

TIAGO MENCARONI GUAZZELLI

**PULVERIZADOR PNEUMÁTICO AUTOPROPELIDO CONTROLADO E  
MONITORADO À DISTÂNCIA PARA O TRATAMENTO  
FITOSSANITÁRIO DE TOMATEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G919p  
2018

Guazzelli, Tiago Mencaroni, 1992-

Pulverizador pneumático autopropelido controlado e monitorado à distância para o tratamento fitossanitário de tomateiros / Tiago Mencaroni Guazzelli. – Viçosa, MG, 2018. xii, 67f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 58-67.

1. Tomate - Doenças e pragas - Controle. 2. Pulverização. 3. Produtos químicos agrícolas - Aplicação - Inovações tecnológicas. 4. Trabalhadores rurais - Avaliação de risco de saúde. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 635.64295

TIAGO MENCARONI GUAZZELLI

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2018.

---

Haroldo Carlos Fernandes  
(Coorientador)

---

Marcus Vinicius Morais de Oliveira

---

Mauri Martins Teixeira  
(Orientador)

**Ao divino Espírito Santo e à minha família**

DEDICO

*“Tendo amor e saúde da vida eu não reclamo,  
amo a vida que levo e levo a vida que amo”*

Tião Carreiro

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela fé incondicional e pela força para concluir mais esta etapa da minha vida.

À minha mãe Luciana, à minha avó Aparecida, em memória, e ao meu padrasto Virgílio, por sempre acreditarem, pela paciência, pela compreensão e por nunca me abandonarem.

Às minhas tias, Elaine, Denise e Cláudia e a toda minha família, que sempre me incentivaram e acreditaram no meu potencial e objetivo.

À minha namorada Lorena, pelo apoio, paciência, incentivo e carinho ao longo desta jornada.

Ao professor Mauri Martins Teixeira, pela paciência, orientação, compreensão, e pelos valiosos ensinamentos a mim passados.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e pelo auxílio desde o início da minha graduação.

Aos professores Haroldo Carlos Fernandes, Paulo Roberto Cecon e Edney Leandro da Vitória, pelo ensinamento, coorientação e auxílio na execução deste trabalho.

Ao professor Marconi, pela amizade e pelos ensinamentos.

À República Alambique e seus ex e atuais moradores, pela amizade, companheirismo e apoio e às demais Repúblicas parceiras.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao amigo Paulo Roberto Forastiere, pelo apoio que foi fundamental na elaboração deste projeto.

Aos colegas do laboratório de Pós-Graduação em Mecanização Agrícola, em especial Jéssica, Juliana, Anderson, Gustavo, Gefferson, Cleonice, Matheus, Gregory, Felipe, Helizani, Diego, Ely, Flávio, Remo e Larissa.

Aos servidores do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial Danilo, Marcelo, Vantiul, Geraldo e Gilson.

A todos que estiveram presentes nos momentos difíceis e que, de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, agradeço imensamente.

## **BIOGRAFIA**

Tiago Mencaroni Guazzelli, filho de Luciana Aparecida Mencaroni Lara e Reinaldo Dias Guazzelli, nascido no dia 06 de março de 1992, em Fernandópolis, São Paulo.

Em 2009, concluiu o ensino médio pelo Sistema COC de Educação e Ensino em Ribeirão Preto, São Paulo. Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, no ano de 2015. Em seguida iniciou seu mestrado em Mecanização Agrícola, também na UFV, sendo concluído ao final de fevereiro de 2018.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| RESUMO .....  | ix |
| ABSTRACT .....  | xi |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1  |
| 2. OBEJTIVO.....  | 3  |
| 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 3  |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....  | 4  |
| 3.1. A CULTURA DO TOMATEIRO.....  | 4  |
| 3.2. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS PARA<br>OLERÍCOLAS .....                           | 6  |
| 3.3. PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA .....  | 8  |
| 3.4. PULVERIZADORES CONTROLADOS À DISTÂNCIA .....   | 10 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 11 |
| 4.1. ÁREA EXPERIMENTAL.....   | 11 |
| 4.2. CARACTERÍSTICAS DO PULVERIZADOR PNEUMÁTICO AUTOPROPELIDO. 11                                       |    |
| 4.3. AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DO PULVERIZADOR PNEUMÁTICO<br>AUTOPROPELIDO.....                         | 15 |
| 4.3.1. Determinação da curva característica do ventilador do<br>pulverizador.....                       | 15 |
| 4.3.2. Avaliação do homogeneizador de ar e do comando do defensivo 18                                   |    |
| 4.3.3. Determinação da velocidade mínima do ar para fragmentação do<br>líquido em gotas .....           | 19 |
| 4.4. DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES DE PULVERIZAÇÃO .....   | 20 |
| 4.5. CALIBRAÇÃO DO PULVERIZADOR PNEUMÁTICO AUTOPROPELIDO .....  | 21 |
| 4.6. PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO DO<br>PULVERIZADOR PNEUMÁTICO AUTOPROPELIDO ..... | 22 |
| 4.7. DETERMINAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS .....  | 24 |
| 4.8. CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL E PONDERAL DO PULVERIZADOR<br>PNEUMÁTICO AUTOPROPELIDO .....            | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 4.8.1. Tamanho do pulverizador pneumático autopropelido.....                                 | 24 |
| 4.8.2. Vão livre vertical e horizontal.....  | 24 |
| 4.8.3. Ângulos de entrada e saída do pulverizador.....                                       | 25 |
| 4.8.4. Raio e espaço de giro .....   | 25 |
| 4.8.5. Relação entre raio e espaço de giro .....   | 26 |
| 4.8.6. Centro de gravidade do pulverizador pneumático autopropelido                          | 26 |
| 4.8.7. Declividade operacional limite.....   | 27 |
| 4.8.8. Declividade máxima operacional .....  | 28 |
| 4.8.9. Velocidade do pulverizador pneumático autopropelido.....                              | 28 |
| 4.8.10. Determinação dos níveis de ruído .....   | 28 |
| 4.9. AVALIAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA A CAMPO.....                                       | 28 |
| 4.9.1. Condições psicrométricas do ar.....   | 29 |
| 4.9.2. Determinação da cobertura e densidade de gotas.....                                   | 30 |
| 4.9.3. Deposição da calda nas folhas do tomateiro .....                                      | 32 |
| 4.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....  | 34 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 35 |
| 5.1. CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL E PONDERAL.....  | 35 |
| 5.1.1. Tamanho do pulverizador pneumático autopropelido.....                                 | 35 |
| 5.1.2. Vão livre vertical e vão livre horizontal.....  | 35 |
| 5.1.3. Ângulos de entrada e saída.....   | 35 |
| 5.1.4. Raio e espaço de giro .....   | 36 |
| 5.1.5. Relação entre raio e espaço de giro .....   | 36 |
| 5.1.6. Massa estática e centro de gravidade do pulverizador pneumático<br>autopropelido..... | 36 |
| 5.1.7. Declividade operacional limite e máxima .....   | 38 |
| 5.1.8. Velocidade do pulverizador pneumático autopropelido.....                              | 38 |
| 5.1.9. Determinação dos níveis de ruído .....  | 39 |
| 5.2. AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DO PULVERIZADOR PNEUMÁTICO<br>AUTOPROPELIDO.....              | 39 |
| 5.2.1. Determinação da curva característica do ventilador do<br>pulverizador.....            | 39 |

|  |    |
|--|----|
| 5.2.2. Determinação da velocidade mínima do ar para atomizar o líquido em gotas .....                  | 40 |
| 5.2.3. Avaliação do homogeneizador de ar .....   | 43 |
| 5.2.4. Avaliação do comando do defensivo .....   | 44 |
| 5.3. DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES DE PULVERIZAÇÃO .....  | 44 |
| 5.4. AVALIAÇÃO DA PULVERIZAÇÃO PNEUMÁTICA.....   | 45 |
| 5.4.1. Condições psicrométricas do ar.....   | 45 |
| 5.4.2. Perfil e uniformidade de distribuição de líquido do pulverizador pneumático autopropelido ..... | 46 |
| 5.3.4. Determinação do espectro de gotas .....   | 49 |
| 5.3.5. Determinação da cobertura, densidade de gotas e deposição de líquido .....                      | 51 |
| 6. CONCLUSÕES.....   | 57 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 58 |

## RESUMO

GUAZZELLI, Tiago Mencaroni, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Pulverizador pneumático autopropelido controlado e monitorado à distância para o tratamento fitossanitário de tomateiros.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Haroldo Carlos Fernandes, Edney Leandro da Vitória e Paulo Roberto Cecon.

O tomate é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil, plantada em todas as regiões e cultivada o ano todo. Um dos problemas desta cultura é a grande suscetibilidade ao ataque de pragas e de doenças, bem como a competição com plantas daninhas. Dessa forma uma das práticas mais utilizadas para a obtenção de uma elevada produção é o controle químico com defensivos agrícolas, sendo que o uso da tecnologia de aplicação vem para auxiliar produtores a produzirem da maneira mais sustentável possível. A contaminação dos aplicadores por agroquímicos é quase certa, salvo se houverem a utilização de equipamentos de proteção individual. Objetivou-se o aperfeiçoamento de um pulverizador pneumático autopropelido que minimize a contaminação dos aplicadores por defensivos agrícolas na cultura do tomate e que possibilite o aumento da eficiência das aplicações. Um dos objetivos do desenvolvimento do pulverizador pneumático autopropelido foi obter um maior conhecimento dos atributos da máquina. Durante os ensaios procurou-se determinar a velocidade mínima do ar para fragmentar o líquido em gotas, variando-se a velocidade do ar e o fluxo de líquido. Concluiu-se que quanto maior o fluxo de ar, menor foi o tamanho das gotas e que quanto maior o fluxo de líquido maior o tamanho médio das gotas. A uniformidade de distribuição de líquido foi analisada empregando-se o coeficiente de variação (%) e constatou-se que variou de 28,40 a 63,89%. O espectro de gotas foi caracterizado utilizando um analisador de partículas a laser, sendo que o espectro de gotas apresentou 75,10 a 47,05% de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ . Para avaliação da qualidade da pulverização utilizaram-se etiquetas de papel hidrossensível para determinar a porcentagem de área coberta (%) e a densidade de gotas (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ). A deposição de líquido no dossel das plantas foi de 0,0033 a 0,01149  $\mu\text{L cm}^{-2}$ , aumentando conforme o volume de pulverização aumenta, já para as posições e profundidades no dossel da planta não houve diferença significativa entre os índices volumétricos. A porcentagem de área coberta foi de 1,53 a 11,82% para os índices volumétricos em função dos terços e posições,

já a densidade de gotas variou de 77,22 a 429,78 gotas  $\text{cm}^{-2}$  para os terços e profundidades. O índice volumétrico de 5  $\text{mL m}^{-3}$ , com volume de pulverização de 50  $\text{L ha}^{-1}$ , atendeu aos parâmetros de uma pulverização de qualidade.

## ABSTRACT

GUAZZELLI, Tiago Mencaroni, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Self-propelled pneumatic sprayer distance controled and monitored for phytosanitary treatment of tomatos.** Adviser: Mauri Martins Teixeira. Co-advisers: Haroldo Carlos Fernandes, Edney Leandro da Vitória and Paulo Roberto Cecon.

Tomato is one of the most consumed vegetables in Brazil, planted in all regions and grown throughout the year. One of the problems of this culture is the great susceptibility to pests and diseases attacks, as well as the competition with weeds plants. In this way one of the most used practices for obtainment of high production is the chemical control with pesticides, being that the use of the application technology comes to help growers to produce in the most sustainable way possible. The contamination of applicators by agrochemicals is almost certain, unless if there are equipments for individual safety used. It was aimed the improvement of an self-propelled pneumatic sprayer that minimizes the contamination of the applicators by agricultural pesticides in the tomato crop and make it possible to increase the efficiency of the applications. Another objective of the development of the self-propelled pneumatic sprayer was to obtain a greater knowledge of the attributes of the machine. During the tests, the minimum air speed was determined to fragment the liquid in drops, varying the air speed and the liquid flow. It was concluded that how bigger was the air flow, smaller was the drop size and that the greater is the liquid flow the bigger is the average drops size. The uniformity of liquid distribution was analyzed using the variation coefficient (%) and it was contacted that varied from 28,40 to 63,89%. The drops spectrum were characterized using a particle analyzer laser, with the drops spectrum presented 75,10 to 47,05% of droplets less than 100  $\mu\text{m}$ . For evaluation of the quality of the spraying, were used hydrosensitive paper labels to determine the percentage of covered area (%) and the drops density (drops  $\text{cm}^{-2}$ ). The deposition of liquid on the canopy of the plants was 0,0033 a 0,01149  $\mu\text{L cm}^{-2}$ , increasing according the spray volume increases, already for positions and depths on the plant canopy there was no significant difference between the volumetric indexes. The percentage of covered area was 1,53 to 11,82% for volumetric indexes in function of the thirds and positions, already the drops density of droplets varied from 77,22 to 429,78 drops  $\text{cm}^{-2}$  for the thirds and depths. The

volumetric index of  $5 \text{ mL m}^{-3}$ , with spray volume of  $50 \text{ L ha}^{-1}$ , looks to the parameters of a quality spray.

## 1. INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum Lycopersicon L.*) é uma hortaliça cultivada em quase todos os estados brasileiros, consumida tanto *in natura*, acompanhando refeições, quanto processada, por meio de molhos prontos e de extratos concentrados. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais desse produto razão pela qual observam-se importâncias econômicas, culturais e ambientais que abrangem essa cultura.

Como é cultivado, muitas vezes, em grande escala, as plantas e os frutos sofrem ataques de pragas e de doenças, como bactérias, vírus, fungos e insetos, e também sofrendo competição com plantas invasoras, as quais podem afetar, diretamente e indiretamente a qualidade do fruto.

Para que isso não ocorra, técnicas de manejo são utilizadas, como adubação, manejo cultural e manejo integrado de pragas, de doenças e de plantas daninhas. Porém, a produção em grandes quantidades, sem a intervenção do controle químico, torna-se inviável economicamente, havendo, assim, a necessidade da utilização de defensivos agrícolas para atingir uma produção que satisfaça o consumidor e dê retorno econômico ao produtor rural.

O Brasil é um dos maiores consumidores de defensivos agrícolas do mundo, e estudos, cada vez mais minuciosos, tentam promover a redução desse consumo. A diminuição da utilização de defensivos agrícolas é fundamental para que haja sucesso na mitigação das contaminações ambientais, e dos trabalhadores envolvidos no processo de produção agrícola e na redução dos resíduos em alimentos.

Além disso, caso haja um manejo inadequado dos defensivos agrícolas, aumenta-se, consideravelmente, a exposição do aplicador ao produto, o que pode comprometer, de maneira imediata (intoxicação aguda) ou em longo prazo (intoxicação crônica) a sua saúde.

Os custos de produção de olerícolas são onerosos devido aos tratamentos culturais, que devem ser intensos e corriqueiros ao longo da safra agrícola. A mão de obra é um fator que aumenta, consideravelmente, os custos de produção, sendo que a mecanização e a automação dos processos agrícolas nas lavouras são saídas para se reduzir tais custos, diminuindo-se a contaminação dos trabalhadores no campo.

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas deve ser empregada com o objetivo de auxiliar a prevenção de problemas ambientais e de garantir a sanidade do consumidor, mantendo o aplicador prevenido de reveses ao exercer a atividade.

Uma boa metodologia de aplicação de defensivos agrícolas implica na adoção dos equipamentos de proteção individual e o seu uso, do produto correto para controlar o alvo em questão e de condições meteorológicas adequadas. Evitando ao máximo, perdas por deriva e evaporação, assim como em uma correta escolha do equipamento e de seus acessórios a serem empregados na pulverização.

A avaliação de uma aplicação de defensivos agrícolas inicia-se a partir do momento em que o líquido é fragmentado em gotas, buscando melhorar os parâmetros técnicos, como uniformidade da aplicação, diâmetro de gotas e cobertura do alvo, de tal modo a permitir melhor qualidade na pulverização.

Dessa forma, torna-se importante o monitoramento da pulverização para garantir que a quantidade correta de ingrediente ativo proveniente do defensivo agrícola chegue ao alvo com o mínimo de perdas possíveis, evitando-se eventuais contaminações das pessoas envolvidas nos processos e menores níveis de resíduos, tanto nos alimentos, como no meio ambiente.

Para se aplicar a quantidade ideal de fitossanitário em culturas de porte arbóreo, deve-se determinar a quantidade correta de material vegetal presente na área a ser tratada. Um dos métodos de quantificação de massa foliar por unidade de área é o do TRV (Tree Row Volume), que leva em consideração as dimensões das plantas a fim de se obter o volume do dossel das plantas presentes na área.

A adoção dessas tecnologias permite um aumento da eficácia das aplicações de defensivos agrícolas, diminuição da contaminação ambiental e redução das intoxicações dos operadores, além do controle eficiente de patógenos, de insetos e de plantas daninhas, visando a um melhor posicionamento do produto no alvo e maximizando o retorno financeiro para os produtores rurais.

