próximo de 30 ninfas por folha. Novamente, nas avaliações prévias não observaram-se diferenças entre os parâmetros avaliados, demonstrando uniformidade na distribuição da população da praga na área. No entanto, diferentemente do que foi observado em relação às porcentagens de folhas infestadas, nota-se que em geral todas as aplicações, independente da tecnologia e da taxa, foram eficientes na redução populacional da praga.

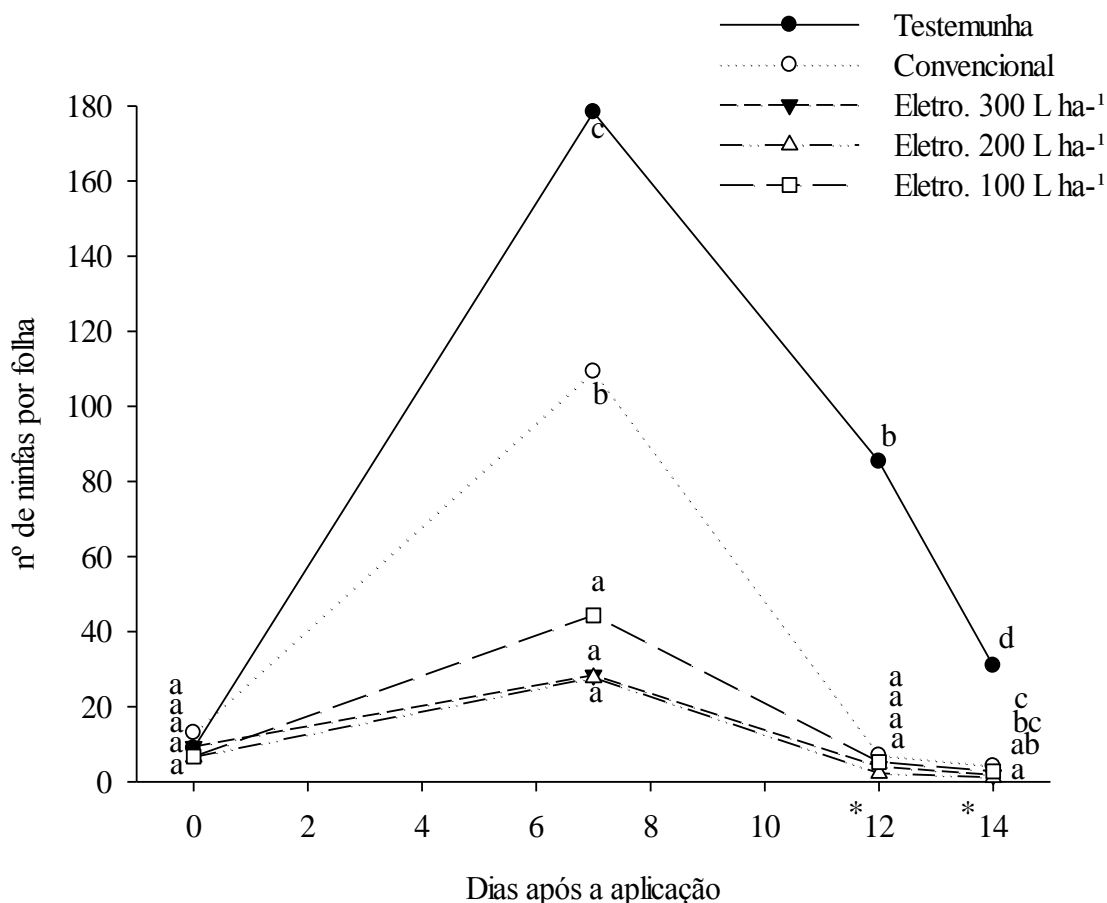


FIGURA 8. Número de ninfas de psilídeo-da-goiabeira por folha, na 1ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida. Médias seguidas por letras distintas, no mesmo dia de avaliação, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. \*Dados transformados por  $\sqrt{x}$  para análise estatística. Uberlândia, 2015.

