

CLEONICE CAMPOS TEIXEIRA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO
POR NEBULIZAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO PARA O TOMATEIRO**

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

Orientador: Mauri Martins Teixeira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

T266d
2021
Teixeira, Cleonice Campos, 1988-
Desenvolvimento e avaliação de um sistema de
pulverização por nebulização em casa de vegetação para o
tomateiro / Cleonice Campos Teixeira. – viçosa, MG, 2021.
1 tese eletrônica (91 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Mauri Martins Teixeira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.84-91.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.065>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Tomates - Doenças e pragas. 2. Estufas para cultivo.
3. Controle de temperatura. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 635.64293

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578


CLEONICE CAMPOS TEIXEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO POR
NEBULIZAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO PARA O TOMATEIRO**

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

APROVADA: 12 de julho de 2021.

Assentimento:



Cleonice Campos Teixeira
Autora



Mauri Martins Teixeira
Orientador

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

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

Aos meus pais, Elesbão e Josefina, pelos cuidados, palavras de apoio, amor, compreensão e carinho em toda jornada da minha vida.

A minha irmã Cláudia, meu cunhado Artemus e minha querida sobrinha Maya por todo apoio, amor e carinho.

Ao meu marido Philippe, pelo apoio, companheirismo, paciência, incentivo, amor e carinho ao longo desta jornada.

Um agradecimento especial ao meu orientador Mauri Martins Teixeira, pela oportunidade, pela paciência, orientação, compreensão e pelos valiosos ensinamentos a mim passados.

Aos professores Derly José Henriques da Silva, Edney Leandro da Vitória e Paulo Roberto Cecon, pela coorientação, contribuições e sugestões durante toda a pesquisa.

Aos professores Haroldo, Marconi e Flora pelos ensinamentos, pela amizade e ajuda durante toda a pesquisa.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela estrutura, acolhimento e pela oportunidade de qualificação e de realização do doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

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

A todos os meus amigos e colegas do laboratório de Mecanização Agrícola, em especial Jéssica, Matheus, Rafael, Grasielle, Priscila, Amanda, Carol, Inglith, Hugo, Marcio, Gefferson, Remo, Larissa, Juliana, Felipe, Thiago, Raquel, Flávio e Pedro por auxiliarem na execução do projeto.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola que auxiliaram durante toda essa jornada.

Aos demais que, de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, agradeço imensamente.

RESUMO

TEIXEIRA, Cleonice Campos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de pulverização por nebulização em casa de vegetação para o tomateiro.** Orientador: Mauri Martins Teixeira.

O tomate (*Solanum Lycopersicon L.*) é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil, apresentando papel fundamental no cenário agrícola mundial. As técnicas e sistemas de cultivo em casa de vegetação, podem ser uma alternativa vantajosa para aumentar a produtividade de forma sustentável. Um dos grandes problemas enfrentados pelos produtores de tomate é a aplicação de produtos fitossanitários em cultivo em casa de vegetação. Os tratamentos fitossanitários exigem conhecimento das condições meteorológicas antes, durante e após as aplicações. Além disso, expõe o aplicador em contato direto com o produto químico, podendo acarretar risco à sua saúde. Visto isto, objetivou-se com esse trabalho, o desenvolvimento de um sistema de nebulização automatizado a partir de um dispositivo de resfriamento adiabático para casa de vegetação e a avaliação de seu desempenho para a cultura do tomateiro. Para a realização dos ensaios foi necessário a instalação de uma casa de vegetação, composta de perfil de alumínio e plástico filme 150 microns, com 3,0 m de largura por 3,0 m de comprimento e pé direito de 3,0 m. Foi empregado um sistema de nebulização fixo instalado no teto da casa de vegetação distribuído por toda casa de vegetação, onde foram afixadas as pontas de pulverização para a nebulização. Após a instalação o sistema de resfriamento, via nebulização, na casa de vegetação, observou-se que, o sistema de resfriamento proporcionou o controle dos fatores ambientais adequadamente. O sistema melhorou o microclima interno da casa de vegetação, aumentando a umidade interna e diminuindo a temperatura. A umidade relativa aumentou 18,6%, em média, passando de 64% sem neblina para 82,6% na casa de vegetação com neblina. A uniformidade de distribuição de líquido foi analisada empregando-se o coeficiente de variação e constatou-se uma variação de 2,63 a 40,98%. O espectro de gotas foi caracterizado utilizando um analisador de partículas a laser, sendo que a ponta nebulizadora apresentou gotas com diâmetro da mediana volumétrica médio de 39,45 μm , sendo classificadas como gotas extremamente finas. Para avaliação da qualidade da pulverização foram utilizadas etiquetas de papel hidrossensível para determinar a porcentagem de área coberta. A maior cobertura obteve-se no espaçamento de 0,5 m entre pontas, alcançando o valor de 100% de cobertura com o volume pulverizado de 0,0393 L m⁻³,

em um tempo de 90 s. Acima desse volume pulverizado a cobertura permanece constante em 100%. Para a avaliação da deposição de líquido no dossel das plantas, foram coletados folíolos do tomateiro que posteriormente foram lavados, e a solução da lavagem foi analisada em espectrofotômetro para determinar a absorvância, que após a determinação de área foliar possibilitou obter a concentração de depósitos de calda nos folíolos. A deposição de calda na planta foi maior no espaçamento de 0,5 m entre pontas nebulizadoras, variando em média de 0,0254 a 0,0726 $\mu\text{L cm}^{-2}$. A deposição aumentou de acordo com o aumento do volume pulverizado. O espaçamento de 0,5 m entre pontas nebulizadoras, com volume de pulverização de 0,0393 L m^{-3} , atendeu aos parâmetros de uma pulverização de qualidade.

Palavras-chave: Aplicação de fitossanitários. Condições ambientais. Tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Cleonice Campos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Development and evaluation of a greenhouse system of spraying for nebulization for tomato plants.** Adviser: Mauri Martins Teixeira.

Tomato (*Solanum Lycopersicon* L.) is one of the main vegetables grown in Brazil, a fundamental role in the world agricultural scenario. As greenhouse cultivation techniques and systems, they can be an advantageous alternative to sustainably increase productivity. One of the major problems faced by tomato growers is the application of phytosanitary products in greenhouse cultivation. Phytosanitary treatments require knowledge of weather conditions before, during and after applications. Other than that, it exposes the applicator in direct contact with the chemical, which may pose a risk to your health. In view of this, the objective of this work was the development of an automated nebulization system from an adiabatic cooling device for a greenhouse and an evaluation of its performance for the tomato crop. To carry out the tests required the installation of a greenhouse, composed of aluminum profile and 150 micron plastic film, 3.0 m wide by 3.0 m long and with a ceiling height of 3.0 m. A fixed misting system was used, installed on the roof of the greenhouse distributed throughout the entire greenhouse, where the cooling system was affixed as spray tips for nebulization after installation, via nebulization, in the greenhouse, observed that, the cooling system provided the control of environmental factors. The system improved the indoor microclimate of the greenhouse, increasing indoor humidity and decreasing temperature. Relative humidity increased 18.6%, on average, from 64% without fog to 82.6% in the greenhouse with fog. The uniformity of liquid distribution was analyzed using the coefficient of variation and a variation of 2.63 to 40.98% was found. The drop spectrum was used using a laser particle analyzer, and a nebulizer tip showed drops with a mean volumetric median diameter of 39.45 μm , being classified as extremely fine drops. To assess the quality of spraying, water-sensitive paper labels were used to determine the percentage of covered area. The greatest coverage is obtained in the spacing of 0.5 m between tips, reaching the value of 100% coverage with the sprayed volume of 0.0393 L m^{-3} , in a time of 90 s. Above this sprayed volume the coverage remains constant at 100%. To evaluate the deposition of liquid in the canopy of the plants, tomato leaflets were collected and then washed, and the washing solution was analyzed in a spectrophotometer to determine the absorbance, which after

determining the leaf area allowed to obtain the concentration of syrup deposits. in the leaflets. The spray deposition on the plant was greater in the spacing of 0.5 m between the spray tips, ranging on average from 0.0254 to 0.0726 $\mu\text{L cm}^{-2}$. Deposition increased as the volume sprayed increases. The 0.5 m spacing between nebulizer tips, with a spray volume of 0.0393 L m^{-3} , met the parameters of a quality spray.

Keywords: Phytosanitary application. Environmental conditions. Application technology.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 A CULTURA DO TOMATEIRO.....	14
2.2 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS.....	16
2.3 RESFRIAMENTO ADIABÁTICO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	19
2.4 SISTEMA DE NEBULIZAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	22
2.4.1 Aplicação de produtos fitossanitários via nebulização a frio em casa de vegetação	22
2.5 CONDIÇÕES AMBIENTAIS NO INTERIOR DAS CASAS DE VEGETAÇÃO.....	24
2.6 SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE BAIXO CUSTO EM CASAS DE VEGETAÇÃO.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	30
3.2 CONSTRUÇÃO DA CASA DE VEGETAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	30
3.3 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO NA CASA DE VEGETAÇÃO.....	30
3.4 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO POR NEBULIZAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	31
3.5 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA A NEBULIZAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	34
3.6 DETERMINAÇÃO DO ESPAÇAMENTO IDEAL ENTRE PONTAS PARA UMA BOA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO VOLUMÉTRICA DO PRODUTO.....	36
3.6.1 Caracterização do perfil de distribuição individual e coeficiente de variação da distribuição volumétrica do conjunto das pontas.....	36
3.6.2 Determinação do espectro de gotas da ponta nebulizadora.....	37
3.7 ESTIMAÇÃO O VOLUME DE PULVERIZAÇÃO DO FITOSSANITÁRIO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PONTAS NEBULIZADORAS E TEMPO DE PULVERIZAÇÃO.....	39
3.8 AVALIAÇÃO DA DISPERSÃO DO JORRO DAS PONTAS NEBULIZADORAS NA CASA DE VEGETAÇÃO EM FUNÇÃO DO VOLUME DE PULVERIZAÇÃO.....	39
3.9 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA PULVERIZAÇÃO DO NEBULIZADOR PARA A CULTURA DO TOMATEIRO.....	42

3.9.1	Determinação da cobertura da nebulização no tomateiro.....	42
3.9.2	Deposição da calda nas folhas do tomateiro	43
3.9.3	Análise estatística.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	47
4.2	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO POR NEBULIZAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO	47
4.3	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA A NEBULIZAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	49
4.4	DETERMINAÇÃO DO ESPAÇAMENTO IDEAL ENTRE PONTAS PARA UMA BOA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO VOLUMÉTRICA DO PRODUTO.....	55
4.4.1	Espectro de gotas da ponta nebulizadora	60
4.5	ESTIMAÇÃO DO VOLUME DE PULVERIZAÇÃO DO FITOSSANITÁRIO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PONTAS NEBULIZADORAS E TEMPO DE PULVERIZAÇÃO.....	61
4.6	AVALIAÇÃO DA DISPERSÃO DO JORRO DAS PONTAS NEBULIZADORAS NA CASA DE VEGETAÇÃO EM FUNÇÃO DO VOLUME DE PULVERIZAÇÃO.....	63
4.7	EFICIÊNCIA DA NEBULIZAÇÃO NA CASA DE VEGETAÇÃO PARA A CULTURA DO TOMATEIRO	70
4.7.1	Porcentagem de cobertura das nebulizações	70
4.7.2	Deposição da calda nas folhas do tomateiro	75
5	CONCLUSÕES	83
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum Lycopersicum*) é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil, apresentando papel fundamental no cenário agrícola mundial. O tomateiro é amplamente utilizado devido à sua versalidade culinária e valor nutricional, podendo ser consumido tanto *in natura*, acompanhando as refeições, quanto processado, empregando-se em molhos prontos e em extratos concentrados.