## **2. OBEJTIVO**

Diante do exposto objetivou-se, com este trabalho o desenvolvimento de um pulverizador pneumático autopropelido monitorado e controlado à distância, visando a minimizar a contaminação dos aplicadores por defensivos agrícolas na cultura do tomateiro e a aumentar a eficiência das aplicações dos mesmos.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Caracterizar o pulverizador pneumático autopropelido quanto aos quesitos ponderais e dimensionais;
- Avaliar o ventilador do pulverizador pneumático autopropelido;
- Estimar o volume de pulverização em função do volume do dossel e do índice volumétrico;
- Determinar a velocidade mínima do ar para fragmentar o líquido em gotas;
- Determinar o espectro de gotas formado pelo pulverizador pneumático autopropelido;
- Determinar o perfil de distribuição do líquido e a uniformidade de distribuição do líquido do pulverizador pneumático autopropelido;
- Avaliar a qualidade da pulverização realizada pelo pulverizador pneumático autopropelido.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. A cultura do tomateiro

O tomate (*Solanum Lycopersicon L.*) é uma cultura de grande importância mundial, com uma produção de aproximadamente, 177 mil toneladas em 4,79 mil hectares, no ano de 2016, segundo *Food and Agriculture Organization – FAO* (2018). Dentre os maiores produtores mundiais, a China destaca-se com 31,38% da produção mundial, seguida por Índia (9,82 %), Estados Unidos da América (7,80%), Turquia (7,12%), Egito (4,43%), Itália (3,63%), Espanha (2,68%), Brasil (2,36%) e México (2,21%) (FAO, 2018).

Na safra de 2017, os estados brasileiros que mais se sobressaíram na produção de tomate foram Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Paraná com, 28,87%, 21,47%, 15,47%, 6,97% e 5,96%, respectivamente, segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018).

O tomate é uma hortaliça muito consumida tanto *in natura* quanto processada. Segundo Baccarin et al., (2015), os consumidores de tomate priorizam atributos relacionados à qualidade como cor, brilho, firmeza e tamanho do fruto, com isso os produtores de tomate necessitam buscar alternativas de manejo cultural que contribuam para o incremento na produtividade e propiciem um melhor padrão de qualidade do produto ofertado no mercado (MATOS, 2010).

A qualidade e a aparência dos frutos do tomateiro são dependentes dos tratamentos culturais como tutoramento, condução de plantas e densidade de plantio. O tutoramento e a condução de plantas podem maximizar a captação da radiação solar e a ventilação ao longo do dossel, influenciando na umidade relativa e na disponibilização de gás carbônico atmosférico às plantas (WAMSER et al., 2008).

A cerca cruzada, ou "V" invertido, é um dos sistemas de tutoramento mais utilizados no Brasil (ALMEIDA et al., 2015). Segundo Marim et al. (2005), a técnica consiste no amarramento de plantas a tutores, como estacas de bambu, dispostas em forma de "V" invertido entre duas fileiras consecutivas. Nesse sistema, é formada uma câmara úmida sob o "V" invertido, o que favorece a infestação por patógenos, uma vez que os produtos químicos não penetram, adequadamente, no interior da câmara (WAMSER et al., 2008).

Uma alternativa ao Sistema Cerca Cruzada é o Sistema Triangular. Esse método é muito semelhante ao “V” invertido, porém o cultivo das plantas em uma das fileiras inicia-se a uma distância relativa à metade do espaçamento entre as plantas, em relação à outra fileira, formando um plantio em zigue-zague (MARIM et al., 2005).

Outro sistema que pode ser utilizado para conduzir plantas do tomateiro é o Sistema Viçosa, que é constituído por plantas conduzidas com fitilho a aproximadamente, 75° em relação ao solo e alternadas de um lado para o outro formando uma espécie de “V”, sendo sustentadas por estacas de eucalipto e fios de arame (ALMEIDA et al., 2015).

Outro método de tutoramento é o vertical, no qual as plantas são amarradas, verticalmente, a tutores como bambu ou fitilho. Como vantagens, nesse tutoramento podem se citadas a otimização da distribuição da radiação solar e ventilação, um menor período de molhamento foliar e um maior eficiência de controle fitossanitário (SANTOS et al., 1999; WAMSER et al., 2008).

Uma das maneiras de se produzir frutos com maior qualidade é utilizar cultivares e métodos de condução que maximizam tais atributos. Matos et al. (2012), ao estudarem híbridos de tomate e sistemas de condução, concluíram que o sistema de tutoramento vertical no fitilho com uma haste por planta aumentou a produtividade dos frutos de melhor classificação, bem como a massa média e reduziu a produtividade de frutos de classificação inferior, sem prejudicar a produtividade total, quando comparado ao método tradicional de cultivo (bambu com duas hastes por planta).

O tipo de tutoramento e de condução das plantas do tomateiro pode influenciar nas pulverizações de defensivos agrícolas. Wamser et al. (2017) determinaram as melhores densidade e arranjo do tomateiro tutorado verticalmente para a pulverização mecanizada testando quatro densidades de plantas e dois arranjos de plantas tutoradas verticalmente e concluíram que o arranjo de plantas em fila dupla, para a pulverização mecanizada do tomateiro, proporcionou maior produtividade de frutos comerciais e com maior porcentagem de frutos de melhor classificação em comparação ao arranjo de plantas em fila simples.

Como a condução de cultivos de tomate apresenta alta incidência de pragas e de doenças, que atacam a planta e o fruto, requerem um monitoramento e controle

fitossanitário acirrados (PICANÇO et al., 2004; MELO e VILELA, 2005; SÁNCHEZ-HERMOSILLA et al., 2013a; CAMPBELL et al., 2017). Com isso a utilização de agrotóxicos para o controle das doenças e pragas vem aumentando consideravelmente, e os riscos de contaminação do meio ambiente, dos consumidores e dos aplicadores aumentam conseqüentemente.

### **3.2. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas para olerícolas**

Segundo Matuo (1990), a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas é o conjunto de conhecimentos científicos que proporciona a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação de outras áreas. Já para Matthews (2002), a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas tem como objetivo colocar a quantidade certa do ingrediente ativo no alvo com a máxima eficiência e de maneira econômica, afetando, o mínimo possível, o ambiente.

Conhecer a cultura a ser tratada com defensivos agrícolas é de extrema importância, uma vez que a aplicação e a eficácia dos agrotóxicos dependem de quatro processos, nomeadamente deposição, retenção, absorção e translocação dos ativos na formulação aplicada (ZABKIEWICZ, 2007). Massinon et al. (2017) testaram a adesão e a quebra de gotas em diferentes formulações em folhas de feijão, abacate, repolho e grama de Barnyard, e afirmaram que a superfície da folha interfere na adesão e na quebra da gota, sendo que a grama e o repolho mostraram as superfícies com menor molhabilidade.

McLeod et al. (2017) desenvolveram um estudo para avaliar a eficácia de vários programas de pulverização para o manejo de manchas bacterianas em tomateiros na região de Limpopo, na África do Sul, e concluíram que o uso de cobre combinado com mancozeb não é eficiente no controle das manchas bacterianas. Isso, é provavelmente, devido à presença de *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* resistente ao cobre.

Segundo Oliveira et al. (2017), a cultura da cenoura é de difícil penetração das gotas no dossel das plantas. Assim analisaram a deposição e a capacidade de penetração de caldas aplicadas com diferentes pontas hidráulicas, na cultura da cenoura e constataram que maiores volume de aplicação favorecem a deposição de agrotóxico nas plantas de cenoura e as perdas pelo solo. Pontas com indução de ar

são mais eficazes na deposição de calda em maiores volumes de aplicação. Volumes de calda de 200 L ha<sup>-1</sup> aplicados utilizando pontas do tipo jato leque comum proporcionam boa deposição e penetração de calda na cultura da cenoura, com baixas perdas de produto para o solo. Já as pontas tipo jato leque promovem maior penetração e deposição de calda do que a ponta tipo jato cônico na cultura da cenoura.

Olerícolas são, amplamente, cultivadas em casas de vegetação, e o uso da tecnologia é mais presente nesses tipos de cultivo. Diferentes tipos de pulverizadores são utilizados. Rincón et al. (2017) buscaram otimizar a pulverização de um equipamento de baixa tecnologia e de baixo custo, em estufas cultivadas com pimenta, e tornar seu uso o mais eficiente possível. Já Llop et al. (2015) visaram a melhorar o processo de pulverização em estufas espanholas, aprimorando uma tecnologia de pulverização já existente, por meio da modificação de um pulverizador montado em um carrinho de mão, da incorporando assistência a ar e de diferentes tipos de pontas e da alteração do espaçamento entre pontas.

Li et al. (2017) avaliaram a pulverização de dois produtos em três pulverizadores: hidráulico costal elétrico com assistência de ar, hidráulico costal elétrico e hidráulico costal manual, em casa de vegetação e a campo, por meio da deposição, distribuição da pulverização, perda para o solo, eficiência e resíduo dos pesticidas nas folhas do tomateiro e pepineiro. Ao final da pesquisa, concluíram que o pulverizador hidráulico costal elétrico com assistência de ar foi mais eficiente, apresentou maior deposição e penetração no dossel das plantas, reduzindo a perda para o solo, e apresentou menor resíduo dos produtos em comparação com os demais pulverizadores.

Já Llop et al. (2016), ao avaliarem o efeito da assistência de ar em diferentes técnicas de aplicação de pulverização (pulverizadores montado em carrinho de mão e autopropelido) sobre a deposição em plantas de tomate cultivadas em estufas verificaram que a velocidade do ar e o padrão de distribuição vertical da pulverização afetaram, significativamente, a distribuição de defensivos no dossel das plantas.

Sánchez-Hermosilla et al. (2013b) compararam a pulverização em plantas de tomateiro cultivadas em casa de vegetação, proporcionada por um sistema de nebulização com um equipamento hidráulico com lança manual e constataram que o

sistema de nebulização obteve um desempenho abaixo do pulverizador convencional e promoveu maiores perdas por evaporação.

Atualmente, ainda, são utilizados elevados volumes de pulverização e elevadas pressões de trabalho em pulverizadores hidráulicos de lança manual. Sánchez-Hermosilla et al. (2013a) avaliaram o efeito da pressão de pulverização sobre a deposição e as perdas no solo usando uma lança de pulverização manual em tomateiro cultivado em estufa e recomendaram a utilização de pressões entre 1000 kPa e 1500 kPa para essa técnica de pulverização.

O uso indiscriminado de defensivos agrícolas pode levar a resíduos nos alimentos, à contaminação do meio ambiente e prejuízos econômicos aos produtores.

Além disso, caso haja um manejo inadequado desses agrotóxicos, aumentasse, consideravelmente, a exposição do aplicador com o produto, o que pode comprometer, de maneira imediata (intoxicação aguda), ou em longo prazo, (intoxicação crônica) a saúde do trabalhador.

Carvalho et al. (2017) analisaram dados sobre o perfil das intoxicações exógenas no estado de Minas Gerais e concluíram que medicamentos, produtos agrotóxicos, produtos químicos, de uso domiciliar, raticidas e alimentos e bebidas são os agentes tóxicos mais envolvidos, e o tipo de exposição aguda crônica é mais prevalente.

Em olericultura são utilizados diversos tipos de pulverizadores, desde terrestres até aéreos, Bueno et al. (2013) avaliaram a deposição de calda pulverizada na cultura da batata e o espectro de gotas promovidos pela aplicação aérea e terrestre. Já Iost et al. (2008) avaliaram o controle da traça-do-tomateiro em função dos volumes de aplicação utilizando pulverizador hidráulico costal manual e pulverizador pneumático costal motorizado.

### **3.3. Pulverização Pneumática**

Segundo Lefebvre e McDonell (2017) no processo de atomização, um jato, ou uma lâmina de líquido é desintegrado pela energia cinética adquirida pelo líquido, pela exposição à alta velocidade do gás, ou por energia mecânica aplicada, externamente, através do dispositivo rotativo ou vibratório. Como característica do processo de atomização, o jorro resultante, geralmente, é caracterizado por um amplo

espectro de gotas de vários tamanhos. O processo é altamente complexo, podendo envolver mais de um método de atomização do líquido em gotas.

Para aplicação na pulverização de defensivos agrícolas, são usados três principais tipos de atomização do líquido em gotas, pulverização hidráulica, centrífuga e pneumática.

O processo de atomização pneumática ocorre pelo impacto do líquido, que é conduzido por gravidade ou sob pressão baixa, com uma corrente de ar de alta velocidade e baixa pressão (MINGUELA e CUNHA, 2010).

Os pesquisadores Nukiyama e Tanasawa desenvolveram, em 1938 uma equação que permite relacionar o diâmetro volume/superfície (D) das gotas com as características do fluxo de ar e de líquido (Equação 1).

$$D = \frac{58600}{V_g} \left( \frac{\sigma}{\rho_L} \right)^{1/2} + 597 \left( \frac{\mu_L}{\sqrt{\rho_L \sigma}} \right)^{0,45} \left( 1000 \frac{Q_L}{Q_G} \right)^{1,5} \quad (1)$$

em que,

D = Diâmetro de Sauter da gota ( $\mu\text{m}$ );

$Q_G$  = Vazão de ar ( $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ );

$Q_L$  = Vazão de líquido ( $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$ );

$V_G$  = Velocidade do ar ( $\text{cm s}^{-1}$ );

$\sigma$  = Tensão superficial do líquido ( $\text{dina cm}^{-1}$ );

$\rho$  = Densidade do líquido ( $\text{g m}^{-3}$ ); e,

$\mu$  = Viscosidade dinâmica do líquido ( $\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$ ).

O componente principal de um pulverizador pneumático é seu ventilador. A função básica de um ventilador é, pois, mover uma dada quantidade de ar por um sistema de ventilação a ele conectado. Assim, o ventilador deve gerar uma pressão estática suficiente para vencer as perdas do sistema e uma pressão cinética para manter o ar em movimento (MESQUITA et al., 1985)

A velocidade de rotação permite obter uma população de gotas finas, de 100 a 250  $\mu\text{m}$  e geralmente muito uniforme, o que permite que as aplicações realizem baixo volume (50 a 100  $\text{L ha}^{-1}$ ), incluindo o volume ultra baixo.

Chechetto et al. (2017) afirmaram que, atualmente, os produtores rurais estão tendo preferências por aplicações em baixo volume e com uso de gotas finas a médias.

As gotas pequenas resultantes da pulverização pneumática podem ser afetadas pela própria corrente de ar responsável pelo seu transporte até o alvo e pelas condições climáticas, causando deriva e evaporação (MEWES et al., 2015). No entanto, a penetração de gotas maiores no interior da copa das árvores pode ser reduzida devido ao impedimento causado pelas folhas e pelo atrito com o ar (MEWES et al., 2011).

Em trabalho desenvolvido por Manhani et al. (2014) foi estudado o efeito do déficit de pressão de vapor de água no ar e a vazão de ar do ventilador de um pulverizador pneumático, os autores constataram que as condições climáticas afetaram a densidade de gotas, tendo menores valores em condições mais drásticas.

### **3.4. Pulverizadores controlados à distância**

A definição de teleoperação ou operação remota de um sistema é a extensão dos sentidos e da capacidade humana de manipulação com sensores e atuadores artificiais, de tal forma que um operador possa interferir à distância nesse sistema via um meio de comunicação (SHERIDAN, 1989).

Widden e Blair (1972) consideram que os tratores guiados remotamente são particularmente indicados para atividades onde os operadores estão expostos a materiais tóxicos como no caso da aplicação de defensivos agrícolas.

A automação total ou parcial de uma frota agrícola tende a ser inevitável em um futuro próximo, a empresa Máquinas Agrícolas Jacto (JACTO, 2014) iniciou o desenvolvimento de veículos autônomos agrícolas, apresentando sua primeira geração teórica denominada JAV I (Jacto Autonomous Vehicle I) e, posteriormente, a segunda geração, o JAV II (Jacto Autonomous Vehicle II), capaz de ir a campo graças a maior autonomia e velocidade de operação (UTINO, 2015).

Adamides et al. (2014) desenvolveram um sistema em que o operador poderia controlar um pulverizador autopropelido em atividades no campo de forma remota, com o auxílio da combinação de imagens captadas por câmeras com elementos de computacionais, produzindo um efeito de realidade aumentada. Segundo os autores,

os resultados obtidos indicaram um menor número de colisões em comparação às situações onde não havia os recursos da realidade aumentada.

Rasi (2004) desenvolveu um sistema de aplicação de defensivos agrícolas baseado em um aeromodelo de asa fixa para pulverizações em lavouras, que consiste de um sistema que integra um dispositivo de monitoramento, microcontrolado por meio de telecomando e computador atuando sobre um aeromodelo equipado com acessórios inerentes a pulverização agrícola, o que se consegue através da utilização de um software específico que permite, através de interfaces, a referida integração.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Área experimental**

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e no Laboratório de Olericultura (Horta Velha), ambos pertencentes à Universidade Federal de Viçosa (UFV) localizada no *Campus* Viçosa - MG.

O clima da região é classificado como Cwa (mesotérmico), com verões chuvosos e invernos secos e temperatura média de mês mais quente superior a 22°C, de acordo com a classificação de Köppen (1948).

### **4.2. Características do pulverizador pneumático autopropelido**

Para realização dos ensaios foi utilizado um protótipo de um pulverizador pneumático autopropelido monitorado e controlado à distância, projetado e construído por Penido (2016), aproveitando-se apenas a técnica de monitoramento e controle à distância. O protótipo do pulverizador pneumático autopropelido é constituído de um microtrator e de um pulverizador pneumático motorizado.

A máquina foi projetada com características construtivas que o tornaram uma máquina ágil e versátil nas mais diversas operações, em locais de difícil acesso e em áreas cultivadas que não comportam as dimensões dos tratores convencionais.

O microtrator apresenta em sua estrutura um chassi, responsável pela sustentação de um motor elétrico e/ou de combustão interna, direção dianteira, câmbio com três marchas (duas à frente e uma ré), diferencial, dois pneus traseiros,

marca Goodyear® 6-16 e dois pneus dianteiros, marca Levorin® 3.25-8, observado na Figura 1.



Figura 1 – Microtrator utilizado para confecção do pulverizador pneumático autopropelido (RODRIGUES, 2005).