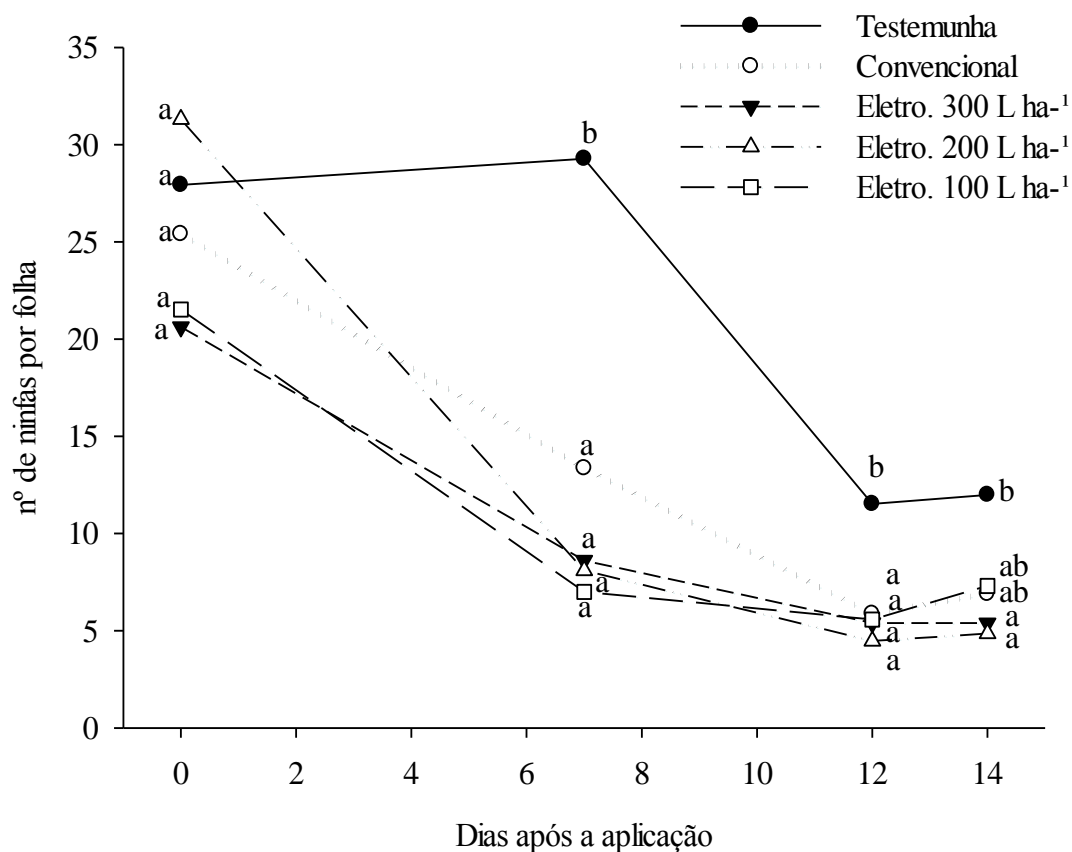


FIGURA 9. Número de ninfas de psilídeo-da-goiabeira por folha, na 2ª época, em função da tecnologia de aplicação de inseticida. Médias seguidas por letras distintas, no mesmo dia de avaliação, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. Uberlândia, 2015.

Em geral, não houve diferença entre a pulverização convencional e a eletrostática no controle do psilídeo-da-goiabeira, apesar das maiores eficiências observadas com as pulverizações eletrostáticas em comparação com a pulverização convencional nas avaliações de 7 e 14 DAA na 1ª época (Figura 8).