O tomate faz parte da dieta alimentar da maioria dos brasileiros, porque seu fruto além de saboroso é muito nutritivo e saudável, sendo fonte de várias vitaminas e minerais. 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 acaba sofrendo competição com plantas invasoras, as quais podem afetar, diretamente e indiretamente a qualidade do fruto.

Entre as principais pragas que atacam o tomateiro a mosca-branca (*Bemisia spp*), vem se destacando como um dos principais problemas. A incidência dessa praga tem aumentado nos últimos anos e os ataques tornando-se mais severos, o que implica grandes perdas na cultura. Atualmente a mosca branca é um problema sério em diversas culturas, causando danos pela sucção direta de seiva, pela transmissão de viroses e pelo aparecimento da fumagina, devido às suas secreções açucaradas. Logo, os frutos tornam-se inviáveis para a comercialização e para os processos industriais, em virtude da perda da qualidade.

Diante disto é necessário fazer o manejo fitossanitário integrado e preventivo, monitorando diariamente as lavouras, além de fazer o controle com produtos eficientes para cada etapa da doença. Sendo assim, são aplicados produtos fitossanitários com o intuito de possibilitar maior produtividade e qualidade ao fruto.

O ataque de pragas e doenças, faz com que o agricultor aplique muitos produtos fitossanitários, resultando em alguma atividade onerosa e insegura, o que além de ser perigosa, trabalhosa e cara. Com isso, o uso de produtos fitossanitários acaba tornando-se massivo. Atualmente, o principal desafio para a horticultura nacional é melhorar a qualidade dos frutos, aumentar a vida útil do produto e diminuir as perdas de produtos que acontecem, principalmente, por fatores climáticos.

Devido à crescente demanda por hortaliças de melhor qualidade, os produtores têm sido obrigados a investir em novas tecnologias que possibilitem a obtenção de alta produtividade e qualidade dos frutos. O cultivo em ambiente protegido e a otimização da aplicação de produtos fitossanitários estão entre as principais tecnologias e práticas culturais

que podem ser utilizadas para a melhoria da qualidade, aparência dos frutos, segurança do consumidor e aplicador.

O cultivo em ambiente protegido proporciona a produção em períodos não indicados quando, em campo aberto, ocorreriam fatores desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas, como temperatura ou chuvas em excesso. De modo geral, no cultivo protegido a colheita é ampliada, proporcionando maior produtividade. Essa forma de cultivo requer manejo diferenciado, assim, o ideal é que haja cultivares apta a altas produtividades e elevado padrão de qualidade, sendo seus principais desafios relacionados à fisiologia das plantas, doenças, nutrição, irrigação, polinização e fecundação.

Geralmente os tratamentos fitossanitários em ambiente protegido realizam-se mediante sistemas manuais e pouco tecnificados, em que sua eficiência depende do operador e do equipamento utilizado. Como uma desvantagem principal deste sistema destaca-se a falta de uniformidade de distribuição das pulverizações, o que resulta em um aumento das doses e, portanto, um aumento nos custos de cultura. Além disso, obriga o aplicador a ter contato direto com o produto químico, podendo acarretar risco à sua saúde.

As condições ambientais no interior das estufas (altas temperaturas, umidade e pouca renovação de ar), faz com que o operador tenha ainda mais exposição sobre o produto, ele pode estar envolvido em uma nuvem tóxica ao se encontrar perto do ponto de emissão. Na maioria das vezes por ser um ambiente fechado, o operador sente muito desconforto com o uso de equipamento de proteção individual. Visto esses problemas que colocam a saúde do aplicador em risco, e muitas vezes também a do consumidor pelo alto volume aplicado de agrotóxicos nos produtos, objetivou-se, com esse trabalho o desenvolvimento de um sistema de nebulização automatizado a partir de um dispositivo de resfriamento adiabático para casa de vegetação e a avaliação do seu desempenho para a cultura do tomateiro.

Além disso, pretendeu-se com este projeto:

- Construir um sistema de pulverização por nebulização em casa de vegetação ;
- Desenvolver um sistema de automação para a nebulização em casa de vegetação;
- Estimar o espaçamento entre pontas ideal para uma boa uniformidade de distribuição do produto;
- Estimar o volume de pulverização do fitossanitário em função do número de pontas nebulizadoras e tempo de pulverização;
- Avaliar a dispersão do jorro das pontas nebulizadoras na casa de vegetação em função do volume de pulverização; e,

- Determinar a eficiência da pulverização do nebulizador para a cultura do tomateiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do tomateiro

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) pertencente à família das Solanáceas. É uma cultura de grande importância mundial, por ser uma das hortaliças do tipo fruto mais consumidas no mundo (FAO, 2019). A área cultivada do tomateiro vem aumentando, tornando-se uma olerícola de grande importância econômica, tanto no comércio nacional como internacional, por ser uma cultura de ciclo relativamente curto, de elevados rendimentos e com boas perspectivas econômicas (DE ANDRADE SOUZA et al., 2011).

Além dessas características, destaca-se pelo seu valor nutricional, pois é rico em licopeno, composto antioxidante eficiente no combate aos radicais livres no organismo (EMBRAPA, 2018). Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2019), a produção mundial de tomates em 2017 foi de aproximadamente 130 milhões de toneladas no ano, das quais cerca de 88,0 milhões de toneladas foram destinadas ao consumo do fruto *in natura* e as outras 42,0 milhões de toneladas destinadas à indústria.

A China destaca-se com 52,5 milhões de toneladas, representando 31% da produção do planeta, seguida pela Índia com 11% e pelos Estados Unidos, que produz 8% do volume global. O Brasil encontra-se na nona posição com 2,5% da produção mundial, onde são plantados, anualmente, aproximadamente 64,4 mil hectares de tomateiros (IBGE, 2018).

Como a condução de cultivos de tomate apresenta alta incidência de pragas e de doenças, que atacam as plantas e os frutos, 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 (GUAZZELLI, 2017).

Segundo informações do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019), através da análise de quase 2.500 amostras de alimentos em 2018, 32,6% das amostras de tomate apontaram agrotóxicos acima do permitido. Desta forma, fica evidente que o consumo de alimentos oriundos da agricultura convencional, a qual utiliza como técnica de manejo a aplicação de

elevadas concentrações de agrotóxicos tem acarretado na população a insegurança alimentar, bem como, despertado uma preocupação com a qualidade dos alimentos e a saúde dos consumidores (DE MELO et al., 2009; BRAGA, 2016; FERREIRA; BRAGANÇA COELHO, 2017).

Devidos a esses entraves encontrados no cultivo a céu aberto, o cultivo de hortaliças em casa de vegetação, teve incremento significativo a partir do desenvolvimento das indústrias de filmes plásticos e telas de nylon, materiais que tornaram possível a construção de diferentes estruturas de proteção, sendo as mais simples utilizadas como cobertura para reduzir os efeitos danosos de chuvas, granizo, ventos ou ataque de insetos. Embora necessite de investimentos, o cultivo protegido assegura estabilidade de produção, qualidade do produto e aumento na produtividade devido, principalmente, à ampliação do período da produção. (AKISHIMA; CARRIJO, 1998).

Os Sistemas de produção em estufa são tendências na agricultura, justificada por maior controle contra danos, devido ao clima ou doença e maior qualidade de produtos em comparação com os cultivadas em campo aberto (GAMLIEL E VAN BRUGGEN, 2016).

A cultura em ambiente protegido favorece o desenvolvimento das plantas durante o inverno, pois durante o dia, permite a passagem dos raios solares para o seu interior, retardando a perda de calor no interior da estrutura, e durante o verão, protege a cultura contra a alta pluviosidade (CAÑIZARES, 1998; REIS FILGUEIRA, 2012).

Apesar de o tomateiro ser tolerante às variações de temperatura, o controle dentro do ambiente protegido é muito importante e deve ser próxima do ideal para a cultura (18°C noturna e 25°C diurna). Temperaturas extremas dentro do ambiente protegido podem interferir na absorção de nutrientes, atuação dos hormônios, florescimento, formação do pólen, no crescimento do tubo polínico, na fixação, coloração e amadurecimento dos frutos (CAÑIZARES, 1998), influenciando também na maturação irregular e no aparecimento de distúrbios fisiológicos (AKISHIMA & CARRIJO, 1998).

Na província de Almeria, Espanha, o cultivo em estufa, é muito utilizado. A agricultura dessa região é um modelo de exploração agrícola de alto desempenho técnico e econômico com base no uso racional da água, alta capacitação técnica e alto nível de emprego de insumos, nas características peculiares do meio. Almeria é considerada o mar de plástico (Estufas). A ideia ao usar esses plásticos era cortar os ventos, mas os fazendeiros rapidamente perceberam que ao colocar esta proteção nas culturas além de protegê-las do vento forte, o calor ajudou a antecipar as colheitas e conseguir melhores rendimentos (AGROSOL, 2016).

Graças ao uso de estufas, a província de Almeria começou a cultivar novos produtos, e assim crescendo pouco a pouco. Na safra de 2013-2014, Almeria superou 43 mil hectares de culturas em estufa. O vegetal que lidera a produção nos últimos anos é o tomate, seguido de pimentão e pepino. Com a produção de tomates deste ano Almería foi nomeada capital mundial dos tomates, com uma produção acima de um milhão de quilos por safra (AGROSOL, 2016).

2.2 Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas é definida como a prática que emprega todos os conhecimentos científicos que proporcionem a colocação do produto biologicamente ativo no alvo desejado, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 1990). Segundo Ferreira (2006) a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas é uma importante ferramenta dentro da agricultura, tornando-se uma ciência multidisciplinar, uma vez que se pretende o controle de ácaros, insetos, plantas invasoras e agentes patogênicos, que considera aspectos da biologia, da química, da engenharia, da ecologia, da sociologia e da economia. Na maioria das vezes, dá-se muita importância ao produto fitossanitário a ser aplicado e acaba-se deixando de lado a tecnologia de aplicação (SASAKI, 2011).

Conhecer a cultura a ser tratada com defensivos agrícolas é de extrema importância, uma vez que a aplicação e a eficácia dos produtos fitossanitários dependem de quatro processos, nomeadamente deposição, retenção, absorção e translocação dos ativos da formulação aplicada (ZABKIEWICZ, 2007). No entanto, não basta somente conhecer o produto a ser aplicado, também é necessário dominar a forma adequada de aplicação, de modo a garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas (CUNHA et al., 2005).

Todas essas perdas de produtos podem contaminar o ambiente (ar, solo, água, outras culturas, construções próximas, etc.) afetando a fauna, a flora e as pessoas (operadores de pulverizadores, pessoas presentes e moradores) (GARCERÁ et al. 2017).

Segundo Malnersic et al. (2016), embora os produtos fitossanitários tenham sido amplamente adotados para a proteção das culturas, sua aplicação eficiente nos alvos continua sendo um grande desafio. As conseqüentes perdas fora do alvo, incluindo o desvio da pulverização, são fortes contaminações do ecossistema com ingredientes ativos (IA) (Law,

2001), resultando em aumento dos custos de produção e ameaças à saúde das pessoas nas proximidades (NUYTTEENS et al., 2009).

Considerando a tendência atual, de crescimento da agricultura em ambiente protegido, causada pela demanda do mercado e incentivos econômicos (YANG et al., 2013), é necessário o uso prudente de produtos fitossanitários para reduzir as consequências negativas. A situação pode ser intensificada nas estufas devido à sua natureza fechada. Em particular, a condição ambiental nas estufas oferece um habitat ideal para pragas que provavelmente causam ataques mais frequentes às culturas (SANCHEZ-HERMOSILLA et al., 2012) necessitando de pulverização mais frequente. Quando a pulverização de produtos fitossanitários sobre uma área alvo não é realizada dentro das condições meteorológicas ideais para tal, é inevitável que uma maior parte dela seja perdida para o ambiente por deriva (MADUREIRA et al., 2015).