Para fragmentação do líquido em gotas, foi utilizado um pulverizador pneumático costal, marca Guarany, apresentado na Figura 2, modelo ACM 18 – TK65, constituído por motor à gasolina monocilíndrico de dois tempos refrigerado a ar com ventilação forçada, potência de 3,40 kW, tanque de combustível de 2,0 L, depósito de defensivo com capacidade de armazenamento de 18 L de calda, ventilador centrífugo com rotação mínima de 2600 rpm e máxima de 7300 rpm, e vazão do líquido de 200 a 2500 mL min<sup>-1</sup>, conforme descrito no manual da máquina.



Figura 2 – Pulverizador Pneumático Motorizado. (GUARANY, 2018).

O pulverizador pneumático autopropelido (Figura 3) foi projetado e construído por Penido (2016) por meio da junção do microtrator e do pulverizador pneumático anteriormente citados. O equipamento foi desenvolvido para realizar

pulverizações de produtos fitossanitários na cultura do tomate sem o contato direto do operador com o equipamento durante a operação de pulverização. Com isso, o operador controla e monitora a aplicação por meio de um controle remoto e de uma interface.



Figura 3 – Projeções do Pulverizador Pneumático Autopropelido (a), Pulverizador Pneumático Autopropelido (b). (PENIDO, 2016).

Foram realizadas modificações no protótipo do pulverizador pneumático autopropelido, sendo elas a reorganização dos componentes eletromecânicos no chassi do pulverizador pneumático autopropelido, os quais não sofreram alterações: a elaboração de uma carenagem, observada na Figura 4, visando à proteção dos componentes eletrônicos; um sistema para homogeneização do ar do ventilador do pulverizador; uma barra de pulverização vertical e, por último, um comando do defensivo.

Construiu-se uma barra de pulverização vertical para comportar os bocais de atomização com 1,75 metros de altura, empregando-se perfil de Metalon (30 x 30 mm), observada na Figura 4.



Figura 4 – Pulverizador pneumático autopropelido revestido com carenagem e barra de pulverização vertical.

A homogeneização do ar foi realizada com o auxílio de um tubo de policloreto de vinila (PVC), com a finalidade de manter a homogeneidade no fluxo de ar em três saídas que permitem a condução do ar até os bocais atomizadores, conforme ilustrado na Figura 5.



(a)



(b)

Figura 5 – Homogeneizador de PVC vista frontal (a), vista superior (b).

O comando do defensivo foi confeccionado com componentes de PVC de 12 mm, registro de gás, pontas de pulverização hidráulicas, registros com mola e um manômetro, conforme a Figura 6.



Figura 6 – Comando do defensivo do pulverizador.

### **4.3. Avaliação dos componentes do pulverizador pneumático autopropelido**

Estes ensaios foram realizados com o objetivo de caracterizar e validar os componentes adicionados no pulverizador pneumático autopropelido.

#### **4.3.1. Determinação da curva característica do ventilador do pulverizador**

A curva característica do ventilador foi determinada de acordo com a metodologia proposta pela *Air Moving and Conditions Association - AMCA* (1985). Conforme essa metodologia estabelece, deve-se construir um túnel de vento com comprimento equivalente a 10 vezes o diâmetro do ventilador, associado a um tubo homogeneizador de fluxo de ar e a um controlador de vazão através de uma válvula cônica na saída do duto (Figura 7).

O tubo homogeneizador foi construído com chapas de aço galvanizado, conforme descrito por Silva et al. (2008). Esse tubo homogeneizador foi posicionado a 350 mm do ventilador. No túnel de vento, à distância de 595 mm, foi instalado um tubo de Pitot interligado a um manômetro em “U”, marca SALCAS<sup>®</sup>, modelo MCU 500, com precisão de 1,0 mmCA. Posteriormente, foram determinadas as pressões estáticas e dinâmicas.

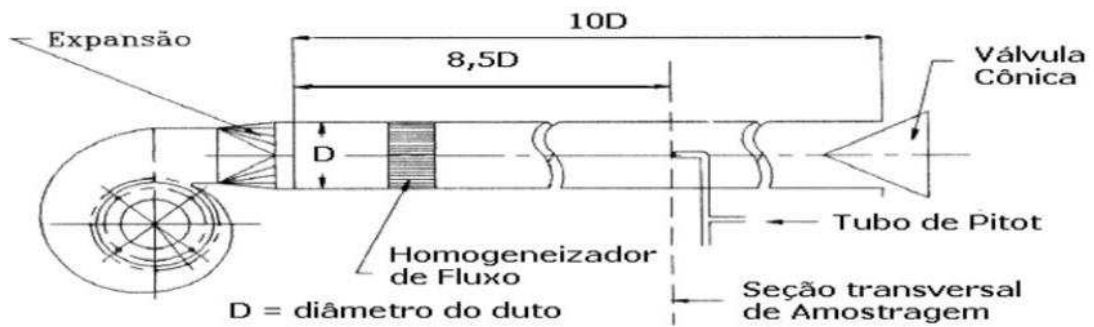


Figura 7 – Duto de ar para testes de ventiladores (MESQUITA et al., 1985).

Para determinar o número necessário de pontos de leitura de pressões na seção transversal em dutos circulares, a seção foi dividida em equiáreas. Nesse caso, para um ventilador com diâmetro de 70 mm, recomendam-se seis pontos de leituras na seção longitudinal e seis leituras na seção vertical do tubo. Com o propósito de detectar esses pontos de medição na seção transversal, foi utilizada a Equação 2 (MESQUITA et al., 1985).

$$L_n = d \sqrt{\frac{2n-1}{4N}} \quad (2)$$

em que,

$L_n$  = distância dos pontos de leitura em relação ao centro da seção circular (mm);

$d$  = diâmetro do duto de ar do ventilador (mm);

$n$  = enésima área (mm<sup>2</sup>); e,

$N$  = número de leituras.

Com as leituras de pressão dinâmica e total em mãos, foram calculadas as velocidades do ar valendo-se da Equação 3 (MESQUITA et al., 1985).

$$v = \sqrt{2 g P_{din}} \quad (3)$$

em que,

$v$  = velocidade do ar ( $\text{m s}^{-1}$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m s}^{-2}$ ); e,

$P_{\text{din}}$  = pressão dinâmica ( $\text{mH}_2\text{O}$ ).

Com os valores médios de velocidade do ar, foram calculadas as vazões médias do ar (Equação 4).

$$Q_{\text{med}} = v_{\text{med}} A \quad (4)$$

em que,

$Q_{\text{med}}$  = vazão média do ar ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

$v_{\text{med}}$  = velocidade média do ar ( $\text{m s}^{-1}$ ); e,

$A$  = área da secção transversal ( $\text{m}^2$ ).

A potência demandada para o acionamento do ventilador foi determinada de acordo com a pressão total e o peso específico do ar (Equação 5), conforme determina Mesquita et al. (1985).

$$P = \gamma P_t Q_{\text{med}} \quad (5)$$

em que,

$P$  = potência do ventilador (W);

$P_t$  = pressão total ( $\text{mH}_2\text{O}$ ); e,

$\gamma$  = peso específico do fluido ( $\text{N m}^{-3}$ ).

Após a caracterização do ventilador do pulverizador, o fluxo de ar do pulverizador foi dividido em três partes, sendo cada uma conduzida saídas, com o auxílio do homogeneizador de ar. A curva característica do ventilador do pulverizador pneumático autopropelido foi definida com a potência de acionamento do ventilador em função da vazão de ar e com a válvula no duto em quatro posições e totalmente aberta.

#### 4.3.2. Avaliação do homogeneizador de ar e do comando do defensivo

O homogeneizador de ar é dotado de três bocais de saída. Em cada uma das saídas foram acoplados dutos flexíveis para conduzir o ar até os bocais atomizadores. Foram utilizados nos ensaios bocais de pulverização pneumática, marca GUARANY, conforme a Figura 8, os quais foram afixados na barra de pulverização vertical. Durante os ensaios determinou-se a velocidade do ar, em cada um dos bocais, empregando-se um tubo de Pitot, sendo determinadas as pressões estática e dinâmica.

Os ensaios foram realizados seguindo um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos (bocais I, II e III) e oito repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os dados de velocidade do ar que saía nos bocais foram submetidas á análise de variância, As médias foram comparadas utilizando-se teste de Tukey adotando-se um nível de 5% de probabilidade.

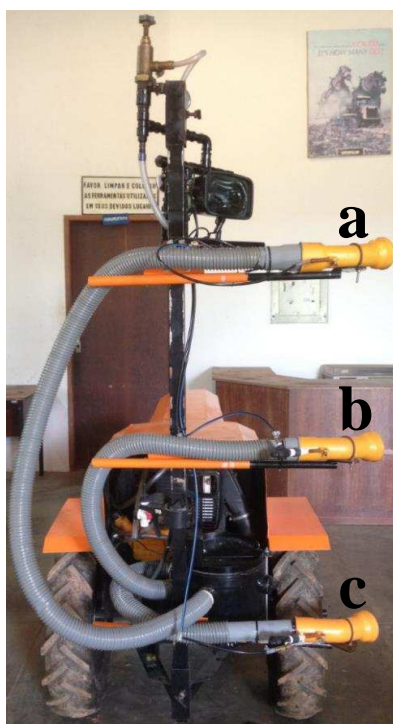


Figura 8 – Bocais de pulverização pneumática. Bocal I (a); Bocal II (b); Bocal III (c).

O sistema distribuidor de líquido nos bocais foi composto por uma bomba de combustível, Marca VTO, com sistema Marwal, pressão de trabalho de 300 kPa e vazão de  $105 \text{ L min}^{-1}$ , com a finalidade de pressurizar o líquido ao longo da barra de pulverização.

A dosagem do líquido foi feita pelo comando do defensivo e monitorada por sensores de fluxo de água, modelo YF-S402, marca SEA, com faixa de trabalho de 0,300 a 6,00 L min<sup>-1</sup> e pressão máxima de trabalho de 0,800 MPa e de um microcontrolador (ATmega328 Duemilanove, Arduino). Após rigorosa calibração, o manômetro utilizado no comando foi aferido empregando-se uma bancada de teste por comparação com manômetro classe A, previamente calibrado. Na Figura 9 observam-se os sensores de fluxo para cada bocal de pulverização.

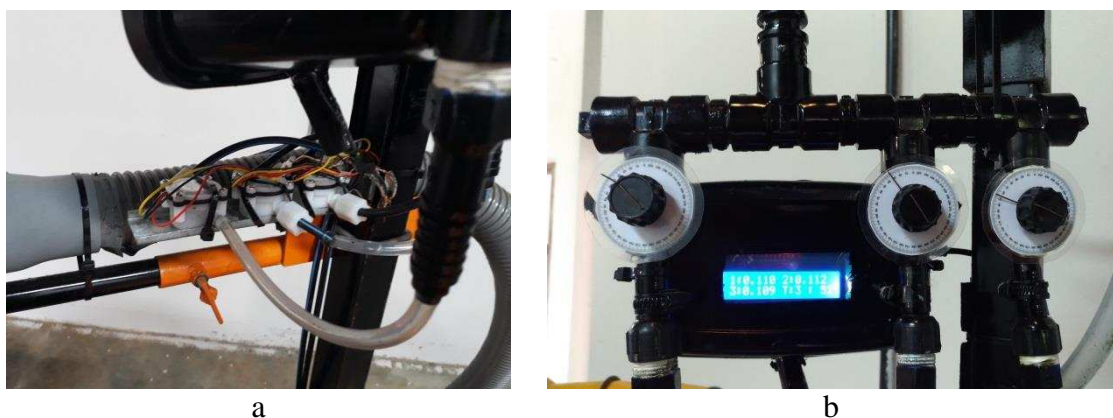


Figura 9 – Sensores de fluxo de água (a), monitor para visualização das vazões de líquido (b).

#### **4.3.3. Determinação da velocidade mínima do ar para fragmentação do líquido em gotas**

A velocidade mínima do ar para que haja fragmentação do líquido em gotas foi determinada utilizando-se quatro velocidades do ar e cinco vazões de líquido, 47,00; 58,00; 67,00 e 72,00 m s<sup>-1</sup>, e 0,180; 0,270; 0,350; 0,440 e 0,530 L min<sup>-1</sup>, respectivamente, em esquema fatorial 4x5, seguindo um DIC, com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais, os modelos foram determinados baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” adotando-se o nível de 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo.

A análise do espectro das gotas formadas foi compreendida pelos seguintes parâmetros: DMV (diâmetro da gota que divide o volume total de gotas da amostra em duas partes iguais) e %V<150 (porcentagem do volume de líquido pulverizado compostas por gotas com diâmetro abaixo de 150 µm).

A vazão de líquido da ponta dosadora foi medida, durante um período de 60 segundos, com o uso de provetas graduadas. Esse procedimento foi repetido três vezes, e, posteriormente, foi avaliado o espectro das gotas em um analisador de partículas a laser (*Spraytech*), marca *Malvern Instruments*, o qual possui uma lente focal de 750 mm, sendo que o analisador foi calibrado para contabilizar gotas cujo diâmetro esteja na faixa de 0,1 a 2.500  $\mu\text{m}$ , mostrado na Figura 10.



Figura 10 – Analisador de partículas a laser (*Malvern Instruments*).

#### **4.4. Determinação dos volumes de pulverização**

Para realizar uma aplicação de defensivos agrícolas que satisfaça os parâmetros técnicos e utilize a quantidade correta de produto e de água, deve-se calcular o volume de pulverização ideal. Para isso, é recomendado considerar o volume do dossel das plantas presentes na área a ser pulverizada.

O método utilizado para determinar o volume do dossel das plantas foi o TRV (Tree -Row -Volume), que se baseia nas dimensões da vegetação e na distância entre linhas (Equação 6).

$$T_{RV} = \frac{H L 10000}{D} \quad (6)$$

em que,

$T_{RV}$  = Volume da vegetação ( $m^3 ha^{-1}$ );

H = Altura de vegetação (m);

L = Largura de vegetação (m); e,

D = Distância entre as linhas (m).

Correlacionando o volume da vegetação e os índices volumétricos estabelecidos como tratamentos, observados no Quadro 1, foi possível estabelecer o volume de pulverização ( $L ha^{-1}$ ) apropriado para este caso (Equação 7).

Quadro 1 – Índices volumétricos utilizados como tratamentos

| Tratamentos    | Índice Volumétrico ( $mL m^{-3}$ ) |
|----------------|------------------------------------|
| T <sub>1</sub> | 5                                  |
| T <sub>2</sub> | 10                                 |
| T <sub>3</sub> | 15                                 |
| T <sub>4</sub> | 20                                 |
| T <sub>5</sub> | 25                                 |

Fonte: TEIXEIRA, 2017.

$$VP = \frac{T_{RV} IV}{1000} \quad (7)$$

em que,

VP = Volume de pulverização ( $L ha^{-1}$ );

$T_{RV}$  = Volume do dossel ( $m^3 ha^{-1}$ ); e,

IV = Índice volumétrico ( $mL m^{-3}$ ).

#### 4.5. Calibração do pulverizador pneumático autopropelido

De posse dos volumes de pulverização, da velocidade de deslocamento do pulverizador e da faixa aplicada, foi calculada a vazão ( $L min^{-1}$ ) para as pontas dosadoras, por meio da Equação 8.

$$q = \frac{Q v f}{600} \quad (8)$$

em que,

q = vazão da ponta ( $L \text{ min}^{-1}$ );

Q = volume da calda ( $L \text{ ha}^{-1}$ );

v = velocidade de trabalho ( $\text{km h}^{-1}$ ); e,

f = faixa aplicada (m).

A velocidade do pulverizador foi determinada na área a ser tratada, percorrendo-se uma distância de 30 metros com o tempo sendo contabilizado. A faixa aplicada foi considerada metade da entrelinha, sendo de um metro.

#### **4.6. Perfil e uniformidade de distribuição de líquido do pulverizador pneumático autopropelido**

Para determinar o perfil de distribuição e a uniformidade de distribuição de líquido dos bocais de pulverização do equipamento, utilizou-se um coletor vertical construído em estrutura metálica e joelhos de PVC, de 75 milímetros de diâmetro, com 26 coletores, medindo 2,07 m de altura por 0,1 m de largura (Figura 11). A metodologia com o emprego de um coletor vertical é utilizada por Alvarenga et al. (2014).

Com base nas vazões de líquido calculadas para cada bocal atomizador, foi pulverizado as vazões de líquido referente aos índices volumétricos que foram testados a campo. Antes da pulverização, eram colocados sacos plásticos em todos os coletores, e, após o tempo de pulverização, os sacos plásticos eram retirados e pesados para obter a massa de água retida em cada saco.

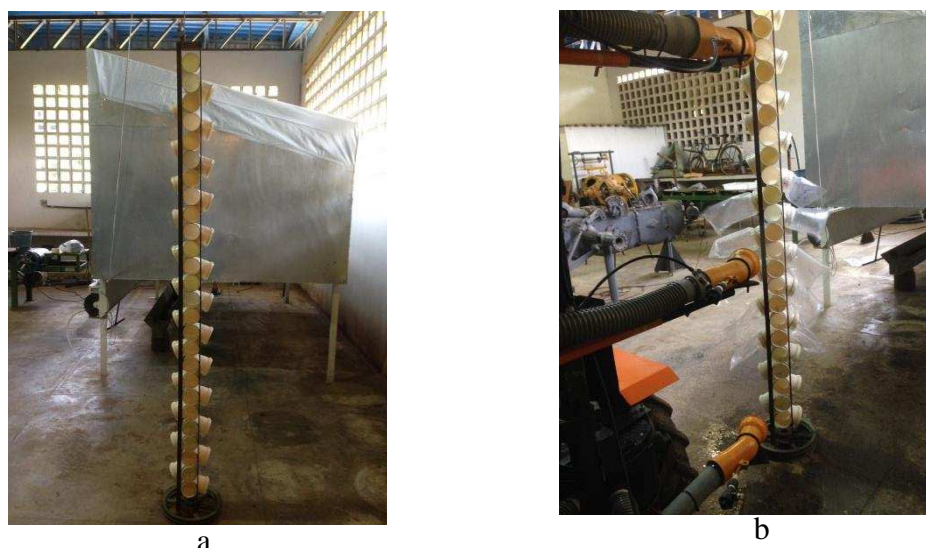


Figura 11 – Coletor Vertical (a), perfil de distribuição de líquido dos bocais (b).