Na 1ª época, mesmo com as pulverizações convencional e eletrostática, o pico populacional da praga ocorreu 7 DAA. Porém, a porcentagem de folhas infestadas foi 45,97% menor nas parcelas com pulverização, como visto nos resultados para a pulverização eletrostática com 100 L ha<sup>-1</sup> (Figura 6), e o número de ninfas por folha foi 84,28% menor, como visto com a pulverização eletrostática com 200 L ha<sup>-1</sup> (Figura 8). Este aumento populacional pode ser devido às condições favoráveis ao psilídeo-da-goiabeira na área estudada, principalmente pelas altas temperaturas na época do

experimento e pelo manejo intenso da cultura com podas a fim de estimular novas brotações nas plantas.

Sobre o aumento populacional do psilídeo-da-goiabeira, Colombi e Galli (2009), ao estudarem a dinâmica populacional de *T. limbata* em um pomar de goiaba submetido ao uso mínimo de inseticida no município de Jaboticabal – SP, concluíram que as maiores densidades populacionais dessa praga ocorrem no período de setembro a novembro, com um aumento na população à medida que se eleva a temperatura durante o ano. Segundo os autores, esses aumentos também se devem à poda realizada em junho, que induz a brotação e o surgimento de folhas novas, que proporcionam condições favoráveis ao desenvolvimento do psilídeo-da-goiabeira, pois, de acordo com Gallo et al. (2002), a postura é realizada ao longo dos ponteiros e folhas novas. Essa forte relação do psilídeo com a poda no pomar também foi verificada por Barbosa et al. (2001).

Dessa maneira, Dalberto et al. (2004), ao avaliarem a flutuação populacional do psilídeo *T. limbata* em goiabeiras na região de Londrina - PR, constataram aumentos gradativos das populações da praga no mês de setembro, com pico em outubro, e concluíram que as altas temperaturas são favoráveis ao aumento das populações de *T. limbata* em plantas de goiabeiras. Para Medeiros, Costa e Batista (2012), os altos índices de infestação de psilídeo na cultura da goiabeira podem também estar relacionados ao manejo do pomar e à época da realização do monitoramento. Estas constatações podem explicar o aumento populacional exacerbado do psilídeo-da-goiabeira, mesmo após as aplicações de inseticidas, verificados na 1ª época do presente trabalho.

Por outro lado, após as outras aplicações de inseticida na área, nas duas épocas, houve reduções nas infestações e na população da praga comparado com a testemunha, mostrando que as aplicações de inseticida foram eficientes na redução populacional, independente da tecnologia empregada.

De forma semelhante, Colombi (2007), ao estudar a flutuação populacional de *Anastrepha* spp., *Ceratitis capitata* e *T. limbata*, em relação às possíveis correlações entre as pragas e os fatores meteorológicos, além de formas de manejo dessas pragas em um pomar de goiaba submetido ao uso mínimo de agrotóxico em Jaboticabal – SP, observou, após um pico populacional do psilídeo-da-goiabeira no mês de outubro, uma queda brusca na densidade de psilídeos e uma redução dos danos desta praga sobre a cultura. De acordo com o autor, isto ocorreu devido a aplicação de inseticida na área

experimental, assim como no presente trabalho, o que causou uma redução imediata na densidade populacional da praga e, posteriormente, a diminuição do número de folhas novas presentes no pomar, de maneira desfavorável ao desenvolvimento do psilídeo-da-goiabeira, já que não houve nova poda neste intervalo.

Apesar da população da praga ter apresentado uma tendência de redução em toda área experimental (Figuras 8 e 9), nota-se que nas parcelas onde não houve manejo da praga (testemunha), a porcentagem de folhas com sintomas de infestação do psilídeo-da-goiabeira continuou acima ou próxima do limiar de dano econômico (Figuras 6 e 7). Sobre isso, Pazini e Galli (2011), ao estudarem diferentes táticas de controle de *T. limbata* baseadas no monitoramento e na seletividade de inseticidas, a fim de reduzir aplicações e verificar a eficácia de inseticidas adequados ao manejo integrado, concluíram que o inseticida imidacloprido é eficiente no controle do psilídeo-da-goiabeira, assim como foi observado no presente trabalho.