Segundo Rincón et al. (2017) a escolha do maquinário apropriado para a aplicação de pesticidas é crucial. Apesar da disponibilidade de equipamentos tecnologicamente mais avançados, o pulverizador hidráulico manual ainda é amplamente utilizado para pulverizar culturas em ambiente protegido por causa de sua facilidade de operação e baixo custo econômico. Com isso foi necessário otimizar a pulverização com o emprego de um equipamento de baixo custo, em casa de vegetação, com o cultivo de pimenta, tornando-se o mais eficiente possível.

Llop et al. (2016), perceberam-se que, os pulverizadores de carrinho de mão foram recentemente empregados para melhorar as técnicas de aplicação em estufas no sudeste da Espanha. Ao avaliarem o efeito da assistência de ar em diferentes técnicas 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.

Já Li et al. (2018), avaliaram três tipos de pulverizadores: hidráulico costal elétrico com assistência de ar, hidráulico costal elétrico e hidráulico costal manual, em estufa e a campo. Foram avaliadas a deposição de produtos fitossanitários, resíduos e perda no solo, durante pulverizações feitas na cultura do tomateiro e do pepineiro. Ao final da pesquisa, concluíram que o pulverizador hidráulico costal elétrico com assistência de ar foi mais eficiente, por propiciar maior deposição, uniformidade e penetração no dossel das plantas,

reduzindo a perda para o solo, e resultando em menor concentração de resíduo em comparação com os demais pulverizadores.

Nas estufas agrícolas, 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 para o solo, utilizando 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.

Nesse sentido, Belhadi et al. (2016) avaliaram o potencial do risco à saúde humana e ao meio ambiente das práticas de controle de pragas pelos produtores, na região de Ziban (argelina pré-Saara), com 132 produtores, que utilizaram a casa de vegetação. Os resultados revelaram que 72% não usavam medidas de proteção desde o início do controle químico até o final dos tratamentos. As condições nas estufas, particularmente entre março e junho, não permitem que os produtores cumpram os intervalos de pré-colheita, especialmente para os tomates. Com base nos resultados, concluíram-se que as práticas de controle de pragas empregadas pelos agricultores de Ziban são pobres e potencialmente prejudiciais à saúde dos agricultores, dos consumidores e ao meio ambiente.

Visto esses problemas, Gasquez et al. (2016) analisaram o uso de veículos necessários para manter a produção agrícola, no controle de pragas e doenças das culturas. Estes descreveram como projetar e implementar um sistema de telecontrole inteligente de baixo custo aplicado a maquinário agrícola projetado para o uso em locais onde não há mão de obra adequada, para realizar tarefas de pulverização de produtos fitossanitários em casa de vegetação. O sistema foi aplicado, com sucesso, no protótipo de veículo usado para tarefas de pulverização, e o resultado mostra que o sistema operou de forma estável e confirmou a eficácia deste sistema de telecontrole inteligente. A tecnologia proposta ajudará a fornecer soluções para humanos e robôs trabalhando juntos em ambientes agrícolas, considerados prejudiciais aos seres humanos.

O desenvolvimento de tecnologias de aplicação em estufas, onde alta uniformidade e eficácia devem ser alcançadas, tem sido objeto recorrente de pesquisas. Nos últimos anos, a produção agrícola em estufa tem se expandido cada vez mais. Para minimizar o uso comprometido de pesticidas e o impacto ambiental adverso nessas estruturas, é essencial otimizar os parâmetros e configurações de trabalho dos pulverizadores.

2.3 Resfriamento adiabático em casa de vegetação

Uma das tecnologias mais eficientes para fornecer condições ambientais adequadas em casa de vegetação em regiões quentes e secas é empregar resfriamento evaporativo, que converte o calor sensível em calor latente por meio da evaporação da água fornecida diretamente para a casa de vegetação por meio de sistema de névoa ou neblina, aspersores ou almofadas de resfriamento evaporativo (KITTA et al., 2013). Esta técnica pode reduzir significativamente a temperatura do ar abaixo da temperatura ambiente e aumentar a umidade para os níveis essenciais (GHOULEM et al., 2019).

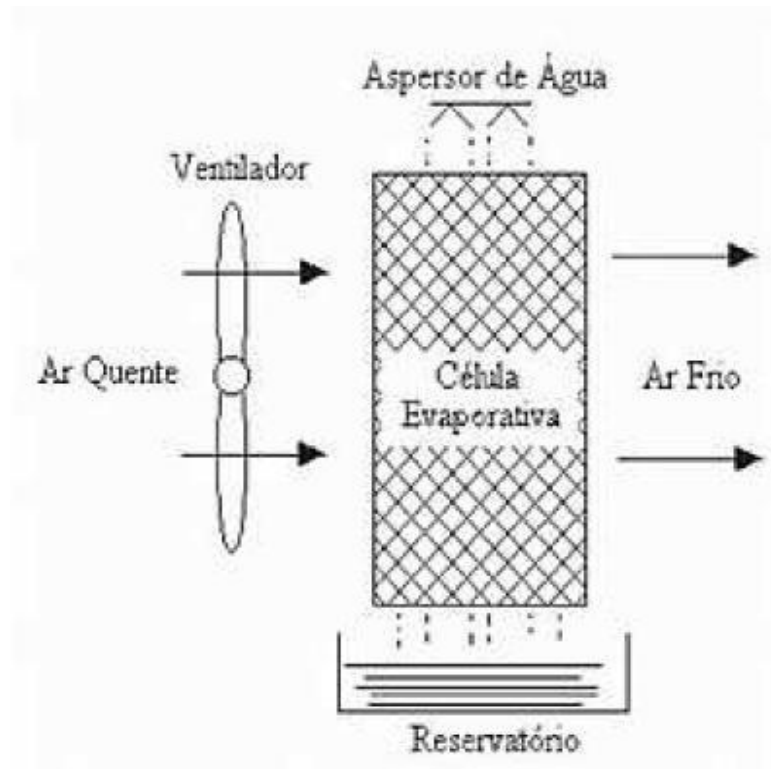
O arrefecimento evaporativo é, basicamente, um processo de saturação adiabática, isto é, entalpia constante. O ar não saturado reduz a sua temperatura, fornecendo o calor sensível que transforma em calor latente para a evaporação da água (GÓMEZ et al., 2010).

Devido à perda de energia latente no processo de evaporação, ocorre uma diminuição na temperatura da água, que por sua vez é compensado pelo calor passado do entorno para a superfície do líquido, sob regime permanente. Nessas características, quando o ar ao redor transfere a mesma energia cedida pela água, ele atingiu a temperatura de bulbo úmido (TBU), não variando a temperatura. Em decorrência do calor cedido, o ar sofrerá um decaimento em sua temperatura. (ROSA, 2009)

O resfriamento evaporativo é considerado adiabático tendo em vista que quando a água evapora em uma corrente de ar livre, sem suprimento externo de calor, a temperatura de bulbo seco (TBS) do ar é reduzida e seu conteúdo de umidade é elevado, enquanto sua temperatura termodinâmica de bulbo úmido (TBU) permanece constante. Esse processo, que ocorre sem adição ou extração de calor, é denominado adiabático, pois a quantidade total de calor do ar (sensível e latente) permanece constante. (ROSA, 2009)

Para alcançar o resfriamento adiabático do ar utilizam-se sistemas de resfriamento evaporativo direto, ou seja, o ar é resfriado por contato direto com uma superfície líquida ou com uma superfície sólida molhada (Figura 1), ou ainda através de *sprays* (SASAKI, 2014).

Figura 1 – Sistema de resfriamento adiabático do ar



Fonte: Camargo, 2004.

A literatura mostra que o processo de resfriamento evaporativo é um processo limpo e renovável, que não viola a natureza, pois utiliza apenas energia, ar e água para ocorrer, além disso a incidência do resfriamento evaporativo está crescendo cada vez mais com o objetivo de aumentar o conforto térmico nos ambientes em que o ser humano se encontra (BOTTEGA et al., 2015).

A tecnologia empregada em casa de vegetação está tornando-se uma solução cada vez mais indispensável e viável para os métodos modernos de produção agrícola. Os avanços tecnológicos diminuíram os efeitos das condições ambientais severas sobre o rendimento de culturas em climas quentes. O resfriamento é crucial para garantir a faixa necessária de temperaturas e umidade dentro da casa de vegetação (GHOULEM et al., 2019).

Nas últimas décadas, foram introduzidas soluções tecnológicas e inovadoras viáveis, como o cultivo em larga escala em casas de vegetação, melhorando o rendimento e a qualidade das culturas. Uma casa de vegetação é uma estrutura agrícola capaz de estender a temporada de produção, fornecendo condições controladas e apropriadas de microclima interno, ao cultivo de vários tipos de culturas (GHOULEM et al., 2019).

O cultivo de culturas em casas de vegetação em regiões de climas temperados da Europa foi implementado com sucesso, enquanto em regiões de climas quentes de trópicos e subtropicais, a tecnologia enfrenta desafios de design específicos devido às altas temperaturas e umidade que podem ocorrer durante os meses de verão (CUCE E RIFFAT, 2016) exigindo alguma forma de resfriamento do ar para superar o superaquecimento (SETHI E SHARMA, 2007b).

Katsoulas et al. (2015) avaliaram a influência da capacidade do sistema de refrigeração, nos requisitos de ventilação de estufas semi-fechadas em várias condições climáticas. O microclima na casa de vegetação e os rendimentos das culturas, foram simulados para várias capacidades do sistema de refrigeração no Mediterrâneo (Grécia e Argélia), aplicando-se um módulo de refrigeração em um modelo existente de casa de vegetação. Observaram-se nos resultados que o aumento da capacidade do sistema de resfriamento resultou em um microclima melhorado e na diminuição do consumo de água, o que propiciou o aumento do rendimento da colheita.

Em outro estudo, Katsoulas et al. (2006) investigaram a influência do resfriamento por nebulização no microclima e na qualidade da colheita de pimenta em casa de vegetação. A casa de vegetação tinha dois compartimentos resfriados por ventilação natural, através de aberturas de teto que mantinham a temperatura do ar abaixo de 26 ° C e resfriamento com nebulização com aberturas de teto abertas na abertura máxima para manter a umidade relativa abaixo de 80%. Os resultados mostraram que o resfriamento por nebulização pode reduzir a temperatura interna do ar e das folhas em até 3 ° C em comparação com a ventilação natural. Além disso, o déficit de pressão de vapor de ar foi menor que 2 kPa sob condições de nebulização, mesmo durante o período mais quente do dia.

Abdel-Ghany et al. (2006), desenvolveram um novo método para simular a fração de névoa que evapora absorvendo o calor sensível da estufa. As experiências foram conduzidas em um dia quente e ensolarado em Tóquio, dentro de uma estufa de 26 m², com ventilação natural. Os balanços de calor e vapor de água do processo de resfriamento, foram utilizados para estimar o calor sensível. Os valores de calor sensível estimados a partir do balanço de calor, foram idênticos aos previstos a partir do balanço de vapor de água.

Em outro estudo, Linker et al. (2011) desenvolveram um sistema de controle climático para uma pequena estufa equipada com ventiladores extratores e sistema de nebulização de pressão variável em Bet-Dagan, Israel. Foram instalados 23 bocais em duas linhas de nebulização de alta pressão. Foi relatado que o controlador foi capaz de manter as condições

da estufa interna próximas aos pontos de ajuste com desvios médios máximos de temperatura do ar de 2,5 ° C e umidade relativa de 5%, observada durante um período de 10 minutos com pontos de ajuste constantes.