Para realizar a pesagem dos sacos plásticos foi utilizada uma balança de precisão, marca Adventurer™, modelo ARA520, com capacidade máxima de 1500 g, mínima de 0,5 g e erro de 0,1 g. Os sacos foram, previamente, identificados e pesados e tiveram sua massa anotada. Ao se pesar a massa final (saco e água) a massa inicial do saco era descontada, contabilizando-se assim, apenas a massa de água que, realmente, foi coletada pelos coletores. O coeficiente de variação foi obtido pela Equação 9.

$$CV = 100 \frac{s}{\bar{x}} \quad (9)$$

em que,

CV = Coeficiente de Variação (%);

s = desvio padrão da amostra (mg); e,

$\bar{x}$  = média da amostra (mg).

O ensaio do perfil de distribuição de líquido dos bocais foi realizado a 0,70 m de distância do coletor com três repetições para cada bocal atomizador.

Já o ensaio de uniformidade de distribuição foi conduzido em esquema fatorial (5x3x3), seguindo um DIC, com quatro repetições, sendo cinco vazões de líquido (vazões utilizadas nos tratamentos de campo), três distâncias do alvo (0,60,

0,70 e 0,80 m) e três distâncias entre bocais (0,40, 0,45 e 0,50 m), totalizando 180 unidades experimentais.

#### **4.7. Determinação do espectro de gotas**

A determinação do espectro de gotas produzido pelo pulverizador pneumático autopropelido foi realizada utilizando-se o analisador de partículas a laser (Spraytech). Esse teste foi conduzido em um DIC, com cinco tratamentos (vazões de líquido referentes aos índices volumétricos utilizados: 5, 10, 15, 20 e 25 mL m<sup>-3</sup>) e cinco repetições.

O estudo do espectro de gotas foi compreendido pelos seguintes fatores: DMV; Span (amplitude relativa), %V<100 (porcentagem do volume pulverizado composta por gotas menores que 100 µm), 100<%V<150 (com diâmetro entre 100 e 150 µm), 150<%V<200 (entre 150 e 200 µm) e 200<%V<250 (entre 200 e 250 µm).

#### **4.8. Caracterização dimensional e ponderal do pulverizador pneumático autopropelido**

Trata-se das dimensões lineares, de superfície, volumétricas e angulares que caracterizam a máquina ou que tenha influência direta sobre seu comportamento e interações, sob condições operacionais limites e distribuição de massa dos tratores, aplica-se a todas as classes de máquinas agrícolas.

##### **4.8.1. Tamanho do pulverizador pneumático autopropelido**

Foram determinadas as dimensões externas lineares, indicando as características morfológicas do autopropelido, ou seja, a forma geral externa da máquina denominada “constantes construtivas” (H: altura; C: comprimento e L: largura) de acordo com a metodologia proposta por Mialhe (1996).

##### **4.8.2. Vão livre vertical e horizontal**

Foi medido o vão livre vertical entre o plano de apoio e o ponto mais baixo da parte central da máquina. Já o vão livre horizontal foi obtido com uma fita métrica, medindo-se a distância entre a parte interna dos pneus traseiros e dianteiros (Figura 12).

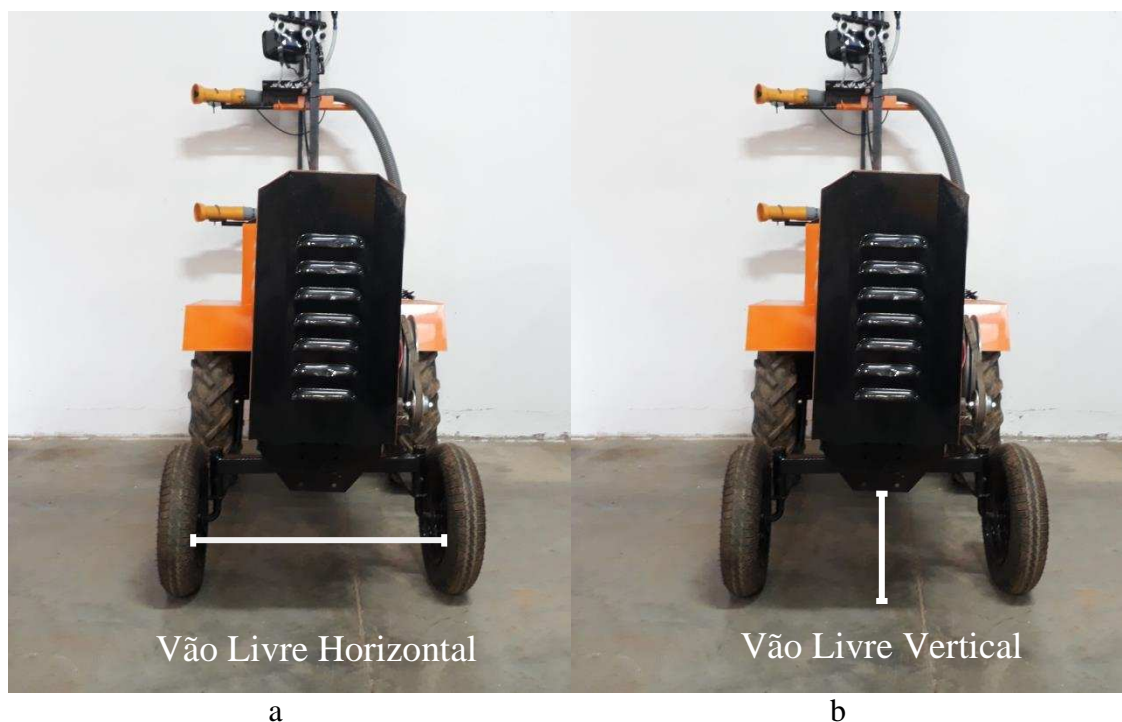


Figura 12 – Vão livre horizontal (a) e vertical (b) do pulverizador pneumático autopropelido.

#### 4.8.3. Ângulos de entrada e saída do pulverizador

Esses parâmetros referem-se ao ângulo de inclinação das tangentes às rodas (ou esteiras) traçadas a partir dos pontos extremos (dianteiro e traseiro) mais baixos do chassi do trator. O ângulo de entrada determina o desnível frontal máximo que o pulverizador pneumático autopropelido é capaz de ultrapassar.

O ângulo de saída, por sua vez, determina a inclinação máxima do talude a qual pode ser ultrapassada sem que a máquina ou o implemento acoplado ao trator toque o solo. Foram determinados por meio de um transferidor, sendo repetidas três vezes.

#### 4.8.4. Raio e espaço de giro

Foram determinados medindo-se, com uma fita métrica, o raio do menor círculo descrito por um ponto da intersecção do plano vertical médio da roda mais externa do pulverizador pneumático autopropelido. Já o espaço de giro foi delimitado pelo deslocamento do ponto de intersecção da perpendicular baixada pelo ponto mais externo do pulverizador, conforme metodologia proposta por Mialhe (1996), sendo repetidas três vezes, na Figura 13 observa-se a representação da determinação do raio à esquerda.

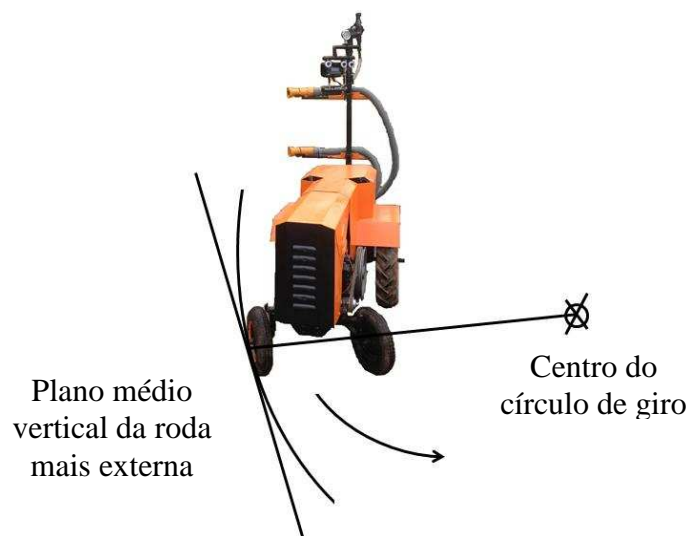


Figura 13 – Representação esquemática do raio de giro à esquerda do pulverizador pneumático autopropelido.

#### 4.8.5. Relação entre raio e espaço de giro

As características de manobrabilidade de máquinas agrícolas dependem tanto do raio de giro quanto do espaço de giro. Foi determinada, conforme proposto por Mialhe (1985), por meio da Equação 10.

$$I_{RE} = \left( \left( \frac{EGE + EGD}{2 (RGE + RGD)} \right) - 1 \right) 100 \quad (10)$$

em que,

$I_{RE}$  = Índice da relação entre o raio e espaço de giro (%);

EGE = Espaço de giro à esquerda (m);

EGD = Espaço de giro à direita (m);

RGE = Raio de giro à esquerda (m); e,

RGD = Raio de giro à direita (m).

#### 4.8.6. Centro de gravidade do pulverizador pneumático autopropelido

Foi determinado pelo método das pesagens conforme metodologia apresentada por Goering et al. (2003), as quais foram obtidas por meio de uma balança tipo plataforma, marca FILIZOLA, modelo ID-U 300/4, com capacidade máxima de 300 kg, mínima de 2 kg, erro de 100 g, com visor LED / LCD, conforme

a Figura 14. Este procedimento foi repetido três vezes e com o tanque de combustível e do pulverizador completos.



Figura 14 – Determinação do centro de gravidade do pulverizador pneumático autopropelido.

#### 4.8.7. Declividade operacional limite

A declividade operacional é importante para o estabelecimento de declividades limites dos terrenos para uso de máquinas agrícolas. Foi definida a declividade operacional limite do pulverizador com base na distância entre eixos e altura do centro de gravidade, sendo calculada pela Equação 11 (MIALHE,1980).

$$d = \frac{\left(\frac{D_e}{2y}\right)}{\left(\frac{D_e}{2y}\right) + D_e} 100 \quad (11)$$

em que,

d = Declividade operacional limite (%);

$D_e$  = Distância entre eixos (m); e,

y = Altura do centro de gravidade (m);

#### **4.8.8. Declividade máxima operacional**

Como norma de segurança recomenda-se que o valor de declividade operacional limite seja multiplicado por um coeficiente de segurança igual a 0,5. Foi determinada de acordo com a Equação 12.

$$d_{\max} = 0,5 d \quad (12)$$

em que,

$d_{\max}$  = Declividade máxima operacional (%); e,

$d$  = Declividade operacional limite (%).

#### **4.8.9. Velocidade do pulverizador pneumático autopropelido**

A velocidade de um pulverizador influencia diretamente na quantidade de líquido a ser pulverizado na área a ser tratada. Foram realizadas três medições do tempo necessário para que o pulverizador percorresse uma distância de 30 metros, inicialmente, em 1ª marcha e, posteriormente, em 2ª marcha.

#### **4.8.10. Determinação dos níveis de ruído**

O nível de ruído ao qual o operador do pulverizador pneumático autopropelido esteve exposto durante a operação foi medido, próximo ao ouvido do operador, em intervalos de cinco metros até uma distância de 30 metros, a partir da face traseira do pulverizador, as medições foram repetidas três vezes. O acelerador do motor foi mantido em rotação máxima.

#### **4.9. Avaliação da pulverização pneumática a campo**

Para controle e monitoramento do pulverizador pneumático autopropelido foi utilizado um conjunto local constituído por um rádio-transmissor de sinais de controle, modelo TURNIGY 6X FHSS e um tablete com tela de 7" e conectividade WiFi nos padrões IEEE 802.11<sup>a</sup>/b/g, modelo Positivo T710. Já o subconjunto de vídeo era formado por uma câmera, modelo GoPro HERO3+ Black Edition, que transmitiu imagens captadas diretamente para o tablete via um rede local do tipo ponto a ponto (PENIDO, 2016).

O pulverizador pneumático autopropelido utilizado na aplicação de defensivos agrícolas na cultura do tomateiro em campo é apresentado na Figura 15.



Figura 15 – Pulverização a campo.

#### **4.9.1. Condições psicrométricas do ar**

A temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento foram monitoradas durante os testes, tanto em laboratório quanto a campo, com o auxílio de um Thermo-Higrômetro digital, marca INSTRUTEMP, modelo ITHT2210. Já a velocidade do vento foi monitorada com o auxílio de um Thermo-Anemômetro Digital, marca INSTRUTHERM, modelo TAFR-180, conforme a Figura 16.



Figura 16 – Thermo-Higrômetro (a); Thermo-Anemômetro (b). (TEIXEIRA, 2017).

#### 4.9.2. Determinação da cobertura e densidade de gotas

As unidades experimentais foram distribuídas em uma área cultivada comercialmente com tomate gerenciado em um sistema de tutoramento vertical, com espaçamento entre linhas de plantio de 2,00 m, altura média de 1,80 m, largura de vegetação média de 1,10 m e índice de área foliar de 2,95.

A percentagem de área coberta, o número médio e a área das gotas foram determinados a partir da análise de etiquetas de papel hidrossensível, as quais foram fixadas do dossel das plantas antes da pulverização. Tais etiquetas foram digitalizadas e analisadas pelo *software Cir 1.5*.

As etiquetas de papel hidrossensível possuem as dimensões de 95 x 32 mm, totalizando 3.040 mm<sup>2</sup>, e possuem a característica de reagir com a água por meio da ionização do azul de bromofenol. Essa reação promove a formação de pontos azuis que são formados pelo contato das gotas com a película de papel. Tais pontos foram contabilizados e medidos a fim de se verificar a eficiência da aplicação de defensivos no tomate.

As etiquetas foram distribuídas ao longo do dossel das plantas, sendo que foram definidas as posições de amostragem dividindo-se a planta em três terços (superior, médio e inferior) e cada terço foi subdividido em três posições (externo, intermediário e interno).

As etiquetas foram distribuídas ao longo do dossel das plantas, as posições definidas dividindo-se a planta em três terços (superior, médio e inferior) e cada terço foi subdividido em três posições (externo, intermediário e interno). As etiquetas foram posicionadas na interseção de uma malha composta por nove fios de arame, conforme a Figura 17.

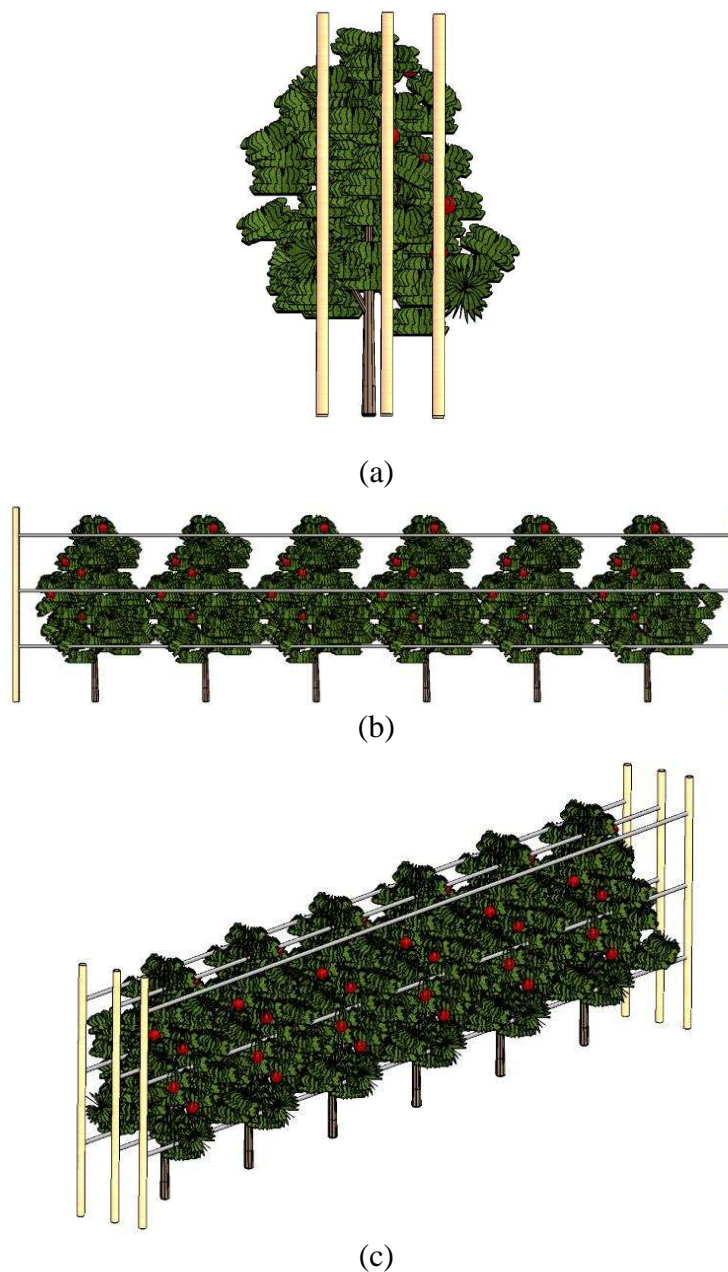


Figura 17 – Malha utilizada para amostragem no dossel das plantas empregando-se etiquetas de papel hidrossensível. Vista lateral (a), vista longitudinal (b), vista tridimensional (c).

Na Figura 18, observa-se a malha feita para amostragem do experimento.



Figura 18 – Posicionamento das etiquetas de papel hidrosensível ao longo do dossel das plantas.