Ao considerarem-se todas as avaliações feitas na área, nas duas épocas experimentais, a pulverização eletrostática superou a convencional, com melhor controle do psilídeo-da-goiabeira. Este melhor desempenho no controle da praga acompanha o fato das deposições de calda com a pulverização eletrostática terem sido maiores em comparação com a aplicação convencional, além das menores perdas de calda para o solo, como verificado no estudo das tecnologias de aplicação. Vale destacar que em algumas avaliações, a aplicação convencional com 600 L ha<sup>-1</sup>, não se diferenciou da testemunha, principalmente na porcentagem de folhas com sintomas.

A respeito da eficiência da pulverização eletrostática, Ru, Zhou e Zheng (2011), em trabalho para avaliar o controle de *Micromelalopha troglodita* em culturas florestais com pulverizadores pneumáticos de longo alcance, verificaram que com a pulverização eletrostática o controle da praga foi 20% maior em comparação com pulverizações convencionais. Segundo estes autores, essa melhoria de eficácia se dá principalmente devido a maior deposição das gotas no alvo, promovida com a pulverização eletrostática, o que também foi constatado no presente trabalho.

Por sua vez, Serra (2007), ao avaliar o controle do ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) na cultura do crisântemo através da pulverização eletrostática comparada a pulverizações convencionais, também constatou maior eficiência com a técnica de pulverização com gotas eletrificadas, assim como constatado no presente trabalho para o manejo do psilídeo-da-goiabeira.

Xiongkui et al. (2011), em trabalho para desenvolver um pulverizador eletrostático para manejo fitossanitário em pomares na China, a fim de reduzir as aplicações de agrotóxicos, concluíram que a pulverização eletrostática é eficiente no manejo de pragas de culturas arbóreas devido a capacidade de penetração na copa das árvores e a maior deposição no alvo em comparação com pulverizadores convencionais. Os resultados deste trabalho, de acordo com os autores, demonstraram que o pulverizador hidropneumático eletrostático pode reduzir a utilização de agrotóxicos em 50 a 75%. No presente trabalho, foi possível reduzir em até seis vezes a taxa de aplicação com a pulverização eletrostática, em comparação com a tecnologia convencional, sem prejudicar a eficácia de controle do psilídeo, com deposição de calda até duas vezes maiores e perdas para o solo até quatro vezes menores.

#### 4 CONCLUSÕES

A pulverização eletrostática proporcionou maior deposição de calda nas plantas e menores perdas para o solo em comparação a pulverização convencional.

A pulverização eletrostática não foi capaz de uniformizar a deposição de calda nos diferentes quadrantes das plantas.

O uso da eletrificação de gotas, em comparação a gotas não eletrificadas, é mais eficiente no controle químico de *T. limbata* em goiabeira.

Com a pulverização eletrostática é possível reduzir taxas de aplicação convencionais, sem prejudicar o controle do psilídeo-da-goiabeira.

## REFERÊNCIAS

INSTITUTO FNP. **Agrianual 2013: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Sao Paulo: FNP, 2013, 334p.

AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. **Base de dados de produtos agrotóxicos e fitossanitários**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2015. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 26 jan. 2015.

ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.8, p.622-629, 2014.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra, ANSI/ASAE S572.1**. St. Joseph, Michigan, 2009. 4 p.

BALAN, M. G.; ABI SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G. Depósito e perdas de calda em sistemas de pulverização com turboatomizador em videira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n. 2, p.470-477, 2006.

BARBOSA, F. R.; SOUZA, E. A.; SIQUEIRA, K. M. M.; MOREIRA, W.A.; ALENCAR, J. R.; HAJI, F. N. P. Eficiência e seletividade de inseticidas no controle de psilídeo (*Triozoida* sp.) em goiabeira. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.11, s/n, p. 45-52, 2001.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. A. R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 546-551, 2006.