Villarreal-Guerrero et al. (2012), simularam e compararam duas estratégias para nebulização de alta pressão: taxa de nevoeiro constante (CFR), na qual as aberturas abriram quando a temperatura do ar da estufa atingiu o ponto de ajuste e uma ventilação variável, e taxas de nebulização (VVFR) que possuíam configurações dinâmicas da ventilação. Os resultados mostraram que, quando a estufa foi operada sob a estratégia VVFR, foram alcançados valores médios mais baixos de temperatura média do ar e déficit de pressão de vapor mais próximo dos pontos de ajuste, reduzindo o consumo de energia em 30% e a água em 36%. Também foi destacado que, ao variar a pressão operacional do sistema, o VVFR permitiu menores flutuações de temperatura e umidade.

A partir dos estudos revisados, pode-se inferir que os sistemas de nebulização e resfriamento podem atingir alta eficiência de evaporação da água, mantendo a folhagem seca. Além disso, os sistemas de nebulização podem induzir uma distribuição mais uniforme de temperatura e umidade em uma estufa, em comparação com a ventilação natural usando aberturas de ventilação no telhado (KATSOULAS, KITTAS e BARTZANAS, 2010).

2.4 Sistema de nebulização em casa de vegetação

Os sistemas de nebulização são normalmente projetados e usados para controle do clima dentro da casa de vegetação. Eles também são usados como equipamentos para distribuir produtos fitossanitários, com as seguintes vantagens: eliminam o risco de exposição do operador ao não exigir a sua presença dentro da estufa e permitir a automação de aplicativos.

2.4.1 Aplicação de produtos fitossanitários via nebulização a frio em casa de vegetação

Um dos objetivos buscados para a melhoria das aplicações fitossanitárias, é tentar reduzir ao máximo a exposição do operário diante produtos fitossanitários, isso pode ser alcançado utilizando equipamentos fixos de nebulização. Nas estufas de Almeria (Espanha), tem-se aumentado cada vez mais o uso de equipamentos fixos de nebulização. O principal objetivo desses equipamentos é controlar o clima no interior da casa de vegetação, mas como

esses equipamentos tem um alto custo estão sendo utilizados também para executar aplicações de produtos fitossanitários de forma a amortizar o investimento (RINCÓN et al., 2010).

A nebulização é um sistema que consiste em produzir gotas muito pequenas, praticamente uma névoa ou nevoeiro dentro da casa de vegetação. Através da utilização de bombas de alta pressão e bicos aspersores especiais com orifícios de precisão feitos a laser, é possível a criação artificial desse nevoeiro. Segundo o ITE (Instituto Tecnológico Europeu) (2002), o diâmetro da gota produzida é de fundamental importância, pois gotas com diâmetro acima de 50 μm , por gravidade atingem o solo ou as culturas em um curto espaço de tempo, chegando a molhá-las. Sendo assim, recomenda-se a utilização de gotas com diâmetro em torno de 10 μm , pois elas tendem a flutuar não encharcando as culturas, portanto, não criando ambiente propício ao desenvolvimento de doenças. Uma vantagem desse sistema é a possibilidade de homogeneização da temperatura e umidade em todo o ambiente da casa de vegetação.

Na nebulização, lida-se com dois sistemas de forma semelhante, mas com eficácia muito diferente. Um é usado uma calda em "baixa pressão" e o outro "alta pressão". A principal diferença entre a nebulização da calda em alta e baixa pressão é o tamanho da gota que é obtida para nebulizar. Quanto maior a pressão, menor o tamanho da gota, e melhor a sua dispersão no ar.

O uso de nebulizadores à frio para aplicação de tratamentos fitossanitários em estufas apresenta vantagens claras, quando comparado aos métodos convencionais, pois economizam tempo, as taxas de volume de aplicações de tratamento são mais baixas e, o mais importante, reduzem bastante a exposição ao tratamento da equipe envolvida na aplicação dos produtos fitossanitários. Atualmente, os nebulizadores à frio disponíveis no mercado, podem ser programados para operar após a jornada de trabalho e nebulizar durante a noite (OLIVET et al., 2011).

Sánchez-Hermosilla et al. (2013b) compararam a pulverização em plantas de tomateiro cultivadas em ambiente protegido, 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.

Já Mabbett (2001), mostrou que o uso de um nebulizador a frio pode resultar no nível desejado de controle de pragas e doenças, onde menos água é usada, em comparação com os

métodos convencionais. De fato, os métodos de aplicação de alto volume, que costumam ser empregados, acarretam problemas adicionais causados pela alta umidade resultante na estufa.

Austerweil et al. (2000) determinaram a eficiência de um nebulizador à frio na distribuição e deposição de produtos fitossanitários em rosas, pimentas e tomates cultivados em casa de vegetação, e descobriram que o nebulizador a frio é muito eficiente na administração de tratamentos para o controle de tripses (*Frankliniella occidentalis* Per.) em pimenta. Não foram encontradas diferenças na deposição nas superfícies superiores e inferiores das rosas. A deposição no tomateiro foi avaliada com e sem o uso de ventiladores auxiliares em casa de vegetação, mostrando que sem os ventiladores, a deposição foi reduzida e mais heterogênea.

Usera et al. (2002) estudaram o desempenho de um nebulizador a frio com o objetivo de avaliar a qualidade da distribuição de gotas e testar um modelo numérico que permitisse a previsão do desempenho de nebulizadores a frio em estufas de diferentes dimensões. Os autores relataram uma diminuição na taxa de deposição em locais distantes do nebulizador. A baixa taxa de deposição na lateral da estufa indicou dificuldades para se obter uma distribuição homogênea dos tratamentos administrados.

2.5 Condições ambientais no interior das casas de vegetação

O padrão climático em casas de vegetação é fator de grande relevância para se garantir elevadas produtividades com menor custo, boa qualidade e sem impacto ambiental (OMID E SHAF AEI, 2005); esta relação influencia diretamente o comportamento e o desenvolvimento vegetal (ABDEL-GHANY E HELAL, 2011).

A temperatura e a umidade relativa do ar estão entre as variáveis mais importantes para formação do microclima interno das casas de vegetação. O microclima é o resultado de um mecanismo complexo envolvendo processos de troca de calor e massa (BAPTISTA, 2007). A temperatura afeta as reações químicas e propriedades físicas dos vegetais. É uma variável afetada pela intensidade luminosa e, em menor amplitude, pela concentração de CO₂ (GRUDA, 2005).

Dentro da casa de vegetação, os fatores que mais influenciam a temperatura incluem a temperatura exterior, umidade relativa do ar, radiação solar, temperatura do solo, velocidade do vento e umidade do solo (YU et al., 2016). Adicionalmente a esses fatores Katsoulas e

Kittas (2008) destacaram que a transmissão de luz pelo material de cobertura também afeta a temperatura e umidade relativa do ar e a temperatura nas folhas das plantas.

A temperatura tem relação direta com a taxa de crescimento e a produtividade de cultivares. No caso do tomate, por exemplo, conforme apontado por Adams, Cockshull e Cave (2001) quando aumentada a temperatura de 14°C para 22°C há um aumento na taxa de crescimento absoluta. Esta tendência de aumento, entretanto, não ocorre quando a temperatura atinge 26°C. Entretanto, a produtividade para o tomate segue tendência parecida, sendo maior quando a temperatura do ambiente é de 18°C e 22°C e menor quando o ambiente apresenta 14°C e 26°C de temperatura.

A umidade relativa é outra variável ambiental de grande importância para as culturas. Ela influencia na parte hídrica das culturas dentro de uma casa de vegetação e afeta todos os processos associados à transpiração. A umidade relativa está relacionada à qualidade dos vegetais e tem pouca influência direta sobre a produtividade (HAND, 1988; GRUDA, 2005; DORAIS; PAPADOPOULOS; GOSSELIN, 2010). A produtividade é afetada, indiretamente, pelo desenvolvimento de doenças em ambientes com altos valores de umidade.

A umidade relativa é definida como a relação entre a quantidade de vapor d'água existente numa amostra de ar úmido e a quantidade máxima que este ar poderia reter a determinada temperatura. A evaporação ocorre quando as moléculas de um líquido vencem a força de atração entre si e escapam de uma lâmina d'água passando à forma de vapor. Neste instante o ar está saturado de vapor d'água. Para cada temperatura este equilíbrio ocorre a uma determinada pressão de vapor, denominada pressão de saturação de vapor ou pressão máxima de vapor. A diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor d'água existente no ar e a pressão máxima que pode ser alcançada, é denominada de déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar. Essa diferença é uma medida do poder evaporante do ar, tendo relação direta com os processos de evaporação, uma vez que depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (VIEIRA, 2009; DE ALVARENGA et al., 2014).

O déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar (DPVar) é comumente utilizado em trabalhos relacionados à evaporação de gotas para caracterizar as condições psicrométricas do ar (MACIEL et al., 2017). O DPVar é a diferença entre a pressão exercida pela saturação de vapor d'água no ar e a pressão parcial de vapor d'água, e estes estão diretamente relacionados à umidade relativa e à temperatura do ar. A pressão de saturação do vapor d'água depende da temperatura, e à medida que esta aumenta, maior será a pressão de

saturação. Já a pressão parcial de vapor depende da umidade relativa juntamente com a pressão de saturação, e será cada vez maior com o aumento da umidade. Se a umidade relativa atingir 100 %, a pressão parcial será igual à pressão de saturação e, conseqüentemente, o DPVar será nulo, caso o ar não esteja saturado, a pressão parcial de vapor será menor que aquela que prevaleceria em condições saturadas, à mesma temperatura (VIANELLO; ALVES, 2002; RODRIGUES et al., 2011).

O déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar (DPVar), determinado pelos valores de temperatura e umidade relativa dentro da câmara climática, foi calculado a partir da equação de Tetens (VIANELLO; ALVES, 2002; RODRIGUES et al., 2011), sendo obtido pela diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água no ar (e_s) e a pressão parcial de vapor d'água (e). Para o cálculo de e_s foi levado em consideração o valor da temperatura do ar, conforme a Equação 1.

$$e_s = 0,6108 (10)^{\frac{7,5 t}{237,3+t}} \quad (1)$$

em que,

e_s = pressão de saturação de vapor d'água no ar (kPa) ; e,

t = temperatura do ar (°C).

Posteriormente, foi determinado o valor de e_s , a partir da umidade relativa do ar e do valor de e_s (Equação 2).

$$e = \frac{UR e_s}{100} \quad (2)$$

em que ,

e = pressão parcial de vapor d'água no ar (kPa) ; e,

UR = umidade relativa do ar (%).

Finalmente, foi obtido o DPVar, como relatado anteriormente, usando a diferença entre e_s e e (Equação 3).

$$DPV_{ar} = e_s - e \quad (3)$$

DPV_{ar} = déficit da pressão de saturação de vapor d'água no ar (kPa).

Ambientes com excesso de umidade acarretam condensação na superfície das plantas e, conseqüentemente, aumentam o desenvolvimento e proliferação de fungos patogênicos (KITTA; BARTZANAS, 2007). Do ponto de vista econômico, a umidade relativa é a variável ambiental mais difícil de controlar, especialmente em locais onde os custos com aquecimento são altos (GRUDA, 2005).

Estes efeitos indesejados podem ser minimizados com a utilização de sistemas de climatização automatizados para o controle da temperatura e umidade relativa do ar. A utilização de uma estufa automatizada é de grande importância para a otimização do cultivo, pois a interferência humana será mínima e dessa forma o clima no interior da estufa estará adaptado rigorosamente às condições necessárias para o melhor desenvolvimento da plantação (GUEDES et al., 2016).