A densidade de gotas quantificada após a pulverização deve estar de acordo com as recomendações para o tipo de produto aplicado, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Recomendações das densidades de gotas em função dos diferentes tratamentos

| Produto     | Tratamento     | Volume de Calda<br>(L ha <sup>-1</sup> ) | Densidade<br>(gotas cm <sup>-2</sup> ) |
|-------------|----------------|--|--|
| Herbicidas  | Pré-plantio    | 200-500                                  | 20-40                                  |
|             | Pré-emergência | 150-300                                  | 20-30                                  |
|             | Pós-emergência | 150-300                                  | 30-40                                  |
| Inseticidas |                | 300-400                                  | 20-30                                  |
| Fungicidas  |                | 300-400                                  | 50-70                                  |

Fonte: Barthelemy et al., 1990.

#### 4.9.3. Deposição da calda nas folhas do tomateiro

Para avaliar a deposição da calda nas plantas do tomateiro adicionou-se um traçador junto ao líquido a ser pulverizado. Para isso foi adicionado o corante alimentício azul brilhante na concentração de 3.000 mg L<sup>-1</sup> conforme metodologia de

Palladini et al. (2005). Em cada parcela, posteriormente a pulverização, foi recolhida três amostras foliares conforme os terços e as posições.

As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, individualmente para cada terço e posição, e armazenadas em caixa térmica hermeticamente fechada, posteriormente foram encaminhadas ao Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas do DEA.

Às amostras foram adicionados 50 mL de água destilada em cada saco plástico e agitados por 30 segundos, com o intuito de lavar as folhas e de remover o corante. A solução obtida na lavagem das folhas (água destilada e corante) foi submetida à análise de espectrofotometria.

Utilizou-se um espectrofotômetro da marca Biospectro<sup>®</sup>, modelo SP-22, faixa de leitura de 325 nm a 1000 nm, banda de passagem de 6 nm e permite leituras de Absorbância, de Transmitância, de Concentração Direta e de Fator de Concentração. O equipamento foi calibrado para leitura no comprimento de onda de 630 nm (faixa de detecção do corante utilizado), de acordo com Palladini et al. (2005).

Em seguida à análise de espectrofotometria, todas as folhas utilizadas para a extração do marcador foram mensuradas, utilizando-se o medidor de área foliar, LI-3100C Area Meter da Li-Cor<sup>®</sup>.

Para determinar a concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos depósitos, foi elaborada uma curva padrão de linearidade com a mesma solução aplicada durante a pulverização na lavoura, cujo modelo de regressão linear é mostrado na Equação 13.

$$\text{ABS} = \text{ABS}_{\text{H}_2\text{O}} + (a C) \quad (13)$$

em que,

ABS = Valor de leitura de absorbância (nm);

$\text{ABS}_{\text{H}_2\text{O}}$  = Valor de leitura de absorbância da água (nm);

a = Taxa de variação; e,

C = Concentração do produto, ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

Por consequência, a concentração do corante depositado foi empregando-se a Equação 14.

$$C = \frac{ABS - ABS_{H_2O}}{a} \quad (14)$$

em que,

C = Concentração do produto ( $\text{mg L}^{-1}$ );

ABS = Valor de leitura de absorvância (nm);

$ABS_{H_2O}$  = Valor de leitura de absorvância da água (nm); e,

a = Taxa de variação.

De posse da concentração do corante da calda aplicada no campo e do volume de diluição das amostras, determinou-se o volume retido no alvo. Com essa avaliação, procedeu-se, então, à divisão do depósito total do volume retido no alvo pela área foliar da qual foi removido, obtendo-se, assim, a quantidade em  $\text{mgL cm}^{-2}$  de folha, de acordo com a Equação 15.

$$C_i V_i = C_f V_f \quad (15)$$

em que,

$C_i$  = Concentração inicial do marcador na calda ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$V_i$  = Volume retido pelo alvo ( $\mu\text{L}$ );

$C_f$  = Concentração detectada em densidade óptica ( $\text{mg L}^{-1}$ ); e,

$V_f$  = Volume de diluição da amostra de cada planta ( $\mu\text{L}$ ).

#### **4.10. Análise estatística**

O experimento foi desenvolvido segundo um esquema de parcelas subdivididas, tendo, nas parcelas, os índices volumétricos, nas subparcelas as posições verticais (terços) e, nas subdivididas as posições horizontais (posições), no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com seis repetições (seis plantas) por tratamento. Os dados foram analisados por meio de análise de variância. As médias foram comparadas utilizando-se teste Tukey adotando-se um nível de 5% de probabilidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização dimensional e ponderal

O levantamento das constantes construtivas e das especificações que particularizam o pulverizador pneumático autopropelido tem a finalidade de distinguir o equipamento de máquinas semelhantes e de auxiliar no planejamento de um abrigo para o seu alojamento quando fora de serviço.

#### 5.1.1. Tamanho do pulverizador pneumático autopropelido

As dimensões externas no pulverizador pneumático autopropelido avaliado podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Características dimensionais do pulverizador pneumático autopropelido

| Parâmetros      | Dimensões (mm) |
|-----------------|----------------|
| Largura (L)     | 910            |
| Comprimento (C) | 1940           |
| Altura (H)      | 2140           |

#### 5.1.2. Vão livre vertical e vão livre horizontal

Os valores mensurados para vão livre vertical e vão livre horizontal, foram, respectivamente, 204 mm e 562 mm. É necessário relatar que quanto maior for o vão livre vertical (VLV), melhor será o deslocamento de máquinas que operam em lavouras já implantadas. Já o vão livre horizontal (VLH) deve ser ajustável para possibilitar o livre tráfego de máquinas na entre linha das culturas.

Quanto maior o valor do VLH, maior é a angulação do terreno no qual a máquina poderá trabalhar sem que ocorra o risco de tombamento lateral e melhor é a distribuição da massa da máquina sobre o solo.

#### 5.1.3. Ângulos de entrada e saída

Os valores dos ângulos de entrada e de saída obtidos foram, respectivamente de 64° e 29°. Com base nos ângulos encontrados, o pulverizador pneumático autopropelido é capaz de ultrapassar obstáculos sem que haja contato de sua parte frontal.

#### 5.1.4. Raio e espaço de giro

No que se refere ao raio e ao espaço de giro, percebeu-se uma diferença entre os valores de raio de giro à direita e à esquerda, bem como do espaço de giro (Quadro 4).

Quadro 4 – Valores de raio e espaço de giro do pulverizador pneumático autopropelido

| Parâmetros                | Valores (m) |
|---------------------------|-------------|
| Raio de giro à esquerda   | 2,10        |
| Raio de giro à direita    | 2,08        |
| Espaço de giro à direita  | 4,16        |
| Espaço de giro à esquerda | 4,23        |

A diferença entre o raio de giro à esquerda e à direita pode ser explicada por uma possível folga no sistema de direção do pulverizador.

#### 5.1.5. Relação entre raio e espaço de giro

Após coleta dos valores de raio e de espaço de giro, calculou-se a relação entre ambos, cujo valor observado foi de 0,35%. Segundo classificação proposta por Mialhe (1980), os valores <3,0% se enquadram em ótimo; 3,1 a 5,9%, bom; 6,0 a 9,0%, regular; e >9,0%, são dados como deficientes. Logo, o valor apresentado é considerado ótimo.

Com as modificações realizadas no protótipo do pulverizador pneumático autopropelido desenvolvido por Penido (2016), a relação entre o raio e o espaço de giro passou de 1,20% para 0,35%.

#### 5.1.6. Massa estática e centro de gravidade do pulverizador pneumático autopropelido

A massa total e a massa de cada eixo do pulverizador pneumático autopropelido, com os reservatórios de calda e de combustível completos, a estão enumerados no Quadro 5.

Quadro 5 – Massa estática total, do eixo dianteiro e traseiro do pulverizador pneumático autopropelido.

| Massa total (Kg) | Massa do eixo dianteiro (Kg) | Massa do eixo traseiro (Kg) |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 245              | 85,8                         | 159,2                       |

Na Figura 19, é observada a localização do centro de gravidade (CG) do pulverizador em um plano paralelo ao solo e com o seu eixo dianteiro elevado a 517 mm de altura do solo.

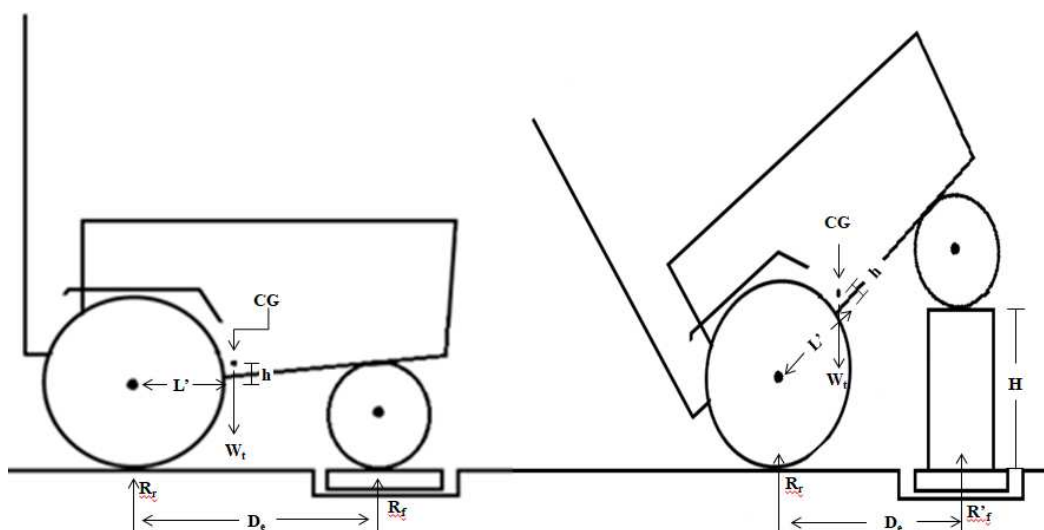


Figura 19 – Localização do centro de gravidade do pulverizador pneumático autopropelido.

Os fatores utilizados para calcular o CG são podem ser observados no Quadro 6. A distância vertical e horizontal, em relação ao eixo traseiro, foi de 104,29 mm e de 331,9 mm, respectivamente, estimando-se o posicionamento do centro de massas da máquina avaliada.

O CG é o ponto no qual atua a resultante das forças gravitacionais que agem sobre a máquina agrícola, cuja origem está localizada na interseção entre os planos longitudinal e vertical (plano que passa, verticalmente, pelo centro do rodado traseiro).

Quadro 6 – Fatores técnicos do pulverizador pneumático autopropelido.

| Item       | Descrição   | Unid. | Valor  |
|------------|---|-------|--------|
| $W_t$      | Massa total do trator                                   | kg    | 245,00 |
| $R_r$      | Massa do eixo traseiro (plano)                          | kg    | 159,20 |
| $R_f$      | Massa do eixo dianteiro (plano)                         | kg    | 85,80  |
| $R'_f$     | Massa do eixo dianteiro (inclinado)                     | kg    | 61,70  |
| H          | Elevação  | mm    | 517    |
| $\Delta r$ | Diferença entre altura dos eixos                        | mm    | 948    |
| H          | Distância vertical do CG ao eixo traseiro               | mm    | 104,29 |
| L          | Distância horizontal do CG ao eixo traseiro (plano)     | mm    | 331,99 |
| $L'$       | Distância horizontal do CG ao eixo traseiro (inclinado) | mm    | 794,62 |
| $D_e$      | Distância entre eixos                                   | mm    | 948    |

### 5.1.7. Declividade operacional limite e máxima

Observa-se no Quadro 7, os valores calculados da declividade operacional limite e da declividade máxima operacional do pulverizador pneumático autopropelido.

Quadro 7 – Declividade operacional limite e declividade máxima operacional do pulverizador pneumático autopropelido

| Declividade operacional limite (%) | Declividade máxima operacional (%) |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 40,38                              | 20,19                              |

No protótipo do pulverizador pneumático autopropelido desenvolvido por Penido (2016), a declividade máxima operacional foi de 49,86% e com as modificações realizadas, esse valor reduziu para 20,19%. Este resultado pode estar relacionado com a altura da barra de pulverização vertical, pois foi considerado a altura máxima do pulverizador pneumático autopropelido.

### 5.1.8. Velocidade do pulverizador pneumático autopropelido

Os resultados de velocidade, nas duas marchas avaliadas com os reservatórios de combustível e de calda, podem ser observados no Quadro 8.

Quadro 8 – Valores de velocidade do pulverizador pneumático autopropelido

| Condição  | Velocidade ( $\text{km h}^{-1}$ ) |
|-----------|-----------------------------------|
| 1ª Marcha | 2,15                              |
| 2ª Marcha | 3,55                              |

### 5.1.9. Determinação dos níveis de ruído

As medições do nível de ruído produzido pelo protótipo, mensuradas em intervalos de cinco metros até uma distância de 30 metros, estão relacionadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Nível de ruído produzido pelo pulverizador pneumático autopropelido em função da distância

| Distância (m)       | 0      | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    |
|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nível de Ruído (dB) | 102,60 | 80,40 | 78,50 | 73,70 | 67,20 | 64,10 | 61,90 |

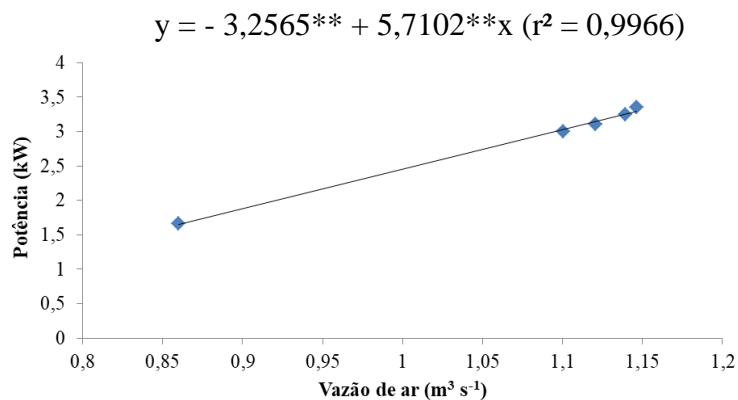
Apenas o resultado próximo ao pulverizador ficou acima do limite de 85 dB, estabelecidos para uma jornada de trabalho de 8 horas sem protetor auricular, segundo a NR-15 (MET, 2018). Sendo assim, para atender a essa exigência, o operador do pulverizador deve estar a mais de 5 metros do equipamento, ou utilizar equipamento de proteção individual.

O controle via rádio possibilita um trabalho menos insalubre para o operador, visto que a media que o pulverizador se afasta o nível de ruído reduz, permitindo ao trabalhador operar a máquina mais confortavelmente.

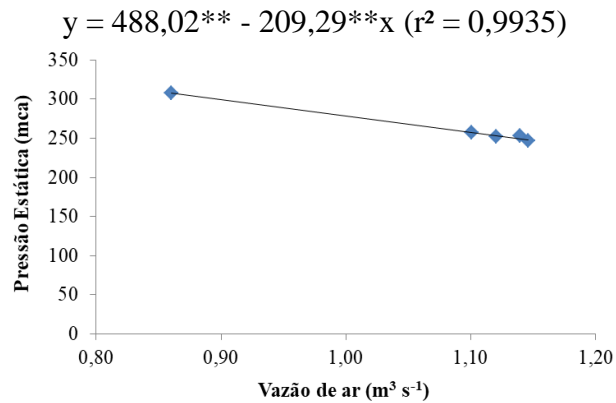
## 5.2. Avaliação dos componentes do pulverizador pneumático autopropelido

### 5.2.1. Determinação da curva característica do ventilador do pulverizador

As condições de temperatura e de umidade relativa do ar foram de 23 °C e 72%, respectivamente. A curva característica do ventilador é representada na Figura 20.



(a)



(b)

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

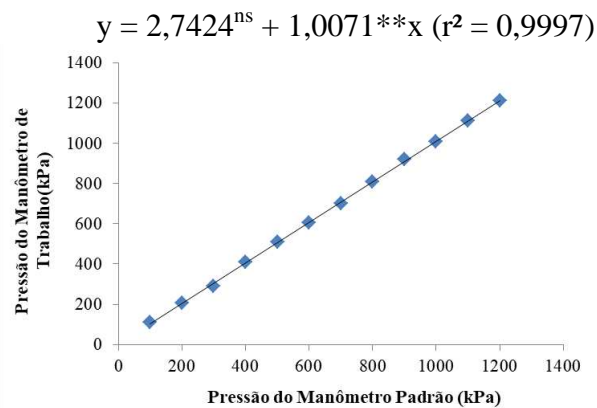
\*\*\*Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Figura 20 – Curva de calibração do ventilador do pulverizador pneumático autopropelido em função da vazão de ar, potência de acionamento (a) e da pressão estática (b).

O ventilador do pulverizador pneumático autopropelido proporcionou uma vazão de ar igual a  $1,15 m^3 s^{-1}$ , velocidade máxima de  $74,50 m s^{-1}$  e demandou potência de 3,35 kW para seu acionamento.

### 5.2.2. Determinação da velocidade mínima do ar para atomizar o líquido em gotas

A calibração do manômetro utilizado no pulverizador apresentou precisão em relação ao manômetro padrão “classe A”, conforme a Figura 21. A variação máxima permitida para utilização de manômetros em pulverizadores é inferior aos 10%, corroborando com Dornelles et al. (2011).