BAYER, T.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.192-198, 2011.

BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Estudo do espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 54, n. 3, p. 225-234, 2011.

BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; NAVES, M. G.; TAVARES, R. M. Deposição de calda e controle de plantas daninhas empregando pulverizador de barra convencional e com barra auxiliar, em volumes de calda reduzidos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 447-454, 2014.

CERQUEIRA, D. T. R. **Depósito da pulverização e controle de *Tetranychus urticae* Koch em crisântemo de corte com pulverizador assistido por ar e eletrostático.** 2013. 50f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

CHAIM, A. **Pulverização eletrostática: principais processos utilizados para eletrificação de gotas.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 17p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, n.57).

COLOMBI, C. A. **Dinâmica populacional de moscas-das-frutas e de *Triozyda limbata* (Hemiptera: Psyllidae) e danos de *Costalimaita ferruginea* (Coleoptera: Chrysomelidae) e de *T. limbata* em pomar de goiaba submetido a sistema de racionalização de inseticidas.** 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

COLOMBI, C. A.; GALLI, J. C. Dinâmica populacional e evolução de dano de *Triozyda limbata* (Hemiptera: Psyllidae) em goiabeira, em Jaboticabal, SP. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 412-416, 2009.

CORRÊA, M. C. M.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; NETO, A. D.; SILVA, M. A. C. Aspectos morfofisiológicos da goiabeira cultivar Paluma. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 67-71, 2004.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURRY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.

DALBERTO, F. M. S.; MENEZES JUNIOR, A. O.; SIMÕES, H. C.; BENITO, N. P.; PITWAK, J. Flutuação populacional do psílídeo-da-goiabeira, *Triozyda limbata* (Hemiptera: Psyllidae) na região de Londrina Paraná, PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 2, p. 87-92, 2004.

ESEHAGHBEYGI, A.; TADAYYON, A.; BESHARATI, S. Comparison of Electrostatic and Spinning-discs Spray Nozzles on Wheat Weeds Control. **Journal of American Science**, New York, v. 6, n. 12, p. 529-533, 2010.

FAVARIN, J. L.; NETO, D. D.; GARCÍA, A. G.; NOVA, N. A. V.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERNANDES, A. P.; FERREIRA, M. C.; MARTINELLI, N. M. Mortalidade do ácaro *Brevipalpus phoenicis* em função da cobertura de pulverização de acaricidas, com e sem adjuvantes, em mudas de café. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 80, n. 2, p. 173-187, 2005.

FERNANDES, A. P.; FERREIRA, M. C.; OLIVEIRA, C. A. L. Eficiência de diferentes ramais de pulverização e volumes de calda no controle de *Brevipalpus phoenicis* na cultura do café. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v.54, n. 1, p.130-135, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensaios de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. I. BAPTISTA, G. C. de V; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.

GOMES, E. C. S; MIRANDA, J. R; PINTO, K. M. S; LEITE, R. P; NASCIMENTO, L. C Infestação de psilídeo em goiabeira “paluma”. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 751-754, 2009.

GULER, H.; ZHU, H. E.; KERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-flan nozzles. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 745-754, 2007.

KIRK, I.W. Measurement and prediction of atomization parameters from fixed-wing aircraft spray nozzles. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v.50, n. 3, p.693-703, 2007.

KONNO, R. H.; FRANCO, C. R.; OMOTO, C. Suscetibilidade de populações de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) a acaricidas organoestânicos em citros. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.703-709, 2001.

LARYEA, G. N.; NO, S. Y. Effect of fan speed and electrostatic charge on deposition of orchard canopy sprays. **Atomization and Sprays**, Danbury, v. 15, n. 2, p. 133-144, 2005.

LIMA, J. O. G.; GRAVINA, G. A. Failure of imidacloprid and thiacloprid to control the guava-psyllid, *Triozyda limbata* (Enderlein) (Hemiptera: Psyllidae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1888-1891, 2009.