2.6 Sistemas automatizados de baixo custo em casas de vegetação

O uso de sistemas automatizados em estufas cresce ano após ano, pois os grandes produtores rurais buscam tecnologia a fim de reduzir o uso de mão de obra, facilitar o controle de pragas, diminuir a possibilidade de erros comuns ou até mesmo de eventos climáticos extremos e, principalmente, reduzir custos financeiros. Porém, a maioria dos produtores rurais não possuem recursos financeiros suficiente para adotar tecnologias avançadas de elevado custo, devendo as pesquisas se atentarem à isso, levando até eles informações úteis e economicamente viáveis.

Na tentativa de levar tecnologia de informação aos pequenos produtores, de forma crescente e cada vez mais acessível, o advento das plataformas de prototipagem eletrônica de baixo custo com o nome comercial de Arduíno, tem possibilitado a automação de diversos processos e sistemas no setor agropecuário. Essas plataformas possuem projeto e código livre e foram desenvolvidas na Itália utilizando microcontroladores da Atmel (MCROBERTS, 2011; PENIDO, 2017). O uso dessa tecnologia pode ser constatado na coleta de dados para

estação meteorológica, no monitoramento da irrigação de culturas agrícolas, no controle de tanque de calda para hidroponia, bem como em outras aplicações industriais e residenciais (KOLCENTI et al., 2014; DA CUNHA; DA ROCHA, 2016; OKABE et al., 2015; SOUSA REIS et al., 2015; FERREIRA et al., 2016; MELO et al., 2016; PENIDO, 2017).

Visto esses entraves, (SOUSA e ROCHA 2020) optaram pela criação de um protótipo com custo de implantação reduzido que utiliza Arduino, sensores e atuadores para a automação. A partir da leitura dos dados coletados pelos sensores, intervir-se-ão nos parâmetros internos, a fim de manter o ambiente ideal para o melhor desenvolvimento da planta. De acordo com o trabalho, concluiu-se que o uso de recursos tecnológicos pode ser um aliado no meio agrícola, pois auxilia no processo de produção e traz assim mais rentabilidade e facilidade ao produtor uma vez que, a automação substitui o trabalho manual como também evita possíveis problemas na produção.

Guedes et al. (2016) desenvolveram um protótipo de uma casa de vegetação inteligente, de baixo custo, utilizando o Micro Controlador Arduíno, que permite monitorar e informar ao produtor a situação de sua cultura para que possa otimizar o desenvolvimento da mesma. A comunicação serial, permite ao produtor a inserir os parâmetros nos quais o micro controlador deve executar.

Já Fonseca et al. (2017), construíram um sistema de gerenciamento inteligente de baixo custo para casas de vegetação, através da utilização de recursos modernos de controle e supervisão, voltado para atender ao produtor local onde a necessidade de um controle eficiente de temperatura e umidade é um fator importante para a qualidade e produtividade, e assim, contribuir para a inclusão tecnológica ao meio rural, melhorar os índices de competitividade e trazer mais desenvolvimento a região. Os resultados obtidos, no projeto foram satisfatórios, uma vez que a casa de vegetação funcionou de acordo com a proposta inicial do trabalho.

No estudo realizado por Ferreira et al. (2016) foi desenvolvido um sistema de irrigação tendo por base a plataforma Arduino, utilizando-se um sensor de baixo custo, que possibilita monitorar a umidade do solo e acionar o sistema, demonstrando a sua aplicabilidade na automação de sistemas de irrigação instalados, por exemplo, em hortas e casa de vegetação, entre outros. Foi possível comprovar neste trabalho a eficácia, a viabilidade e a aplicabilidade da plataforma Arduino para controle de umidade de solos, tornando possível o desenvolvimento de um sistema de irrigação automático a partir do hardware e software aplicados ao longo deste estudo.

Com isso, constatou-se que a implementação de um sistema de automação é capaz de reduzir desperdícios de água, nutrientes, energia e necessidade de mão de obra para regular quaisquer parâmetros que possam prejudicar o cultivo. Por se tratar de um projeto de baixo custo é possível aumentar o lucro de tal maneira que os benefícios que este possa trazer, proporcione ao pequeno produtor a recuperação do investimento em um curto período. Diante dos argumentos expostos, realizar o cultivo protegido com a automação, é uma alternativa viável para alcançar o sucesso esperado, pois além de facilitar o trabalho do produtor ainda dispõe de um maior controle sobre a qualidade do produto final.

3 MATERIAL E MÉTODOS

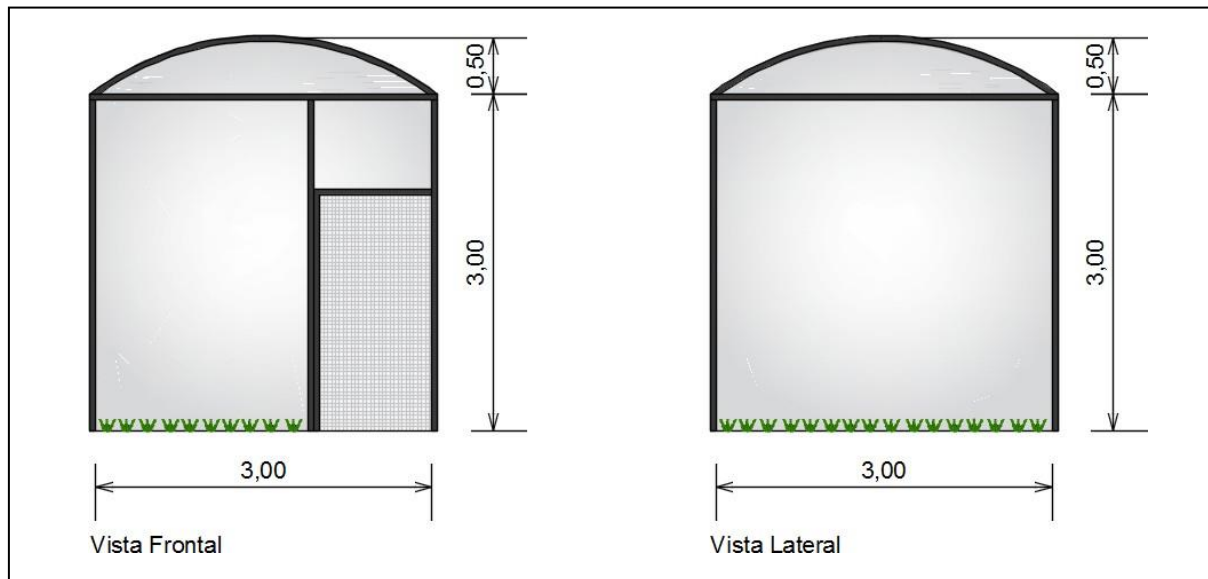
3.1 Caracterização da área experimental

Os trabalhos foram realizados no Laboratório de Mecanização Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e localizado no campus Viçosa, Minas Gerais. 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).

3.2 Construção da casa de vegetação do experimento

Para a realização dos ensaios foi necessário a instalação de uma casa de vegetação, composta de perfil de alumínio e plástico filme 150 microns. Com 3,0 m de largura por 3,0 m de comprimento, pé direito de 3,0 m, conforme observa-se a seguir (Figura 2).

Figura 2 - Layout da casa de vegetação não climatizada utilizada na pesquisa



3.3 Material vegetal utilizado na casa de vegetação

O material vegetal utilizado na casa de vegetação para realização dos testes, foi a cultura de tomateiro (*Solanum Lycopersicum*). A variedade do tomateiro utilizada, foi a Santa

Clara, sendo essa cultivar uma planta modelo utilizada em estudos, além de apresentar crescimento determinado e rápido desenvolvimento.

O transplante foi realizado em vasos de 3L, empregando-se uma planta em cada vaso, totalizando-se 30 plantas. O substrato utilizado foi o solo argiloso, corrigido com o fertilizante NPK (Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)), de acordo com a análise do solo e as necessidades da planta. Os NPK, também chamado de macronutrientes, foram utilizados por serem considerados os três principais nutrientes para a vida das plantas, também considerados os três elementos mais comuns na maioria dos fertilizantes.

A cultura foi arranjada em linhas emparelhadas com uma separação de 0,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. As plantas ficaram acondicionadas na casa de vegetação com ambiente totalmente controlado. A água e os fertilizantes foram aportados mediante o sistema manual, enquanto as tarefas de cultivo foram desenvolvidas de acordo com as práticas locais (Figura 3).

Figura 3 - Plantio e manejo da cultura do tomateiro



3.4 Construção do sistema de pulverização por nebulização em casa de vegetação

Foi empregado um sistema de nebulização fixo instalado no teto da casa de vegetação. Trata-se de uma rede de tubos de alta pressão através da qual a calda fitossanitária foi pressurizada. Os tubos foram distribuídos por toda casa de vegetação, onde foram instaladas as pontas de pulverização para a nebulização (Figura 4).

Figura 4 - Sistema de nebulização fixo instalado na casa de vegetação



Os componentes utilizados para montagem do sistema de resfriamento e pulverização foram os seguintes:

- Um Sistema de controle, no qual foi empregado para monitorar os tratamentos e o tempo de aplicação. Com o controlador foi possível ajustar o tempo de funcionamento da nebulização e o tempo de espera (Figura 5);

- Tubo de nylon, no qual foi conduzida a calda em alta pressão da caixa d'água para a casa de vegetação (Figura 6);

- Ponta nebulizadora, para a aplicação dos fitossanitários. Composto por um aspersor completo (bico + anti-gota + mola+ bola) (Figura 7);

- Divisor de linhas, para distribuição dos ramais da pulverização (Figura 8);

- Sistema hidráulico, para bombear a calda, constituído por uma bomba hidráulica de potencia igual a 3cv, 2 filtros, manômetro com glicerina, by-pass, conexões diversas e válvula de despressurização (Figura 9); e,

- Depósito de calda, com 150 L de capacidade (Figura 10).