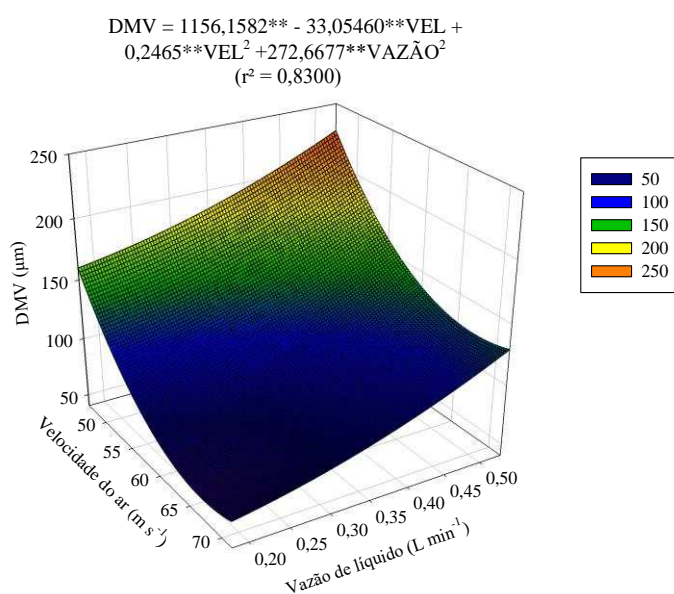


\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

\*\*\*Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

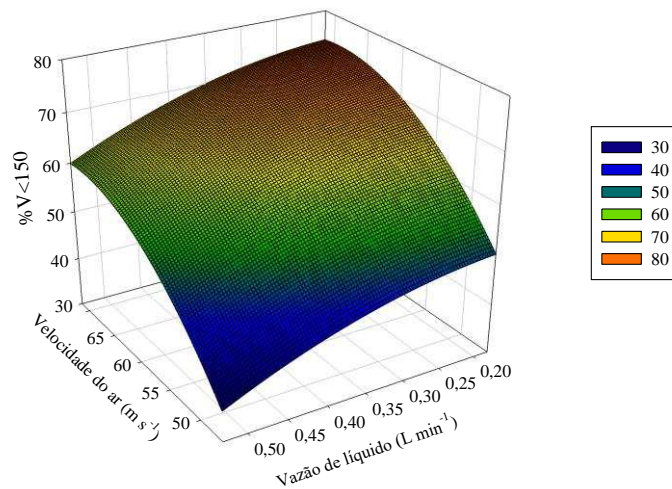
Figura 21 – Curva de aferição do manômetro do pulverizador com o manômetro padrão.

Para que fora considerada como uma atomização do líquido em gotas, considerou-se um DMV máximo das gotas de 150  $\mu\text{m}$ , e, pelo menos, 50% do volume pulverizado deveria conter gotas com diâmetro menor que 150  $\mu\text{m}$ , corroborando com Gil (2003), que descreve como sendo pulverizador pneumático o equipamento que gerar uma corrente de ar, geralmente por um ventilador centrífugo radial, além de gotas muito finas (DMV = 100 a 150  $\mu\text{m}$ ) e velocidades do ar de 50 a 100  $\text{m s}^{-1}$ . Combinações de velocidade e de vazão de líquido que não produziram gotas que atendessem a esses parâmetros não foram consideradas atomizadas. Os resultados da atomização do líquido são observados na Figura 22.



$$\%V<150 = -147,7193^{**} + 6,3508^{**}VEL + 23,9061^{ns}VAZ\tilde{A}O - 0,0457^{**}VEL^2 - 90,7367^{**}VAZ\tilde{A}O^2$$

$$(r^2 = 0,9281)$$



b

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

\*\*\*Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Figura 22 – DMV das gotas formadas (a) e %V<150  $\mu\text{m}$  (b) em função das velocidades do ar e dos fluxos de líquido.

O diâmetro das gotas é influenciado, significativamente, pela velocidade do ar e pela vazão de líquido, 83% da variação do DMV é estatisticamente explicado em função da variação da velocidade do ar e da vazão de líquido.

Observa-se que conforme a velocidade do ar aumenta, para uma mesma vazão de líquido, o tamanho das gotas tende a diminuir. À medida que se aumenta a vazão de líquido, mas a velocidade do ar se mantém constante, o diâmetro das gotas tende a aumentar.

Esses resultados são condizentes com Miranda-Fuentes, et al. (2018), que afirmaram que a taxa de fluxo de ar e a taxa de fluxo de líquido estão, fortemente, relacionadas ao tamanho das gotículas, corroborando com Manhani et al. (2013), que observaram que, ao se utilizarem menores fluxos de ar, houve um aumento no diâmetro da mediana volumétrica.

A vazão de líquido de  $0,180 \text{ L min}^{-1}$  foi atomizada por todas as velocidades do ar. A velocidade do ar de  $72,00 \text{ m s}^{-1}$  conseguiu atomizar todas as vazões de líquido, já a velocidade de  $47,00 \text{ m s}^{-1}$  atomizou, apenas, a vazão de  $0,180 \text{ L min}^{-1}$ .

A velocidade do ar de  $72,00 \text{ m s}^{-1}$ , na vazão de  $0,530 \text{ L min}^{-1}$  produziu um DMV de  $106 \mu\text{m}$ . Segundo Balastreire (2004) para se produzir gotas com diâmetro mediano de  $100 \mu\text{m}$ , a velocidade do ar deve ser de, aproximadamente,  $70 \text{ m s}^{-1}$ .

A porcentagem de gotas com diâmetro abaixo de 150  $\mu\text{m}$  para a velocidade do ar de 72,00  $\text{m s}^{-1}$  foi de 69,78 a 59,44% e para a velocidade de 47,00  $\text{m s}^{-1}$  foi de 34,38 a 52,75%. A velocidade do ar e a vazão do líquido são estatisticamente responsáveis por 92,81% da porcentagem de variação de gotas com diâmetro abaixo de 150  $\mu\text{m}$ .

Sasaki et al. (2013a), ao analisar o espectro de gotas de um pulverizador eletrostático que utiliza-se do princípio pneumático para a formação e o fracionamento de gotas, encontraram valores de DMV e percentual de gotas com diâmetro abaixo de 100  $\mu\text{m}$  de 57,0  $\mu\text{m}$  e 60%, respectivamente.

O pulverizador pneumático autopropelido teve de produzir, na saída dos bocais de pulverização, uma velocidade de ar superior a 58,00  $\text{m s}^{-1}$  para que houvesse atomização do líquido em gotas.

### 5.2.3. Avaliação do homogeneizador de ar

Durante o ensaio, a temperatura variou de 22 a 23  $^{\circ}\text{C}$ , e a umidade relativa do ar foi de 66 a 68 %. As velocidades do ar, em cada bocal, podem ser observadas no Quadro 10.

Quadro 10 – Velocidade do ar nos três bocais utilizados na pulverização

| Bocais | Velocidade o ar ( $\text{m s}^{-1}$ ) |
|--------|---------------------------------------|
| I      | 78,37 a                               |
| II     | 78,04 a                               |
| III    | 78,19 a                               |
| CV (%) | 0,65                                  |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As velocidades do ar medidas em cada um dos bocais atomizadores não diferenciaram, estatisticamente, entre si, mostrando que o sistema de homogeneização do fluxo de ar obteve êxito.

Com uma velocidade do ar de, aproximadamente 78  $\text{m s}^{-1}$ , cada bocal do pulverizador pneumático autopropelido é capaz de atomizar vazões de líquido menores que 0,530  $\text{L min}^{-1}$ , com base no ensaio de atomização do líquido em gotas.

### 5.2.4. Avaliação do comando do defensivo

Na Figura 23, são observadas as equações de regressão linear da calibração dos sensores de fluxo de água utilizados para monitorar as vazões de líquido de cada bocal.

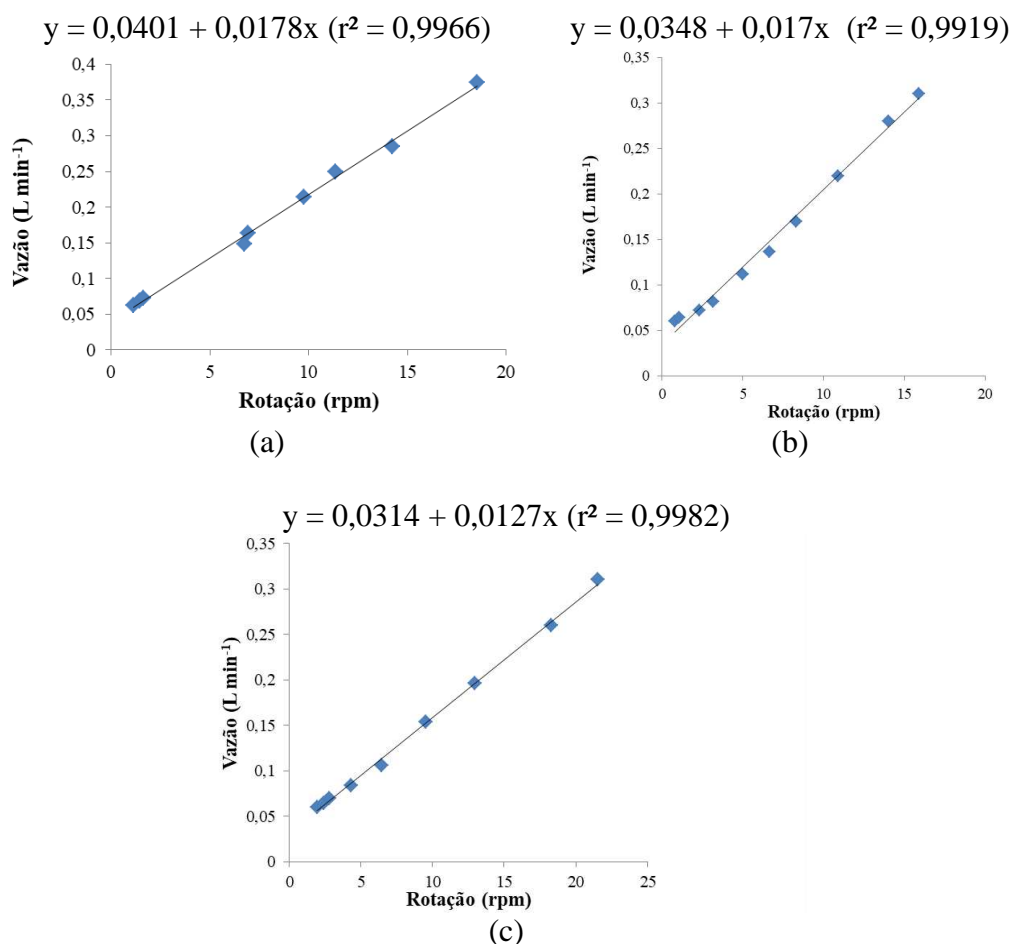


Figura 23 – Curvas de calibração para os sensores de fluxo. Sensor 1 (a), sensor 2 (b) e sensor 3 (c).

Os sensores de fluxo de água, mesmo trabalhando fora da faixa de recomendação do fabricante, contribuíram para o monitoramento e para a calibração da vazão, garantindo-a, igualmente, nos três bocais de atomização pneumática.

### 5.3. Determinação dos volumes de pulverização

Para determinar os volumes de pulverização, foi necessário, primeiramente, determinar o volume de vegetação da cultura (TRV) presente no talhão. De acordo com as dimensões avaliadas no tomateiro, o valor do TRV foi de  $9900 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , e os

volumes de pulverização variaram de acordo com os índices volumétricos (Quadro 11).

Quadro 11 – Volumes de pulverização e índices volumétricos utilizados como tratamentos

| <b>Tratamentos</b> | <b>Índice Volumétrico<br/>(mL m<sup>-3</sup>)</b> | <b>Vol. de Pulverização<br/>(L ha<sup>-1</sup>)</b> |
|--------------------|---|---|
| T <sub>1</sub>     | 5   | 50  |
| T <sub>2</sub>     | 10  | 100   |
| T <sub>3</sub>     | 15  | 150   |
| T <sub>4</sub>     | 20  | 200   |
| T <sub>5</sub>     | 25  | 250   |

Após determinar o volume a ser aplicado de acordo com cada tratamento, calculou-se a vazão de líquido necessária para cada tratamento considerando-se uma velocidade de aplicação de 2 km h<sup>-1</sup> (Quadro 12).

Quadro 12 – Índice volumétrico, volume pulverizado, velocidade e vazão das pontas após calibração do pulverizador pneumático

| <b>IV<br/>(mL m<sup>-3</sup>)</b> | <b>VP<br/>(L ha<sup>-1</sup>)</b> | <b>Velocidade<br/>(km h<sup>-1</sup>)</b> | <b>Vazão de cada ponta<br/>(L min<sup>-1</sup>)</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| 5                                 | 50                                | 2,0                                       | 0,060   |
| 10                                | 100                               | 2,0                                       | 0,110   |
| 15                                | 150                               | 2,0                                       | 0,170   |
| 20                                | 200                               | 2,0                                       | 0,220   |
| 25                                | 250                               | 2,0                                       | 0,280   |

## 5.4. Avaliação da pulverização pneumática

### 5.4.1. Condições psicrométricas do ar

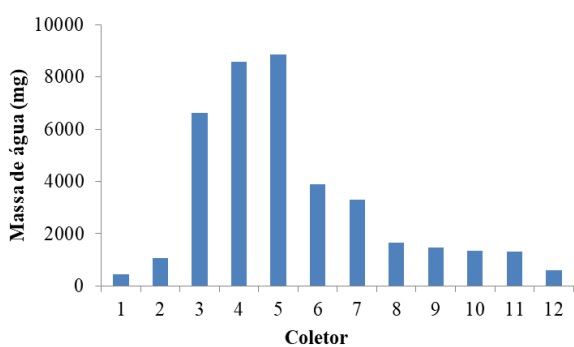
As aplicações foram realizadas no período da manhã. As condições de temperatura e de umidade relativa do ar, durante o experimento, foram de 24 a 29 °C e de 63 a 76 %, respectivamente. A velocidade do vento variou de 5,04 a 6,48 km h<sup>-1</sup>.

As perdas que ocorrem durante uma pulverização são devidas, na sua maioria, por deriva e pela evaporação do líquido. Para reduzir as perdas por deriva, a velocidade do vento deve ser, constantemente, monitorada e as pulverizações devem ser interrompidas quando a velocidade do vento atingir mais que 10 km h<sup>-1</sup> (ANDEF, 2004; RAETANO, 2011).

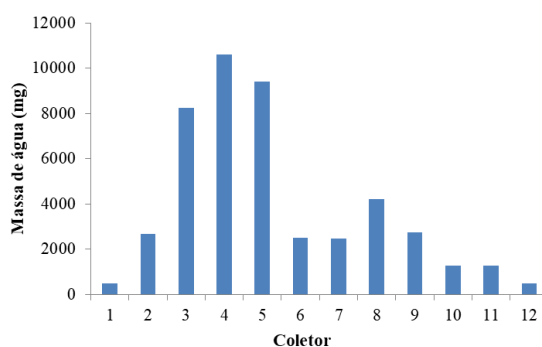
Para minimizar as perdas por evaporação do líquido, as condições psicrométricas do ar devem ser, constantemente, monitoradas durante as pulverizações, os valores recomendados de temperatura do ar devem ser inferiores a 30 °C, e de umidade relativa, superiores a 55% (ANDEF, 2004; RAETANO, 2011).

#### 5.4.2. Perfil e uniformidade de distribuição de líquido do pulverizador pneumático autopropelido

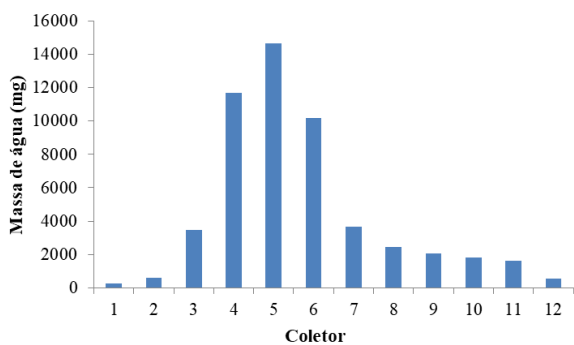
As condições de temperatura e de umidade relativa do ar foram de 26 °C e 69%, respectivamente, com ausência de vento. Os resultados do ensaio do perfil de distribuição de líquido dos bocais avaliados são observados na Figura 24.



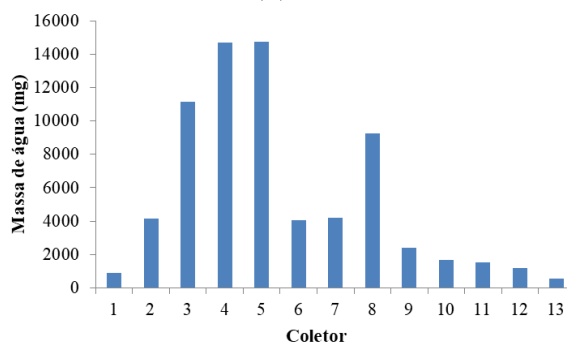
(a)



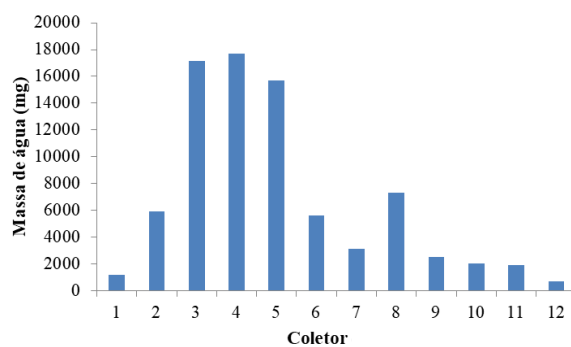
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 24 – Caracterização do perfil de distribuição dos bocais para cada vazão relativa aos Índices Volumétricos utilizados. (a) 0,060 L min<sup>-1</sup>, (b) 0,110 L min<sup>-1</sup>, (c) 0,170 L min<sup>-1</sup>, (d) 0,220 L min<sup>-1</sup>, (e) 0,280 L min<sup>-1</sup>.