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, L. B.; FERREIRA, L. R.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 798-804, 2011.

MARTI, S. P.; POLO, J.; GIL, E. Optimizing pesticide spray application in tree crops. St. Joseph: **ASABE**, 2006. (Paper, 1128).

MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H.; FERREIRA, L. R. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas e equipamentos de aplicação**. In: ABEAS-Curso de Proteção de plantas. Modulo 2. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV; 2005. 85 p. (Apostila).

MEDEIROS, J. G. F.; COSTA, N. P.; BATISTA, J. L. Nível de infestação de psilídeo (*Triozyda* sp.) em goiabeiras das cultivares Paluma e Rica. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 4, p. 183-187, 2012.

MIRANDA, G. R. B.; RAETANO, C. G.; CUNHA, M. D. Q.; PINHEIRO, J. M.; LOPES, P. R.; PRADO, A. S.; CARVALHO, R. H.; GONÇALVES, M. P.



Equipamentos de pulverização associados a volumes de calda e avaliados por alvos artificiais em cafeeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v.6, n.22, p.448-459, 2013.

NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M. DE; BAETENS, K.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D.; VERBOVEN, P. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five-year study. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v.54, n. 2, p.403-408, 2011.

OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; MOURA, C. S. F. T.; LIMA JÚNIOR, A. F.; ROSA, S. R. A. Cultivo da goiabeira: do manejo da planta ao armazenamento de frutos. **Revista Faculdade Montes Belos**, Montes Belos, v. 5, n. 4, p. 157-179, 2012.

PAZINI, W. C.; GALLI, J. C. Redução de aplicações de inseticidas através da adoção de táticas de manejo integrado do *Triozoida limbata* (Enderlein, 1918) (Hemiptera: Triozidae) em goiabeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 66-72, 2011.

RAMOS, H.; YANAI, K.; CORRÊA, I. M.; BASSANEZI, R. B.; LUIS C. GARCIA, L. C. Características da pulverização em citros em função do volume de calda aplicado com turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, s/n., p.56-65, 2007.

RU, Y.; ZHOU, H.; ZHENG, J. Design and experiments on droplet charging device for high-range electrostatic sprayer. In: STOYTCHIEVA, M. (Ed.), **Pesticides in the Modern World: Pesticides Use and Management**. Rijeka: INTECH Open Access Publisher, 2011. p. 137-148.

SÁ, V. A.; FERNANDES, M. G. Himenópteros parasitoides associados a ninfas de *Triozoida limbata* na cultura da goiabeira, em Ivinhema, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p.19-21, 2015a.

SÁ, V. A.; FERNANDES, M. G. Spatial Distribution of Nymphs of *Triozoida limbata* Enderlein, 1918 (Hemiptera: Triozidae) in Guava Orchards. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 7, n. 2, p. 41-54, 2015b.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. B.; RODRIGUES, D. E. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.9, p.1605-1609, 2013.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; SANTIAGO, H.; MADUREIRA, R. P.; MACIEL, C. F. S.; FERNANDES, H. C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 274-279, 2015.

SERRA, M. E. **Deposição e eficiência da pulverização eletrostática no controle do ácaro-rajado *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae) na cultura do crisântemo**. 2007. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

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, 2008.

SILVA, F. A. S. **Assistat 7.7 beta**. UFCG, Campina Grande, 2013.

SILVA, J. E. R.; CUNHA, J. P. A. R.; NOMELINI, Q. S. S. Deposição de calda em folhas de cafeeiro e perdas para o solo com diferentes taxas de aplicação e pontas de pulverização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.12, p.1302–1306, 2014.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**: the principles and practice of statistics in biological research. 3<sup>a</sup> ed., New York: W. H. Freeman, 1995. 937p.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-D amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p.1149-1156, 2011.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.