Figura 5 - Controlador



Figura 6 - Tubo de nylon



Figura 7 - Ponta nebulizadora



Figura 8 - Divisor de linhas



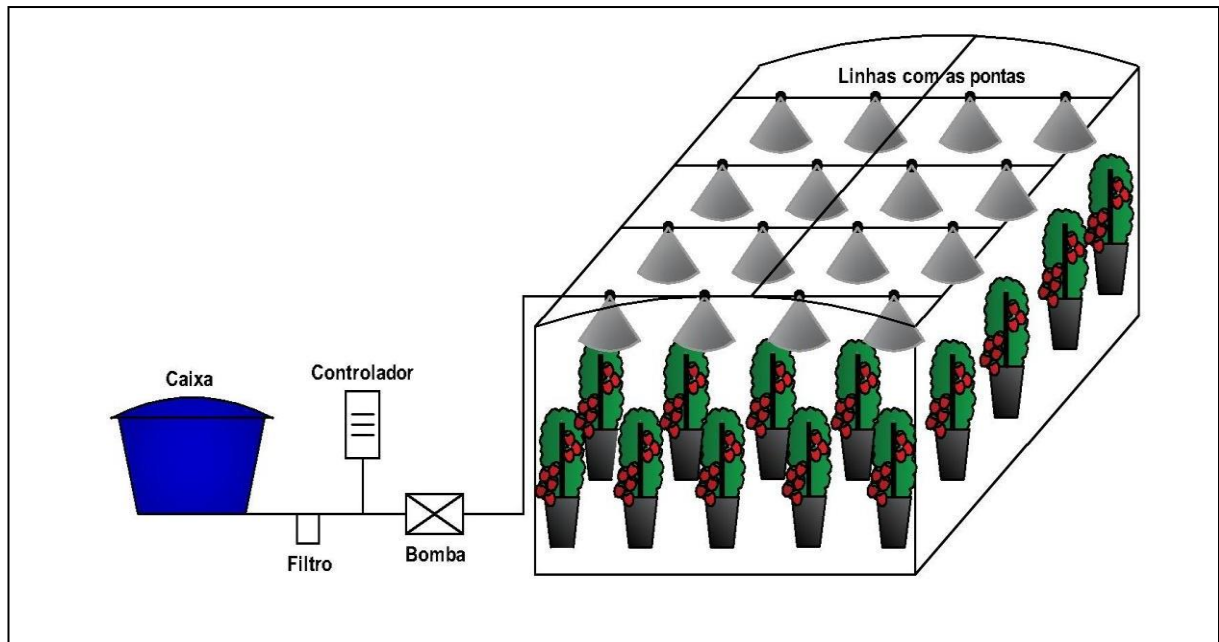
Figura 9- Pressurizador



Figura 10 - Depósito de calda



Figura 11- Esquema do sistema de nebulização



3.5 Desenvolvimento de um sistema de automação para a nebulização em casa de vegetação

A automação do sistema de nebulização para casa de vegetação foi feito empregando-se um sistema de aquisição de dados, para permitir o controle da temperatura dentro da casa de vegetação e a aquisição e o registro de dados como temperatura (T °C), umidade relativa (UR %) e o déficit de pressão de vapor (DPV) em tempo real. O sistema foi utilizado para a climatização do interior da casa de vegetação e para aplicação dos produtos fitossanitários. Para a montagem do sistema utilizaram-se os seguintes materiais:

- Placa de Arduino UNO;
- Cabo USB;
- Módulo sensor de umidade e temperatura Am2302 DHT22;
- Módulo relé de dois canais;
- Jumpers de conexão;
- Protoboard;
- Notebook;
- Display LCD 16x2 para arduino;
- Data Logger Shield para Arduino com RTC (Real Time Clock) DS1307 integrado;
- Bateria de relógio digital 2200;

- Extensão de tomada 220V;
- Fonte 5V;
- Cartão SD;
- Adaptador para cartão SD;
- Resistência de 10 k Ohms; e,
- Abrigo plástico para componentes.

Para o desenvolvimento do protótipo foi utilizado o micro controlador Arduíno Uno. Este é o principal módulo onde será feita a aquisição e processamento dos dados. O Arduíno fará comunicação serial com um computador onde será gerada uma lista contendo data e hora e os valores de temperatura, umidade e DPV naquele momento.

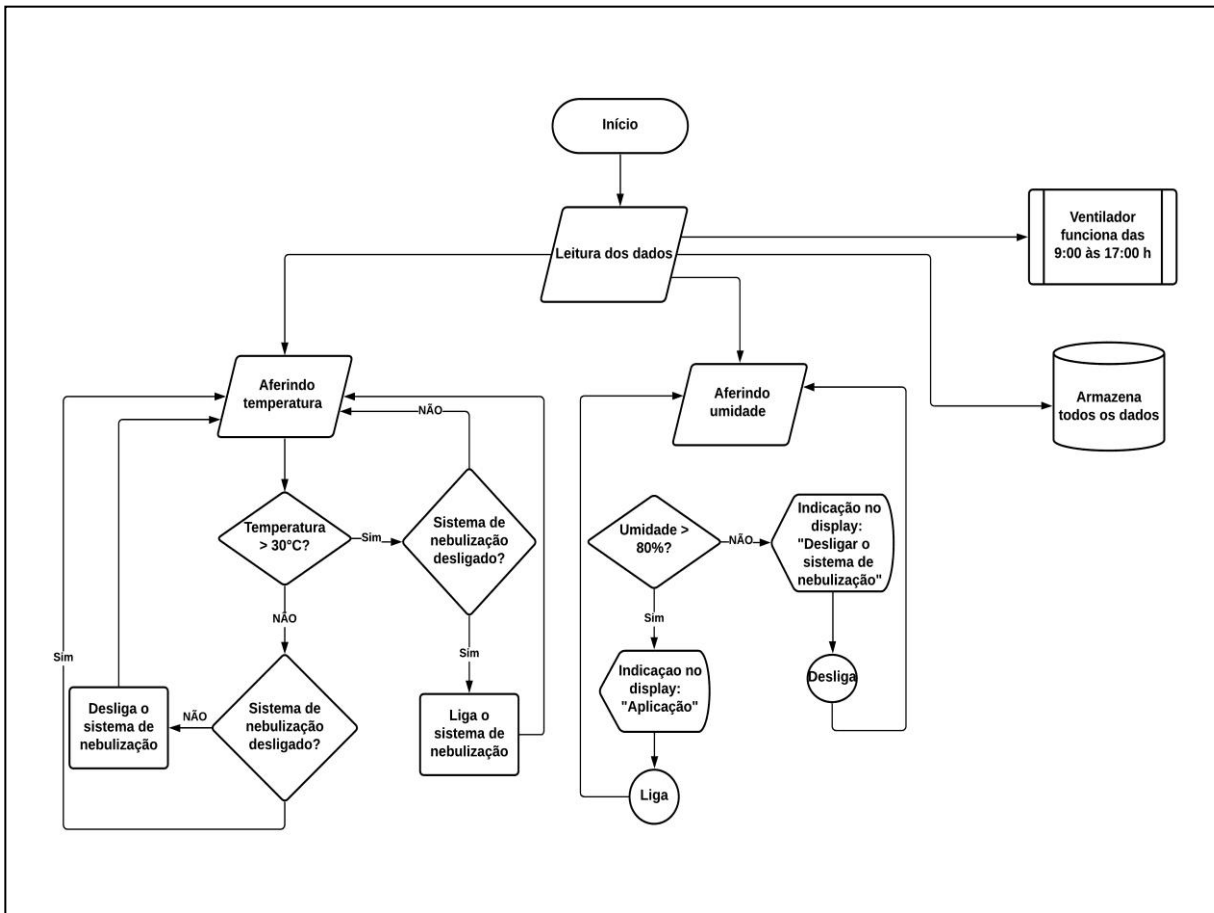
A comunicação serial foi feita pela transferência de dados bit a bit entre o micro controlador e o computador. O computador irá receber e enviar dados para o Arduíno, onde ocorrerá o processamento e análise dos valores recebidos. O Arduino foi responsável por enviar o comando para o relé, permitindo a abertura ou fechamento do circuito ligado à bomba.

Após a aquisição dos dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%) o Arduíno executou os processos de automatização. Quando a temperatura no interior da estufa ficou acima de 30°C , o mecanismo de resfriamento adiabático foi acionado, permanecendo ligado até a temperatura ficar abaixo de 30°C . O Arduíno foi programado para fazer a leitura do sistema de 10 em 10 segundos. O exaustor foi programado para ficar ligado de 9 às 17h, para garantir a renovação do ar dentro da casa de vegetação uma vez que as plantas realizam continuamente a troca de gases e vapor d'água com o meio em que se encontram.

As leituras reais da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e o déficit de pressão de vapor (DPV) foram obtidos empregando-se o Data logger. Isso permitiu analisar os dados em laboratório e obter um valor médio de tais parâmetros.

Pode-se observar na Figura 12 o fluxograma dos comandos a serem realizados pelo computador/arduíno:

Figura 12- Fluxograma de comando



3.6 Determinação do espaçamento ideal entre pontas para uma boa uniformidade de distribuição volumétrica do produto

Para avaliação da uniformidade de distribuição volumétrica levou-se em consideração o espaçamento entre pontas, pois ele interfere diretamente na distribuição do produto aplicado.

3.6.1 Caracterização do perfil de distribuição individual e coeficiente de variação da distribuição volumétrica do conjunto das pontas

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícola (LADA). Foram avaliados quatro pontas nebulizadoras, fabricadas em aço inox com orifício de 0,2mm; rosca 10/24UNC; com mola interna anti-gotas. As pontas nebulizadoras são indicadas, de acordo com o fabricante, para climatização de áreas.

Para avaliação da uniformidade de distribuição, as pontas foram montadas em linha, em uma altura de 3m, no qual foi à altura utilizada na casa de vegetação. Empregou-se a pressão de 50 bar, de acordo com o fabricante. Os seguintes parâmetros foram avaliados: vazão, perfil de distribuição individual e coeficiente de variação da distribuição volumétrica conjunta das pontas.

A vazão das pontas nebulizadoras, foram coletadas com auxílio de uma proveta graduada, com o nebulizador ligado e a pressão de 50 bar, obtendo assim as médias das vazões da ponta com cinco repetições.

Para a avaliação do perfil de distribuição individual da ponta, os volumes pulverizados foram coletados em placas de petri, com diâmetro de 8,0 cm, durante um minuto. Essas placas ficaram posicionadas em duas linhas retas, em modo transversal e longitudinal, formando uma cruz, a ponta nebulizadora ficou posicionada na parte central dessa cruz. Após a pulverização coletamos as placas de petri e fizemos a pesagem do volume pulverizado em uma balança de precisão.

O perfil de distribuição de cada ponta, testada, individualmente, foi determinado por meio de gráficos plotados com dados de posição (eixos x e y) e média dos volumes acumulado. A homogeneidade de distribuição do líquido pulverizado pelo conjunto de cinco pontas, foram simuladas no Excel com os espaçamentos de 80, 72, 56, 40 e 32 cm entre pontas. Conseqüentemente, avaliadas com base no coeficiente de variação (desvio-padrão dividido pela média do volume coletado nas provetas) da distribuição volumétrica do líquido. Quanto maior o coeficiente de variação, maior a variação da distribuição e menor a uniformidade de aplicação (Debouche et al., 2000).

3.6.2 Determinação do espectro de gotas da ponta nebulizadora

Anteriormente a instalação do sistema de nebulização na estufa a ponta nebulizadora, teve o seu espectro de gotas caracterizado. As pontas de nebulização foram previamente selecionadas ao acaso. Tendo-se ensaiado com o número total de quatro pontas.

Para a determinação do espectro de gotas, utilizamos o analisador de partículas a laser (Spraytech), marca Malvern Instruments (Figura 13). O analisador de partículas a laser foi configurado para contabilizar gotas cujo diâmetro esteja na faixa de 0,1 a 2.500 μm . A ponta nebulizadora foi posicionada a 0,5 m de distância em relação ao feixe luminoso emitido pelo

analisador de partículas, para garantir que todo o jorro passasse transversalmente sobre o feixe luminoso e, deste modo, adequadamente analisado. A pressão de trabalho fixa utilizada foi de 5000 kPa.

Figura 13 - Analisador de partículas a laser (*Malvern Instruments*)



O estudo do espectro de gotas foi compreendido pelos seguintes fatores:

- DMV: diâmetro da gota que divide a população de gotas, ordenadas crescentemente, em duas metades iguais em volume de líquido pulverizado;
- Dv10: diâmetro da gota, abaixo da qual, se encontra 10 % do volume total de líquido pulverizado;
- Dv90: diâmetro da gota, abaixo da qual, se encontra 90 % do volume total de líquido pulverizado (Dv90);
- Amplitude relativa: defini a homogeneidade do diâmetro das gotas da pulverização, deste modo, quanto menor for este valor, mais homogêneo é o tamanho das gotas da amostra;
- Porcentagem do volume pulverizado composta por gotas menores que 100 μm ($\%V < 100$); e,
- Porcentagem do volume pulverizado composta por gotas com diâmetro entre 100 e 200 μm ($100 < \%V < 200$).