Observou-se que, nos coletores 3, 4 e 5, houve picos de líquido com uma queda abrupta dos volumes. Para as vazões de 0,110, 0,220 e 0,280 L min<sup>-1</sup>, o coletor número 8 demonstrou outro pico. Esses pontos reduziram a uniformidade de distribuição dos três bocais atuando, conjuntamente e conseqüente, aumento do coeficiente de variação.

Os valores dos coeficientes de variação para os três bocais pulverizando em conjunto são observados no Quadro 13.

Quadro 13 – Coeficiente de variação (%) em função das vazões de líquido, distância do alvo e distância entre bocais

| Vazão<br>(L min <sup>-1</sup> ) | Distância<br>entre<br>bocais (m) | Distância do alvo (m) |       |       |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-------|-------|
|                                 |                                  | 0,60                  | 0,70  | 0,80  |
| 0,060                           | 0,40                             | 57,70                 | 46,24 | 60,97 |
|                                 | 0,45                             | 41,54                 | 35,88 | 48,85 |
|                                 | 0,50                             | 46,42                 | 35,29 | 50,35 |
| 0,110                           | 0,40                             | 58,98                 | 52,47 | 65,88 |
|                                 | 0,45                             | 53,11                 | 52,20 | 55,28 |
|                                 | 0,50                             | 62,55                 | 54,82 | 44,62 |
| 0,170                           | 0,40                             | 59,26                 | 55,47 | 52,47 |
|                                 | 0,45                             | 63,89                 | 54,78 | 53,04 |
|                                 | 0,50                             | 53,04                 | 41,96 | 39,08 |
| 0,222                           | 0,40                             | 56,33                 | 53,29 | 58,81 |
|                                 | 0,45                             | 57,61                 | 51,53 | 58,10 |
|                                 | 0,50                             | 58,81                 | 50,80 | 48,55 |
| 0,280                           | 0,40                             | 62,92                 | 41,21 | 28,40 |
|                                 | 0,45                             | 54,85                 | 53,61 | 50,16 |
|                                 | 0,50                             | 58,14                 | 53,31 | 46,55 |

Os resultados indicaram que a distância, tanto do alvo quanto entre bocais, alteram os valores do coeficiente de variação, uma vez que há grandes variações nos valores apresentados.

A distância do alvo de 0,60 m apresentou os piores resultados, independentemente das distâncias entre bocais. Os melhores valores ficaram entre as distâncias do alvo de 0,70 e 0,80 m. Uma possível explicação para esse fato é o formato do jorro produzido pelo bocal pneumático, o qual tende a formar uma espécie de cone, aumentando sua abertura, conforme se distanciava da origem.

O coeficiente de variação alterou de acordo com os volumes pulverizados, mostrando que os valores intermediários de 0,80 e 0,50 m foram melhores para as distâncias do alvo e entre bocais, respectivamente. Já para a menor vazão, a melhor combinação entre os fatores foi nas distâncias de, respectivamente, 0,80 e 0,50 m para o alvo e entre bocais. Para a maior vazão, a melhor combinação foi de 0,70 m para a distância do alvo e 0,40 m entre bocais.

A variação da distribuição vertical de líquido pode estar relacionada ao fluxo de ar que era produzido pelo ventilador radial acionado por um motor de combustão interna de dois tempos, o qual não manteve a rotação constante na aceleração máxima, por uma possível variação na alimentação de combustível do motor, interferindo, assim, na velocidade do ar.

Outra explicação pode estar relacionada à distribuição de líquido da ponta dosadora que deposita o líquido no bocal para ser fragmentado, pois só há liberação de líquido em dois lados da ponta, podendo, assim, reduzir a uniformidade de distribuição do líquido. Outro motivo pode ser a estrutura do coletor que não abrangia toda a área do líquido pulverizado.

Pulverizadores com barras horizontais tendem a ter o coeficiente de variação reduzido se comparado com pulverizações pneumáticas equipados com ventilador axial obtidos neste ensaio.

Alvarenga et al. (2014), ao avaliarem a distribuição do fluxo de ar produzido pelo ventilador axial de um pulverizador hidropneumático e a uniformidade da distribuição volumétrica do líquido na vertical, obtiveram valores médios de coeficiente de variação de 136 % a 141%.

Souza Júnior et al. (2016) estudaram o efeito da distribuição volumétrica vertical de um pulverizador de ventilação axial na eficiência de controle de

*Brevipalpus phoenicis* e encontraram valores de coeficiente de variação entre 18 e 55%. Com isso, puderam concluir que o aumento da uniformidade da distribuição volumétrica vertical de um pulverizador com ventilador axial não influenciou na eficiência do controle da praga.

Além disso, concluíram que a diferença pode ser devido ao método utilizado para coletar o líquido pulverizado, indicando que o melhor método a ser empregado, no caso de um pulverizador de ventilador axial, é por meio de uma superfície que cubra largura do jorro toda.

Para realizar as pulverizações no campo foram utilizadas as combinações de distância até o alvo e entre bocais que promoveram os menores CVs, observados no Quadro 14.

Quadro 14 – Combinações das distâncias do alvo e entre bocais utilizadas nas pulverizações em campo

| Vazão (L min <sup>-1</sup> ) | Distância do alvo (m) | Distância entre bocais (m) | CV (%) |
|------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------|
| <b>0,060</b>                 | 0,70                  | 0,50                       | 35,29  |
| <b>0,110</b>                 | 0,80                  | 0,50                       | 44,62  |
| <b>0,170</b>                 | 0,80                  | 0,50                       | 39,08  |
| <b>0,222</b>                 | 0,80                  | 0,50                       | 48,55  |
| <b>0,280</b>                 | 0,80                  | 0,40                       | 28,40  |

#### 5.3.4. Determinação do espectro de gotas

As condições de temperatura e de umidade relativa durante os ensaios permaneceram entre 20 e 22 °C e 73 e 82%, respectivamente, com ausência de vento.

No Quadro 15, observam-se as médias dos valores do espectro de gotas produzido pelo pulverizador pneumático autopropelido.

Quadro 15 – Espectro de gotas do pulverizador pneumático autopropelido

| Vazão (L.min <sup>-1</sup> ) | DMV (µm) | SPAN    | % V<100 (µm) |
|------------------------------|----------|---------|--------------|
| 0,060                        | 63,81 c  | 2,28 a  | 75,10 a      |
| 0,110                        | 82,43 b  | 1,85 ab | 62,62 b      |
| 0,170                        | 92,48 ab | 2,15 a  | 54,25 c      |
| 0,220                        | 98,32 a  | 1,81 ab | 51,14 c      |
| 0,280                        | 104,30 a | 1,45 b  | 47,05 c      |

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Continuação do quadro 15

| <b>100&lt;%V&lt;150</b><br><b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>150&lt;%V&lt;200</b><br><b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>200&lt;%V&lt;250</b><br><b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> |
|--|--|--|
| 13,05 c  | 4,11 c   | 1,45 b   |
| 14,47 c  | 11,19 b  | 5,17 a   |
| 21,81 b  | 10,97 b  | 4,98 a   |
| 24,59 ab   | 12,56 ab   | 5,59 a   |
| 28,91 a  | 15,41 a  | 6,36 a   |

Observou-se que, conforme a vazão de líquido aumenta, o tamanho das gotas (DMV) aumenta, pois as demais classes de tamanho das gotas também aumentaram. Maciel et al. (2017), estudando a vazão, o perfil, a simetria, a uniformidade de distribuição e o espectro de gotas de dois modelos de pontas hidráulicas de pulverização, constataram que, com o aumento da vazão nominal das pontas, há um aumento no tamanho das gotas.

O SPAN variou de 1,45 a 2,28, indicando pequena variação no tamanho das gotas formadas. Quanto menor o valor da amplitude relativa (SPAN), mais homogêneas serão as gotas pulverizadas (SASAKI et al., 2013b). Para ser considerado homogêneo, o espectro de gotas de uma pulverização deve possuir valor de amplitude relativa tendendo a zero. Os valores de DMV e de amplitude relativa devem ser analisados conjuntamente para a caracterização da pulverização.

A porcentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  variou de 75,1 a 47,05%, valores suscetíveis à evaporação e à deriva. Arvidsson et al. (2011) e Gil et al. (2014), concluíram que %V<100  $\mu\text{m}$  é um bom indicador do potencial de deriva. Entretanto no controle de pragas e de doenças onde o alvo localiza-se, muitas vezes, no interior do dossel das plantas, gotas com menor diâmetro penetram com maior facilidade ao longo das plantas, garantindo, assim, uma melhor cobertura do alvo.

A pulverização produzida pelo pulverizador pneumático autopropelido apresentou parâmetros condizentes para a atomização do líquido em gotas, visto que o DMV máximo foi de 104,30  $\mu\text{m}$  e a porcentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro menor que 150  $\mu\text{m}$  foi de 75,73 a 88,15%.

### 5.3.5. Determinação da cobertura, densidade de gotas e deposição de líquido

No Quadro 16, são observadas as médias de interação para a porcentagem de área coberta (cobertura) entre os índices volumétricos e os terços das plantas.

Quadro 16 – Valores médios de cobertura para as combinações dos terços e dos IV

| IV (mL.m <sup>-3</sup> ) | Terços   |           |          |
|--------------------------|----------|-----------|----------|
|                          | Superior | Médio     | Inferior |
| 5                        | 4,33 aAB | 1,53 bB   | 5,02 aA  |
| 10                       | 8,49 aA  | 4,15 bB   | 3,71 aB  |
| 15                       | 8,76 aA  | 6,43 abAB | 4,48 aB  |
| 20                       | 6,65 aA  | 5,04 abA  | 4,38 aA  |
| 25                       | 9,66 aA  | 11,44 aA  | 3,37 aB  |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Aplicando-se o teste Tukey às médias de cobertura (porcentagem de área coberta) das etiquetas para os diferentes índices volumétricos utilizados, observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os terços superior e inferior e que os valores variaram de 1,53 a 11,44%.

O terço médio apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Os índices volumétricos de 5 e de 10 mL m<sup>-3</sup> diferiram, significativamente, do índice volumétrico de 25 mL m<sup>-3</sup>, indicando variação da cobertura ao longo da planta. O único tratamento que não apresentou diferença significativa entre os terços foi o índice volumétrico de 20 mL m<sup>-3</sup>.

Esse comportamento pode ser explicado pela variação encontrada no ensaio de uniformidade de distribuição, mesmo sendo utilizada a combinação que propiciou o menor coeficiente de variação. Justificando também, a variação entre os terços dentro dos índices volumétricos adotados como tratamentos.

No quadro 17, observam-se as médias de interação para a cobertura entre os índices volumétricos e as posições das plantas.

Quadro 17 – Valores médios de cobertura para as combinações das posições e dos IV

| IV (mL m <sup>-3</sup> ) | Posição  |               |         |
|--------------------------|----------|---------------|---------|
|                          | Externo  | Intermediário | Interno |
| 5                        | 5,03 bA  | 2,88 aA       | 2,97 aA |
| 10                       | 8,82 abA | 5,58 aB       | 1,94 aC |
| 15                       | 9,84 abA | 7,02 aA       | 2,81 aB |
| 20                       | 6,34 abA | 8,16 aA       | 1,58 aB |
| 25                       | 11,82 aA | 8,50 aB       | 4,15 aC |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao analisar a interação entre os índices volumétricos e as posições, observou-se diferença estatística, apenas, para a parte externa, em que o primeiro tratamento (5 mL m<sup>-3</sup>) e o último (25 mL m<sup>-3</sup>) diferiram estatisticamente e os valores das médias apresentaram variação de 1,58 a 11,82%. Os valores demonstrados não apresentam risco de escorrimento, uma vez que essa perda ocorre somente, em valores de cobertura superiores a 20%.

Observou-se que os valores de porcentagem de área coberta tendem a reduzir da posição externa para a posição interna. Resultados parecidos foram encontrados por Teixeira (2017).

Nos Quadros 18 e 19, podem ser observadas as médias de interação, para a densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) entre os índices volumétricos, os terços das plantas e a posição.

Quadro 18 – Valores médios de densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) para as combinações dos terços das plantas e dos IV

| IV (mL m <sup>-3</sup> ) | Terços    |            |           |
|--------------------------|-----------|------------|-----------|
|                          | Superior  | Médio      | Inferior  |
| 5                        | 215,44 bA | 97,50 bA   | 173,67 aA |
| 10                       | 256,78 bA | 165,78 abA | 178,44 aA |
| 15                       | 262,89 bA | 229,33 abA | 169,22 aA |
| 20                       | 233,56 bA | 180,00 abA | 159,94 aA |
| 25                       | 429,78 aA | 308,33 aB  | 104,94 aC |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores de densidade de gotas, para os três terços avaliados, foram de 97,50 a 429,78 gotas cm<sup>-2</sup>. Aplicando-se o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, observa-se que, apenas, o último tratamento (25 mL m<sup>-3</sup>) diferiu,

significativamente, dos demais, tanto para os índices volumétricos, quanto para os terços.

Quadro 19 – Valores de densidade de gotas (gotas.cm<sup>-2</sup>) para as combinações das posições das plantas e dos IV

| IV (mL m <sup>-3</sup> ) | Posição    |               |           |
|--------------------------|------------|---------------|-----------|
|                          | Externo    | Intermediário | Interno   |
| 5                        | 228,28 bA  | 129,00 bB     | 129,33 aB |
| 10                       | 290,95 abA | 213,39 abA    | 96,67 aB  |
| 15                       | 271,67 abA | 218,72 abAB   | 171,06 aB |
| 20                       | 201,67 bB  | 294,61 aA     | 77,22 aC  |
| 25                       | 382,83 aA  | 279,46 aB     | 180,78 aC |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios de densidade de gotas variaram de 77,22 a 382,83 gotas com<sup>-2</sup>. Observa-se, portanto, uma tendência das gotas acumularem-se na parte externa da planta, com os valores reduzindo à medida que as gotas projetam-se para o interior do dossel das plantas. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, conforme as gotas viajam ao longo de um fluxo de ar, elas tendem a perder energia, e as gotas que possuem diâmetro maior tendem a interceptar alvos com mais facilidade do que gotas com diâmetros reduzidos (PAIXÃO, 2016).

Potts (1958) relatou que, em um mesmo fluxo de ar, gotas de 60 a 80 µm podem percorrer uma distância de 46 m, e gotas com diâmetro de 200 a 400 µm percorrem, apenas, 6 a 12 m de distância.

Observou-se o mesmo comportamento apresentado pela porcentagem de área coberta, cuja parte externa tende a acumular uma maior quantidade de gotas em relação às demais posições.

A tendência da densidade de gotas foi aumentar conforme o índice volumétrico aumentou. Esse comportamento mostra-se coerente ao modelo proposto por Courshee (1967), uma vez que a cobertura do alvo é influenciada, positivamente, pelo aumento do volume depositado.

A alta densidade de gotas é característica de pulverizadores pneumáticos e pode ser associada ao reduzido diâmetro das mesmas.

Em todos os índices volumétricos estudados, independente do terço ou da posição, o número de gotas foi suficiente para uma aplicação de fungicida segundo Barthelemy et al. (1990), seria na faixa de 50 a 70 gotas cm<sup>-2</sup>.

Para determinar a concentração ( $\text{g mL}^{-1}$ ) depositada de gotas e, posteriormente, a deposição de líquido nas folhas do tomateiro, foi elaborada uma curva de calibração de linearidade obtida entre a leitura da absorbância no espectrofotômetro e as concentrações do corante azul brilhante obtidas a partir de diluições da solução aplicada (Figura 25).

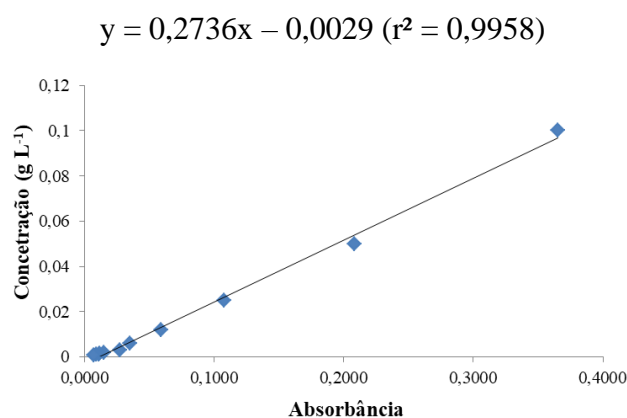


Figura 25 – Curva de calibração do traçador em solução padrão da calda aplicada pelo pulverizador pneumático autopropelido.

Nos Quadros 20, 21 e 22, estão demonstrados os resultados das deposições nas folhas analisados pregando-se teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade para os índices volumétricos aplicados, os terços e as posições das plantas.

Quadro 20 – Valores médios de deposição de líquido pulverizado em função dos IV utilizados

| IV ( $\text{mL m}^{-3}$ ) | Deposição ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 5                         | 0,00333 b                           |
| 10                        | 0,00328 b                           |
| 15                        | 0,00329 b                           |
| 20                        | 0,01075 a                           |
| 25                        | 0,01149 a                           |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Houve diferença significativa apenas para os índices volumétricos de 20 e de 25  $\text{mL m}^{-3}$  em comparação com os demais. Esse comportamento pode ser devido ao aumento do volume pulverizado. Santinato et al. (2017) avaliaram a deposição de caldas de pulverização em lavouras de café aplicadas em diferentes volumes

vegetativos e constataram que a deposição de calda aplicada nas lavouras de café aumenta conforme o volume pulverizado aumenta.