SYSTAT SOFTWARE, Inc. **SigmaPlot for Windows, version 12.0**. Chicago, IL, 2011.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.

VALENTE, F. I. **Distribuição intra-planta de frutos atacados de goiaba por *Conotrachelus psidii* Marshall, 1922 (Coleoptera: Curculionidae) em cultivo orgânico**. 2014. 34f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2014.

VILLALBA, J.; HETZ, E. Deriva de productos agroquímicos - Efecto de las condiciones ambientales. In: \_\_\_\_\_. **Tecnología de aplicación de agroquímicos**. Argentina: Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. Cap.3, p.45-54.

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**, Pequim, v. 4, n. 1, p. 35-40, 2011.

ZHAO, S.; CASTLE, G. S. P.; ADAMIAK, K. Factors affecting deposition in electrostatic pesticide spraying. **Journal of Electrostatics**, Londres, v. 66, n. 1, p. 594-601, 2008.

ZHOU, Y.; QI L.; JIA, S.; ZHENG, X.; MENG, X.; TANG, Z.; SHEN, C. Development and application prospects of pneumatic electrostatic sprayer in orchard. **Asian Agricultural Research**, Pequim, v.4, n.1, p.78-80, 2012.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pulverização eletrostática é uma tecnologia promissora que visa otimizar a agricultura e os tratamentos fitossanitários, através da redução das taxas de aplicação e das consequentes perdas de calda para o ambiente, além de favorecer a eficiência das pulverizações.

No entanto, não é uma técnica que resolve todos os problemas da tecnologia de aplicação, principalmente no que se diz respeito às perdas de gotas com diâmetros reduzidos para o ambiente. Apesar da pulverização eletrostática possibilitar a redução de taxas de aplicação e maiores deposições de calda, esta tecnologia depende de gotas com diâmetros reduzidos, muito sujeitas à deriva.

Além disso, a respeito das características físico-químicas das caldas de aplicação, é necessário destacar há dúvidas sobre a condutividade elétrica, já que alguns autores afirmam que substâncias com capacidade de aumentar esta característica podem favorecer a eficiência da pulverização eletrostática, o que não foi observado no presente trabalho. Portanto este efeito precisa ser melhor estudado, principalmente em relação a possíveis interações entre adjuvantes, agrotóxicos e água.

Por isso, a pulverização eletrostática é uma tecnologia complexa, que exige boa técnica de quem a está empregando, isto é, deve ser adotada juntamente com um bom conhecimento das condições ideais de aplicação, dos produtos utilizados, das características dos alvos biológicos e das culturas. Assim, são extremamente importantes o aperfeiçoamento e a atividade do profissional da tecnologia de aplicação na difusão desta tecnologia na agricultura.

Por fim, é necessário destacar que, a partir dos resultados obtidos no capítulo III deste trabalho, no qual se utilizou a vazão de  $1,45 \text{ L min}^{-1}$  e uma calda composta pelo inseticida imidacloprido, ambos estudados no capítulo II, a pulverização eletrostática é eficiente nos tratamentos fitossanitários. No capítulo II, com o estudo da relação Q/M, notou-se que quanto menor a vazão, maior seria a eficiência do sistema eletrostático. No entanto, vazões muito reduzidas prejudicariam a velocidade de deslocamento do pulverizador no campo, a fim de manter as taxas de aplicação. Por isso optou-se pela vazão de  $1,45 \text{ L min}^{-1}$ , apesar de esta ter gerado uma relação Q/M considerada baixa para os padrões de eficiência para a pulverização eletrostática. Mesmo assim, os tratamentos com eletrificação de gotas resultaram em eficiências satisfatórias nas aplicações.