Para uma confirmação, após a caracterização do espectro, foi comparado o resultado obtido com o gráfico de referência para a classificação do espectro de gotas fornecido pelos padrões da ANSI/ASAE S572.1 (2009).

Durante os ensaios, a ponta foi analisada cinco vezes para minimização de erros. Com o intuito de evitar as interferências das condições psicrométricas do ar, os ensaios foram realizados à temperatura do ar inferior a 22 °C e umidade relativa do ar superior a 80%.

3.7 Estimação do volume de pulverização do fitossanitário em função do número de pontas nebulizadoras e tempo de pulverização

O procedimento para a calibração do nebulizador é importante porque assegura o volume de aplicação pré-estabelecido, a uniformidade de distribuição, a cobertura e a deposição das gotas. Para cada espaçamento entre os nebulizadores, associado à diferentes tempos, coletou-se em uma proveta graduada o volume do líquido pulverizado por um minuto. Os volumes pulverizados foram calculados baseando-se na Equação 4.

$$VP = \frac{q \cdot n \cdot t}{V \cdot 60} \quad (4)$$

em que,

VP = Volume de pulverização (L m⁻³);

q = Vazão da ponta (L min⁻¹);

n = Número de pontas utilizadas no tratamento;

t = Tempo (s); e,

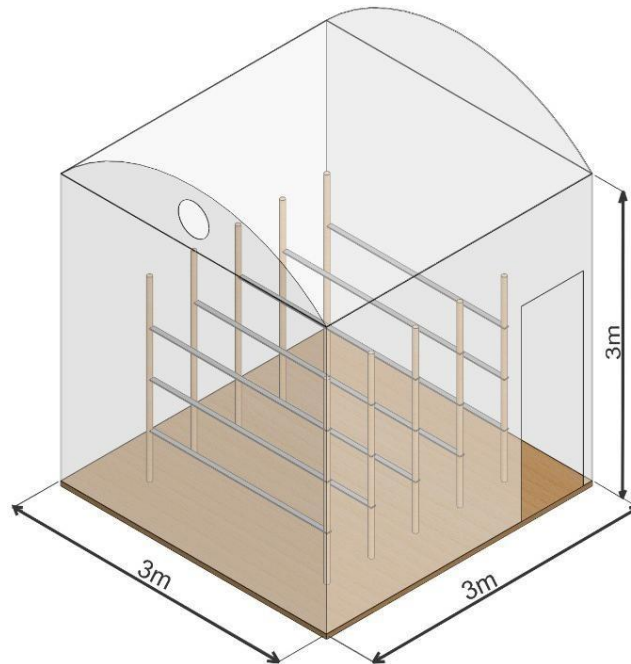
V = Volume da casa de vegetação (m³).

3.8 Avaliação da dispersão do jorro das pontas nebulizadoras na casa de vegetação em função do volume de pulverização

O espaçamento entre pontas influencia diretamente no resultado do tratamento fitossanitário. Para uma aplicação eficiente é necessário uma alta cobertura, deposição, uniformidade de distribuição de líquido e densidade populacional de gotas.

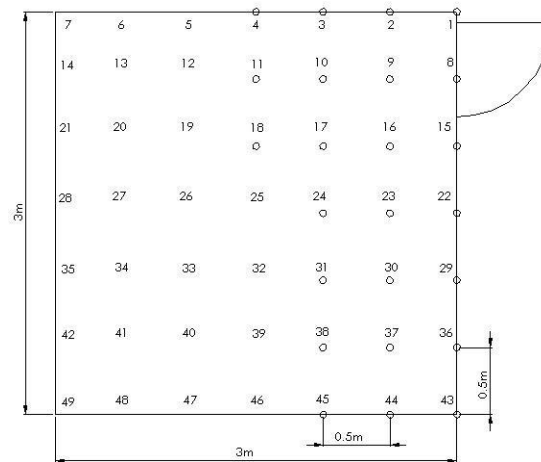
O objetivo desse ensaio foi avaliar a cobertura de gotas e sua distribuição dentro da casa de vegetação, de acordo com os volumes de pulverização calculados para cada tratamento. Para a análise da cobertura, utilizamos etiquetas de papeis hidrossensíveis, para posicionar essas etiquetas em seus devidos locais, foram utilizadas malhas amostrais. Essas malhas foram obtidas com a colocação de três fios no interior da casa de vegetação (superior, médio e inferior), espaçados de 0,5 m cada um, para simulação da altura de uma planta do tomateiro (Figura 14).

Figura 14- Distribuição da malha de coleta para distribuição das etiquetas de papel hidrossensível ao longo do dossel das plantas



Foram fixadas 49 etiquetas no terço superior, no terço médio e no terço inferior, com uma distância de 0,5 m espaçadas uma das outras, tanto na vertical, quanto na horizontal, totalizando 147 (3 x 49) etiquetas amostradas para cada tratamento (Figura 15).

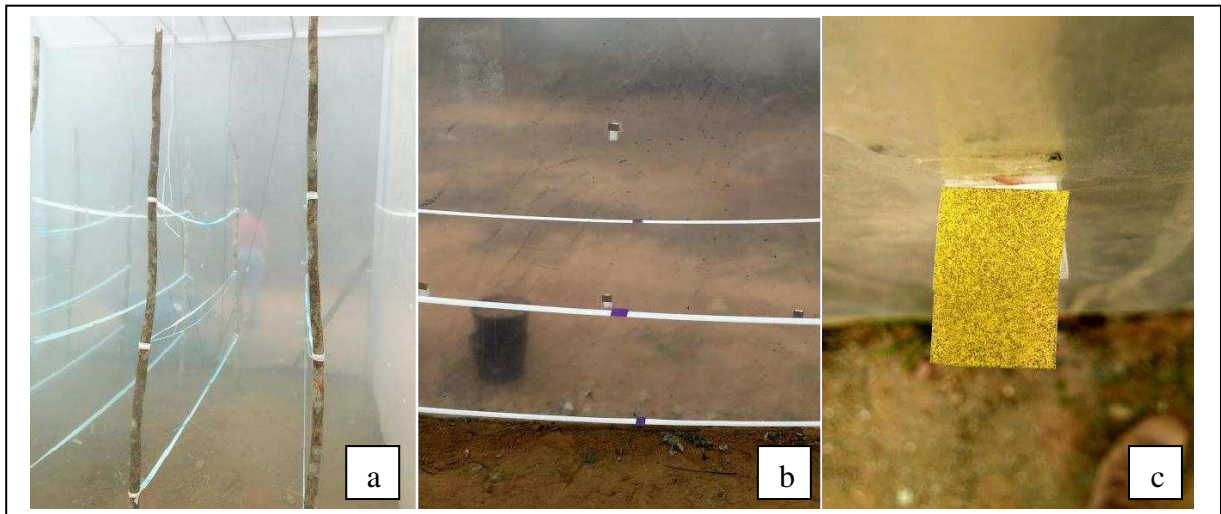
Figura 15 - Posicionamento das etiquetas de acordo com o espaçamento pré-estabelecido entre linhas e entre plantas



Logo, foram posicionadas as etiquetas amostradoras, em suas respectivas alturas, posições e espaçamentos, iniciando-se as pulverizações (Figura16). Após as pulverizações, as etiquetas de papel hidrossensíveis foram coletadas com o auxílio de pinças e acondicionadas

em envelopes devidamente identificados por suas posições na malha e encaminhadas para o Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas (LADA), sendo posteriormente, digitalizadas e submetidas às análises de cobertura pelo *software cir 1.5*. A análise pelo programa CIR 1.5 gerou um relatório detalhado para cada uma das imagens, com várias informações, dentre elas o percentual de cobertura.

Figura 16- Disposição das etiquetas na casa de vegetação sendo (a) Malha amostral: onde foram posicionadas as etiquetas (b) Etiquetas posicionadas no terço superior, médio e inferior da malha amostral (c) Etiqueta posicionada na parede da casa de vegetação



A porcentagem de cobertura do alvo pela calda foi obtida pela relação entre a área coberta pelas gotas e a área total das etiquetas. As etiquetas de papel hidrossensível 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 cobertura da aplicação de acordo com cada volume pulverizado.

Após obter o percentual de cobertura de todos os tratamentos avaliados, utilizou-se o software SigmaPlot para produzir gráficos de forma clara e precisa, afim de mostrar o percentual de cobertura em toda a área da casa de vegetação de acordo com cada tratamento.

3.9 Determinação da eficiência da pulverização do nebulizador para a cultura do tomateiro

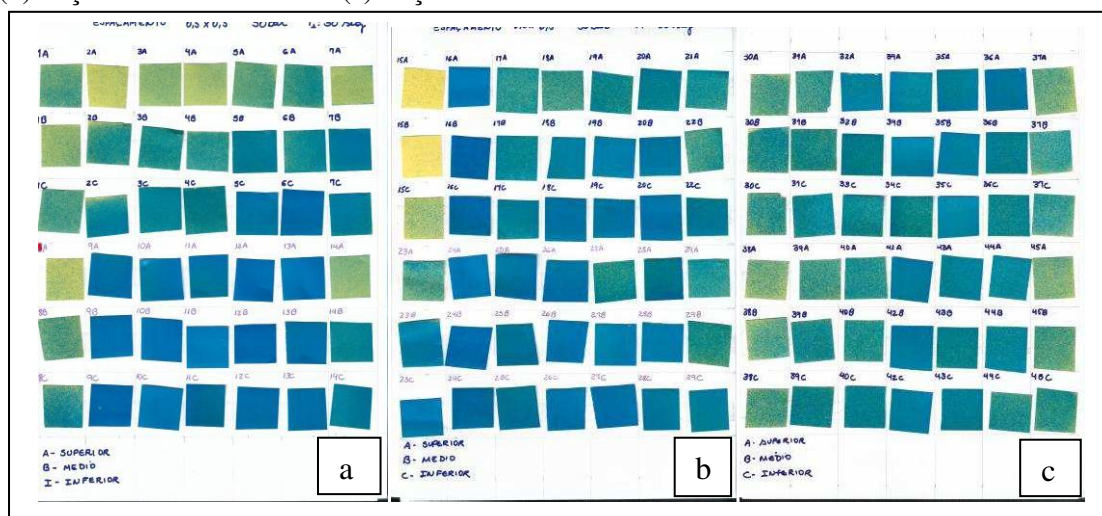
A aplicação eficiente tem como finalidade a colocação do produto no alvo para que o mesmo atue com a esperada eficácia. A qualidade da aplicação de fitossanitários foi analisada considerando os seguintes fatores.

3.9.1 Determinação da cobertura da nebulização no tomateiro

As porcentagens de coberturas foram determinadas com a mesma metodologia citada anteriormente para a avaliação da dispersão do jorro das pontas nebulizadoras, à partir da análise de etiquetas amostradas de papel hidrossensíveis. Porém, agora fixadas no dossel das plantas, sendo que foram definidas as posições de amostragem dividindo-se a planta em três terços (superior, médio e inferior)

Após a secagem das etiquetas, as etiquetas de papel hidrossensível foram coletadas com o auxílio de pinças e acondicionadas em envelopes devidamente identificados por suas posições na malha e encaminhadas para o LADA, posteriormente, digitalizadas e submetidas às análises de cobertura (Figura 17).

Figura 17- Etiquetas de papel hidrossensível coletadas para análises de cobertura. Espaçamento de 0,5x 0,5m entre pontas nebulizadoras, tempo de 30 s de pulverização (a) terço superior do tomateiro (b) terço médio do tomateiro (c) terço inferior do tomateiro



3.9.2 Deposição da calda nas folhas do tomateiro

Para a avaliação da deposição da calda nas plantas do tomateiro, adicionou-se um traçador ao líquido a ser pulverizado. Foi utilizado o corante alimentício Azul Brilhante FD&C N°1 produzido pela empresa Duas Rodas Industrial LTDA, na concentração 3g L^{-1} . O procedimento de mistura e aplicação dos traçadores foi desenvolvido por Palladini et al. (2005) e também utilizado por Zaidan et al. (2012).