Quadro 21 – Valores médios de deposição de líquido pulverizado em função dos terços das plantas

| <b>Terço</b> | <b>Deposição (<math>\mu\text{L cm}^{-2}</math>)</b> |
|--------------|---|
| Superior     | 0,00589 a   |
| Médio        | 0,00674 a   |
| Inferior     | 0,00665 a   |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quadro 22 – Valores médios de deposição de líquido pulverizado em função das posições das plantas

| <b>Posição</b> | <b>Deposição (<math>\mu\text{L cm}^{-2}</math>)</b> |
|----------------|---|
| Externo        | 0,00699 a   |
| Intermediário  | 0,00596 a   |
| Interno        | 0,00633 a   |

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Já para os terços e para as posições analisadas, não houve diferença significativa. Esse comportamento pode ser relacionado à distribuição de líquido proporcionada pelo pulverizador pneumático autopropelido, o qual distribuiu líquido, igualmente, em todos os terços e posições avaliados, fazendo com que o líquido chegasse a todas as partes da planta de forma igual.

Uma possível explicação para esse fato se deve à barra de pulverização vertical instalada no pulverizador, que comporta os três bocais, fazendo com que a pulverização seja distribuída, de maneira mais uniforme, em todo o dossel da planta, reduzindo, assim, a variação do movimento da lança de pulverização, como visto em atomizadores costais. Teixeira (2017) utilizou um pulverizador costal motorizado, em tratamento fitossanitário de plantas de tomateiro e obteve diferentes deposições ao longo das posições e dos terços das plantas.

Vários autores (SCUDELER et al., 2004; RUAS et al., 2011; MIRANDA et al., 2013) relataram que aplicações de defensivos agrícolas, em diferentes culturas, realizadas com pulverizadores pneumáticos ou assistidos a ar mostraram-se mais eficientes do que em equipamentos que utilizam, apenas, o princípio hidráulico de fragmentação do líquido em gotas.

Neto et al. (2016) avaliaram a deposição de calda promovida por pulverizadores empregados na cafeicultura de montanha, sendo eles pulverizador costal motorizado, triciclo pulverizador, costal motorizado adaptado e costal manual e concluíram que há viabilidade técnica na redução do volume de pulverização de 400 para 200 L ha<sup>-1</sup> empregando-se a tecnologia de aplicação adequada.

## 6. CONCLUSÕES

O homogeneizador de ar distribuiu o fluxo de ar para os três bocais de pulverização, apresentando um coeficiente de variação de 0,65% e velocidade de ar de 78,37; 78,04 e 78,19 m s<sup>-1</sup> para os bocais I, II e III, respectivamente.

O comando do defensivo construído permitiu calibrar o pulverizador, mantendo as vazões de líquido estabelecidas em função do TRV mensurado.

A velocidade do ar de 72,00 m s<sup>-1</sup> apresentou uma porcentagem de gotas com diâmetro abaixo de 150 µm de 59,44% e um DMV de 106 µm para a vazão de líquido de 0,530 L min<sup>-1</sup>.

A uniformidade de distribuição do líquido pulverizado apresentou um coeficiente de variação de 28,40 a 65,88% para as vazões de líquido de 0,060 L min<sup>-1</sup> e de 0,280 L min<sup>-1</sup>.

A porcentagem de área coberta do alvo foi de 1,53 a 11,44% em função dos terços e de 1,58 a 11,82% em função das posições nas plantas de tomateiro avaliadas.

A densidade de gotas variou de 97,50 a 429,78 gotas cm<sup>-2</sup> em função dos terços e de 77,22 a 382,83 gotas cm<sup>-2</sup> em função das posições das plantas de tomateiro avaliadas.

O índice volumétrico de 25 mL m<sup>-3</sup> apresentou uma deposição de calda 0,01149 µL cm<sup>-2</sup>.

Por fim, o índice volumétrico de 5 mL m<sup>-3</sup>, com consequente volume de pulverização de 50 L ha<sup>-1</sup>, atendeu a recomendação da densidade de gotas na cultura do tomateiro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMIDES, G.; CHRISTOU, G.; KATSANOS, C.; XENOS, M.; KOSTARAS, N.; HADZILACOS, T.; EDAN, Y. **A reality-based interaction interface for an agricultural teleoperated robot sprayer**. In: Second International Conference on Robotics and Associated High-Technologies and Equipment for Agriculture and Forestry. Madrid, 2014.

ALMEIDA, V. S.; SILVA, D. J.; GOMES, C. N.; ANTONIO, A. C.; MOURA, A. D.; LIMA, A. L. Viçosa tomato growing system. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 33, n. 1, p. 74-79, 2015.

ALVARENGA, C. B., TEIXEIRA, M. M., ZOLNIER, S., SASAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Air and liquid volumetric distribution in vertical in a hydro-pneumatic sprayer. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapava, v. 7, n. 1, p. 71-79, 2014.

ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, Chichester, v. 67, n. 5, p. 586-598, 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL – ANDEF. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. 1ª edição, Campinas: Linea Creativa, 2004. 50 p.

BACCARIN, J. G.; BUENO, G.; SILVA, D. B. P. Cadeias e produtos agropecuários e a inflação brasileira da alimentação no domicílio. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 64-81, 2015.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. Piracicaba: Editora Menole LTDA., 2004.

BARTHELEMY, P.; BOISGOINTER, D.; JOUY, L.; LAJOUX, P. **Choisir les outils de pulvérisation**. Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 160p. 1990.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Atividade e operações insalubres. NR15. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/normaregulamentadorra-n-15-1.htm>>. Acesso em: 10 de jan 2018.

BUENO, M. R.; DA CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Deposição de calda na aplicação aérea e terrestre de fitossanitário na cultura da batata. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, 2013.

CAMPBELL, P. R.; CREMER, J. E.; ROACH, R. L.; STEELE, V.; SUBRAMANIAM, S.; SIVASUBRAMANIAM, V.; MONSOUR, C.; MULLINS, T.; PERSLEY, C. F.; GAMBLEY, C. F. Towards area wide management of insect vectored viruses of tomatoes in the Bowen district. **Virus Research**, Amsterdam, v. 241, p. 228-235, 2017.

CARVALHO, F. S. A.; MORORÓ, W. M. D.; DE ALENCAR, Y. C. A.; SETTE, R. B. T.; DE SOUSA, M. N. A. Intoxicação exógena no estado de minas gerais, brasil. **Ciência & Desenvolvimento-Revista Eletrônica da FAINOR**, Vitória da Conquista, v. 10, n. 1, p. 172-184, 2017.

CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; VILELA, C. M.; ARRUDA, A. C. Caracterização da taxa de aplicação e pontas de pulverização utilizadas no Estado de Mato Grosso. **MAGISTRA**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 89-97, 2017.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D.C. (ed.) **Fungicide: An advanced treatise**. Academic Press, New York, 1967. p. 239-286.

DORNELLES, M. E.; SCHLOSSER, J. F.; BOLLER, W.; RUSSINI, A.; CASALI, A. L. Inspeção técnica de tratores e pulverizadores utilizados em pulverização agrícola. **Engenharia na Agricultura, Viçosa**, v. 19, n. 1, p. 36-43, 2011.

FAO - Food and Agricultural Organization of the United Nations. **FAOSTAT: base de dados**. 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 19 jan. 2018.

GIL, E. **Tratamientos en viña. equipos y técnicas de aplicación**. Barcelona, Espanha: Edicions UPC. p. 169, 2003.

GIL, E.; BALSARI, P.; GALLART, M.; LLORENS, J.; MARUCCO, P.; ANDERSEN, P. G.; FÀBREGAS, X.; LLOP, J. Determination of drift potential of different flat fan nozzles on a boom sprayer using a test bench. **Crop Protection**, Philadelphia, v. 56, p. 58-68, 2014.

GOERING, C.E.; STONE, M.L.; SMITH, D.W.; TURNQUIST, P.K. Engine performance measures. In: **Off-Road Vehicle Engineering Principles**. St. Joseph, Mich.; ASAE. Copyright American Society of Agricultural Engineers, 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **LSPA - LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**, 2018. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Arquivo consultado em 19 de Janeiro de 2016.

IOST, C. A. R.; FERREIRA, M. C.; MARTINELLI, N. M.; MACCAGNAN, D. H. B. Avaliação de volumes de calda proporcionados por diferentes pontas de pulverização no controle de Tuta absoluta (Meirick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomate rasteiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, 2008.

JACTO. **Máquinas Agrícolas Jacto**, 2018. Disponível em <http://www.jacto.com.br/>. Acesso em: 11 de Janeiro de 2018.

KÖPPEN, W. **Climatologia - con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 478 p. 1948.

LEFEBVRE, A. H.; MCDONELL, V. G. **Atomization and sprays**, second edition. Taylor and Francis, USA, 285 p., 2017.

LI, Y., LI, Y., PAN, X., LI, Q. X., CHEN, R., LI, X., PAN, P., SONG, J. Comparison of a new air-assisted sprayer and two conventional sprayers in terms of deposition, loss to the soil and residue of azoxystrobin and tebuconazole applied to sunlit greenhouse tomato and field cucumber. **Pest management science**, West Sussex, v. 74, n. 2, p. 448-455, 2017.

LLOP, J.; GIL, E.; LLORENS, J.; GALLART, M.; BALSARI, P. Influence of air-assistance on spray application for tomato plants in greenhouses. **Crop protection**, Philadelphia, v. 78, p. 293-301, 2015.

LLOP, J.; GIL, E.; GALLART, M.; CONTADOR, F.; ERCILLA, M. Spray distribution evaluation of different settings of a hand-held-trolley sprayer used in greenhouse tomato crops. **Pest management science**, West Sussex, v. 72, n. 3, p. 505-516, 2016.

MACIEL, C. F. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; VITÓRIA, E. L.; CECON, P. R. Distribuição volumétrica e espectro de gotas das pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2. **Engenharia na Agricultura/Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 3, p. 183-199, 2017.

MANHANI, G. G.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R.S. Developing a system to control the air flow of a pneumatic sprayer. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 667–675, 2013.

MANHANI, G. G.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. Déficit de pressão do vapor d'água na

pulverização pneumática. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 57, n. 2, p. 118-123, 2014.

MARIM, B. G.; SILVA, D. J. H.; GUIMARÃES, M. A.; BELFORT, G. Sistemas de tutoramento e condução do tomateiro visando produção de frutos para consumo in natura. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 23, n. 4, p. 951-955, 2005.

MATOS, E. S. **Desempenho de híbridos de tomate de mesa em função de sistemas de condução e da densidade populacional**. 2010. 106f. Tese (Doutorado Em Fitotecnia) - Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

MATOS, E. S.; SHIRAHIGE, F. H.; MELO, P. C. T. Desempenho de híbridos de tomate de crescimento indeterminado em função de sistemas de condução de plantas. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 30, n. 2, p. 240-245, 2012.

MATTHEWS, G.A. **The application of chemicals for plant disease control**. In: WALLER, J.M.; LENNÉ, J.M.; WALLER, S.J. Plant pathologist's pocketbook. London: CAB, 2002. p. 345-353.

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

MASSINON, M.; DE COCK, N.; FORSTER, W. A.; NAIRN, J. J.; MCCUE, S. W.; ZABKIEWICZ, J. A.; LEBEAU, F. Spray droplet impaction outcomes for different plant species and spray formulations. **Crop Protection**, Philadelphia n. 99, p. 65-75, 2017.

MCLEOD, A.; MASIMBA, T.; JENSEN, T.; SERFONTEIN, K.; COERTZE, S. Evaluating spray programs for managing copper resistant *Pseudomonas syringae* pv. tomato populations on tomato in the Limpopo region of South Africa. **Crop Protection**, Philadelphia, v. 102, p. 32-42, 2017.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 23, n. 1, p. 154-157, 2005.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial**. São Paulo: Convênio Cetesb/Ascetesb, 1985. 442 p.

MEWES, W. L. C.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZANUNCIO, J. C.; TIBURCIO, R. A. S. Parâmetros característicos da pulverização pneumática em copas de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 635-640, 2015.

MEWES, W. L. C.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; CECON, P. R.; ALVARENGA, C. B. Deposição de calda em eucalipto, utilizando pulverização pneumática. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 283-288, 2011.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. V.2. São Paulo: EDU/SP, p.367, 1980.

MIALHE, L.G. **Maquinas Agrícola – Ensaio & Certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, p.723, 1985.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, p.722, 1996.

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

MIRANDA-FUENTES, A.; MARUCCO, P.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, E. J.; GIL, E.; GRELLA, M.; BALSARI, P. Developing strategies to reduce spray drift in pneumatic spraying in vineyards: Assessment of the parameters affecting droplet size in pneumatic spraying, **Science of The Total Environment**, v. 616, p. 805-815 2018.

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. **Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 448-459, 2013.

NETO, J. G.; CUNHA, J. P. A. R.; MARQUES, R. S.; LASMAR, O.; BORGES, E. B. Deposição de calda promovida por pulverizadores empregados na cafeicultura de montanha. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 267 - 275, 2016.

NUKIYAMA, S.; TANASAWA, Y. Experiment on atomization of liquid by means of air stream. Transactions of the Society of Mechanical Engineers – **Japan**, Vol. 4, n 14, p. 86-93, 1938.

OLIVEIRA, V. B. M.; SOUZA JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, L. O. A.; RUAS, R. A. A.; GODINHO JUNIOR, J. D. Análise da deposição e penetração de calda na cultura da cenoura. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 10, n. 1, p. 121-127, 2017.

PAIXÃO, G. P. **Caracterização de pulverizadores para aplicação de defensivos agrícolas na cultura do café**. 2016. 55f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

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

PENIDO, E. C. C. **Pulverizador autopropelido controlado e monitorado à distância para a aplicação de fitossanitários em lavouras de tomate**. 2016. 70f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

PICANÇO, M. C.; PAULA, S. V.; MORAES JR., A. R.; OLIVEIRA, I. R.; SEMEÃO, A. A.; ROSADO, J. F. Impactos financeiros da adoção de manejo

integrado de pragas na cultura do tomateiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, vol. 26, n. 2, p. 245-252, 2004.

POTTS, S.F. **Concentrated spray Equipment, Mixtures and Application Methods**. Dorland Books, New Jersey, 598 p. 1958.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passa Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. cap. 1, p. 15-26.

RASI, J. R. **Sistema de pulverização de lavouras por meio de aeromodelo de asa fixa telecomandado**. Brasil – Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), nº do pedido PI 0404045-7 B1, 2004.

RODRIGUES, Denílson Eduardo. **Fontes alternativas de energias utilizadas na propulsão de micro trator agrícola para o processamento de café em terreiro**. 2005, 94f. Tese (Doutorado em engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

RUAS, J. M. F.; BALAN, R.; SAAB, O. J. G. A. Comparação da cobertura de pulverizadores costais de acionamento manual e motorizado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1417-1422, 2011.

RINCÓN, V. J.; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; PÁEZ, F., PÉREZ-ALONSO, J.; CALLEJÓN, Á. J. Assessment of the influence of working pressure and application rate on pesticide spray application with a hand-held spray gun on greenhouse pepper crops. **Crop Protection**, Philadelphia, v. 96, p. 7-13, 2017.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; PÁEZ, F.; RINCÓN, V. J.; CARVAJAL, F. Evaluation of the effect of spray pressure in hand-held sprayers in a greenhouse tomato crop. **Crop protection**, Philadelphia, v. 54, p. 121-125, 2013a.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; PÁEZ, F.; RINCÓN, V. J.; CALLEJÓN, Á. J. Evaluation of a fog cooling system for applying plant-protection products in a greenhouse tomato crop. **Crop protection**, Philadelphia, v. 48, p. 76-81, 2013b.

SANTINATO, F.; RUAS, R. A. A.; SILVA, C. D.; SILVA, R. P.; GONÇALVES, V. A. R. G.; SOUZA JÚNIOR, J. M. Deposição da calda de pulverização em diferentes volumes vegetativos de *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 69-73, 2017.

SANTOS HS; PERIN WH; TITATO LG; VIDA JB; CALLEGARI O. Avaliação de sistemas de condução em relação à severidade de doenças e à produção de tomateiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 21, n. 3, p. 453-457, 1999.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B.; SANTIAGO, H.; MACIEL, C. F. S. Spectrum of droplets produced by use of adjuvants. **Idesia**, Arica, v. 31, n. 1, p. 27-33, 2013b.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. M. D. 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.

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

SHERIDAN, T. B. Telerobotics. **Automatica**, v. 25, n. 4, p. 487-507, 1989.

SILVA, J. S.; LOPES, R. P.; LOPES, D. C.; REZENDE, R. C. Seleção e construção de ventiladores. In: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. P. 37-62.

SOUZA JÚNIOR, J. M. D.; RUAS, R. A. A.; GODINHO JUNIOR, J. D.; CARVALHO FILHO, A.; FARIA, V. R. Vertical volumetric distribution of an axial fan sprayer on the *Brevipalpus phoenicis* control. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 2, p. 183-190, 2016.

TEIXEIRA, C. C. **Otimização da pulverização pneumática com base no volume do dossel e índice volumétrico no estádio reprodutivo da cultura do tomateiro**. 2017. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

UTINO, V. M. **Fusão de informações obtidas a partir de múltiplas imagens visando à navegação autônoma de veículos inteligentes em ambiente agrícola**. 2015. 80f. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

WAMSER, A. F.; BECKER, W. F.; SANTOS, J. P.; MUELLER, S. Influência do sistema de condução do tomateiro sobre a incidência de doenças e insetos-praga. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 26, n. 2, p. 180-185, 2008.

WAMSER, A. F.; VALMORBIDA, J.; SUZUKI, A.; HAHN, L.; MUELLER, S.; BECKER, W. F.; FELTRIM, A. L.; ENDER, M. M. Planting density and arrangement for the mechanized spraying of vertically staked tomatoes. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 35, n. 4, p. 519-526, 2017.

WIDDEN, M. B.; BLAIR, J. R. A new automatic tractor guidance system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 17, n. 1, p. 10-21, 1972.

ZABKIEWICZ, J. A. Spray formulation efficacy-holistic and futuristic perspectives. **Crop Protection**, Philadelphia, n. 26, v. 3, p. 312-319, 2007.