## ANEXO A

TABELA 1. Valores de F calculados por meio das análises de variância e valores dos testes de pressuposições dos dados quantitativos avaliados

			Fc	C.V. (%)	W/K-S	F <sub>Levene</sub>
Experimento 1	Relação Q/M <sup>1</sup>	Vazão	25,39*	16,53	<b>0,974</b>	3,159
Experimento 2	Relação Q/M	Distância	12,45*	32,49	<b>0,932</b>	<b>1,690</b>
Experimento 3	Relação Q/M	Calda	4,87*			
		Vazão	197,15*	24,79	<b>0,982</b>	3,616
		C x V	1,60 <sup>ns</sup>			
	AR	Calda	13,52*			
		Vazão	181,17*	3,11	0,631	5,966
		C x V	1,29 <sup>ns</sup>			

Fc: valor de F calculado. C x V: interação entre calda e vazão. C.V: coeficiente de variação. W/K-S; F<sub>Levene</sub>: estatística dos testes de Shapiro-Wilk ou de Kolmogorov-Smirnov, e de Levene, respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas, a 0,01 de significância. <sup>1</sup>Dados transformados por  $\sqrt{x}$  para análise estatística. \*significativo a 0,01. <sup>ns</sup>não significativo.

## ANEXO B

TABELA 6. Valores de F calculados por meio das análises de variância e valores dos testes de pressuposições dos dados avaliados

Porcentagem de folhas infestadas								
	1ª época				2ª época			
	1ª Av.	2ª Av.	3ª Av.	4ª Av.	1ª Av.	2ª Av.	3ª Av.	4ª Av.
Fc	1,38 <sup>ns</sup>	11,26*	7,65*	17,82*	3,48 <sup>ns</sup>	9,11*	8,53*	24,94*
C.V. (%)	22,23	16,95	17,03	16,40	17,27	21,02	24,36	12,70
W/K-S	<b>0,958</b>	<b>0,982</b>	<b>0,983</b>	<b>0,959</b>	<b>1,311</b>	<b>0,971</b>	<b>0,940</b>	<b>0,955</b>
F <sub>Levene</sub>	<b>2,074</b>	<b>0,615</b>	<b>0,133</b>	<b>1,954</b>	<b>1,199</b>	<b>3,684</b>	<b>0,388</b>	<b>1,409</b>
F <sub>Aditividade</sub>	<b>0,127</b>	<b>1,240</b>	<b>1,094</b>	<b>3,826</b>	<b>0,421</b>	<b>1,153</b>	<b>0,360</b>	<b>2,315</b>

Nº de ninfas por folha								
	1ª época				2ª época			
	1ª Av.	2ª Av.	13ª Av.	14ª Av.	1ª Av.	2ª Av.	3ª Av.	4ª Av.
Fc	0,53 <sup>ns</sup>	45,03*	143,11*	268,04*	0,82 <sup>ns</sup>	27,27*	19,52*	5,24**
C.V. (%)	80,25	25,17	15,17	9,60	38,72	26,78	19,11	33,78
W/K-S	<b>0,914</b>	<b>0,969</b>	<b>0,218</b>	<b>0,218</b>	<b>0,974</b>	<b>0,932</b>	<b>0,942</b>	<b>0,969</b>
F <sub>Levene</sub>	<b>2,120</b>	<b>1,056</b>	<b>3,742</b>	11,716	<b>0,949</b>	<b>0,830</b>	<b>1,294</b>	<b>3,186</b>
F <sub>Aditividade</sub>	<b>1,965</b>	<b>0,043</b>	15,244	<b>4,573</b>	<b>0,710</b>	<b>7,221</b>	<b>3,232</b>	<b>0,991</b>

Fc: valor de F calculado. W/K-S; F<sub>Levene</sub>; F<sub>Aditividade</sub>: estatística dos testes de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov, de Levene e de Tukey para aditividade, respectivamente. C.V: coeficiente de variação. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, a 0,01 de significância, respectivamente. <sup>1</sup>Dados transformados por  $\sqrt{x}$  para análise estatística. \*significativo a 0,01. \*\*significativo a 0,05. <sup>ns</sup>não significativo.