Em cada parcela, posteriormente à pulverização, foram recolhidas três amostras de folíolos conforme os terços e as posições. Os folíolos coletados 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 (LADA) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA).

Às amostras de folhas acondicionadas em saco plástico, 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 marcador. A solução obtida na lavagem das folhas (água destilada e marcador) foi submetida à análise de espectrofotometria (Figura 18).

Figura 18- Procedimento de lavagem dos folíolos com água destilada para extração do traçador azul brilhante



Utilizou-se um espectrofotômetro, marca Biospectro®, modelo SP-22, faixa de leitura de 325 nm a 1000 nm, banda de passagem de 6 nm que 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) (Figura 19).

Figura 19- Espectrofotômetro



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® (Figura 20).

Figura 20- Integrador de bancada Licor Equipamentos



Para determinar a concentração (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 5.

$$\text{ABS} = \text{ABS}_{\text{H}_2\text{O}} + (a C) \quad (5)$$

em que,

ABS = Valor de leitura de absorvância (nm);

ABS_{H₂O} = Valor de leitura de absorvância da água (nm);

a = Taxa de variação; e,

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

Por consequência, a concentração do marcador depositado foi determinada empregando-se a Equação 6.

$$C = \frac{\text{ABS} - \text{ABS}_{\text{H}_2\text{O}}}{a} \quad (6)$$

em que,

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

ABS = Absorvância (nm);

ABS_{H₂O} = Absorvância da água (nm); e,

a = Taxa de variação.

De posse da concentração do marcador 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, o volume retido pela folha em $\text{mg L}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, de acordo com a Equação 7.

$$C_i V_i = C_f V_f \quad (7)$$

em que,

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

V_i = Volume retido pelo alvo (μL);

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

Vf = Volume de diluição da amostra de cada planta (μL).

3.9.3 Análise estatística

O experimento foi desenvolvido segundo um esquema de parcelas subdivididas, tendo, nas parcelas, os volumes pulverizados, nas subparcelas as posições verticais (terços) e, nas subsubparcelas 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.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da área experimental

Inicialmente são apresentados os resultados referentes as características da área experimental visto a importância para o melhor entendimento e avaliação dos resultados.

4.2 Construção do sistema de pulverização por nebulização em casa de vegetação

Para iniciar o projeto, além da disposição de ferramentas, materiais e energia elétrica, foi de grande importância a escolha do local onde foi construída a casa de vegetação, como também a variedade da cultura, o tipo de solo e o fertilizante utilizado.

A casa de vegetação foi construída no Laboratório de Mecanização Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e localizado no campus Viçosa, Minas Gerais. Ela é composta de perfil de alumínio e plástico filme 150 microns. Com 3,0 m de largura por 3,0 m de comprimento, pé direito de 3,0 m, conforme observa-se a seguir (Figura 21).

Figura 21- Casa de vegetação usada no experimento (a) Sistema de pressurização da calda



A variedade do tomateiro utilizada no projeto foi a Santa Clara (Figura 22), o substrato foi o solo argiloso, corrigido com o fertilizante NPK (Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)), de acordo com a análise do solo e as necessidades da planta.

Figura 22- Cultura do tomateiro da variedade Santa Clara, etapas do florescimento e da frutificação.



Para a construção do sistema de pulverização por nebulização, iniciamos com a instalação do sistema de resfriamento adiabático fixo no teto da casa de vegetação. Trata-se de uma rede de tubos de alta pressão através da qual a calda fitossanitária foi pressurizada. Os tubos foram distribuídos por toda casa de vegetação, onde foram instaladas as pontas de nebulização para a pulverização (Figura23).

Figura 23 - Névoa formada pelo sistema de resfriamento adiabático dentro da casa de vegetação



4.3 Desenvolvimento de um sistema de automação para a nebulização em casa de vegetação

Após a construção da casa de vegetação o próximo passo foi à montagem dos dispositivos de automação do sistema de nebulização (Figura 24a). A automação permitiu o registro dos dados, a climatização da casa de vegetação e a aplicação de produtos fitossanitários. Durante a automação definiu-se quais ações seriam tomadas, e as correções que deveriam ser feitas após a leitura dos dados da casa de vegetação.

Figura 24 - Sistema de automação da nebulização (a) Sistema de controle no qual foi empregado para monitorar os tratamentos e o tempo de aplicação



A montagem do sistema de automação para aquisição dos dados permitiu medir em tempo real e registrar o valor das variáveis de interesse ($T^{\circ}C$, UR%, DPV) para a caracterização do tratamento fitossanitário. Esses valores de interesse foram exibidos em uma mensagem no display LCD (Figura 25). O usuário pode através do computador, programar para que seja enviado e salvo o ponto de estado no interior da estufa em um arquivo, contendo data e hora.

Figura 25 - Display LCD 16x2



A idealização deste projeto teve como ponto principal a criação de um sistema automatizado, de fácil manutenção, baixo custo e que fosse capaz de apresentar uma forma alternativa de cultivo do tomateiro em ambientes fechados a fim de suprir uma demanda crescente da população brasileira, por um produto confiável e barato. Além de ministrar a aplicação de produtos fitossanitários automaticamente, sem a necessidade da interferência humana durante a aplicação.

Neste contexto, o objetivo foi alcançado de forma eficiente em relação à construção do sistema proposto, que não apenas apresenta resultados positivos de desempenho, como permite ao usuário que, ao escolher o tipo de cultivo desejado os valores de temperatura e umidade do ar possam ser ajustados de acordo com as exigências da cultura.

No caso da cultura do tomateiro, quando a temperatura no interior da estufa estivesse acima de 30°C, o mecanismo de resfriamento adiabático era acionado, permanecendo ligado até a temperatura ficar abaixo de 30°C. O arduino foi programado para fazer a leitura do sistema de 10 em 10 segundos e o exaustor foi programado para ficar ligado de 9 às 17h. A programação funcionou perfeitamente, atendendo todos os requisitos propostos para o controle das condições ambientais e aplicação de produtos fitossanitários, sem a necessidade da interferência humana dentro da casa de vegetação durante as aplicações.

Por ser um processo automatizado, implica consideravelmente em questão de redução de custos por meio da economia de recursos utilizados, sejam eles água, defensivos agrícolas, nutrientes, mão de obra e espaço, além de evitar gastos para o controle de pragas e estresse da cultura implantada.

Com a automatização do sistema, o produtor terá um maior controle das condições ambientais internas da casa de vegetação no decorrer do cultivo. Poderá fazer um comparativo

considerando os parâmetros configurados que propiciaram maior qualidade ao produto e as épocas do ano que propiciaram maior retorno financeiro para o produtor.

De Souza e Da Rocha (2020) relataram que o cultivo protegido usando automação é uma alternativa viável para os pequenos produtores. Esta automação facilitou as atividades e proporcionou maior controle do cultivo, da qualidade do produto final a partir de relatórios gerados pelo sistema de automação. Desta forma, combinando conhecimento técnico e as informações geradas pelo sistema para uma melhor tomada de decisão.

A automatização utilizando a plataforma Arduino otimiza a qualidade do tratamento das culturas, proporcionando economia financeira na operação (Bajer; Krejkar, (2015).

Após a instalação do sistema de automação e da infraestrutura necessária, iniciaram-se os testes preliminares para a coleta de dados do trabalho. No Quadro 1 observam-se os resultados obtidos durante o funcionamento do sistema automatizado.

Quadro 1- Efeito do sistema da automação no controle das condições ambientais durante o mês de setembro/2019

Sem climatização				Com climatização			
Horas	T°C	UR%	DPV(kPa)	Horas	T°C	UR%	DPV(kPa)
06:00	18,7	100	0	06:00	21,0	100	0
07:00	22,0	98,9	0,029	07:00	22,0	98,9	0,029
08:00	23,6	83,7	0,474	08:00	23,2	95,5	0,127
09:00	25,0	75,5	0,776	09:00	25,5	78,4	0,704
10:00	38,6	55,4	3,05	10:00	28,9	75,9	0,959
11:00	52,9	32,4	9,61	11:00	30,3	76,3	1,022
12:00	55,4	27,4	11,93	12:00	31,5	77,9	1,021
13:00	48,9	44,7	6,45	13:00	33,9	72,2	1,470
14:00	53,6	38,9	8,99	14:00	32,4	72,6	1,332
15:00	55,5	35,0	10,48	15:00	29,4	77,5	0,922
16:00	52,4	34,6	9,07	16:00	26,6	71,1	1,006
17:00	24,3	75,0	0,759	17:00	22,4	75	0,677
18:00	20,8	94,7	0,147	18:00	21,8	84,9	0,394
19:00	19,4	100	0	19:00	20,5	100,0	0

Figura 26 - Média das condições ambientais no interior da casa de vegetação sem a utilização do resfriamento adiabático

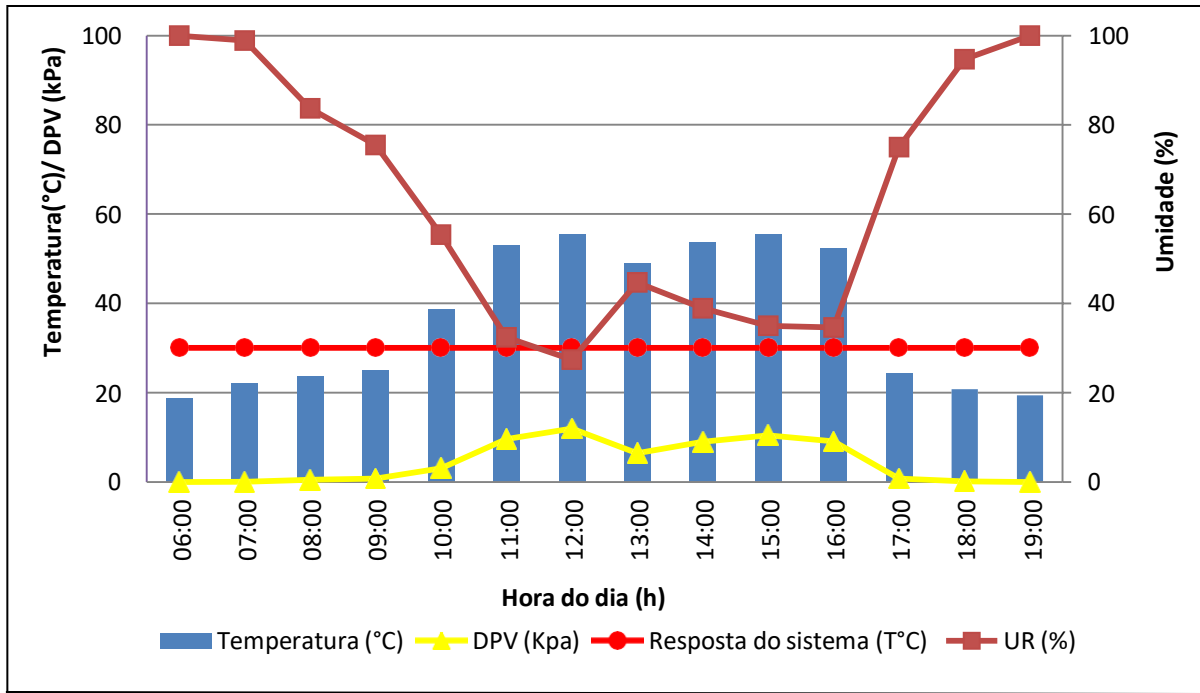
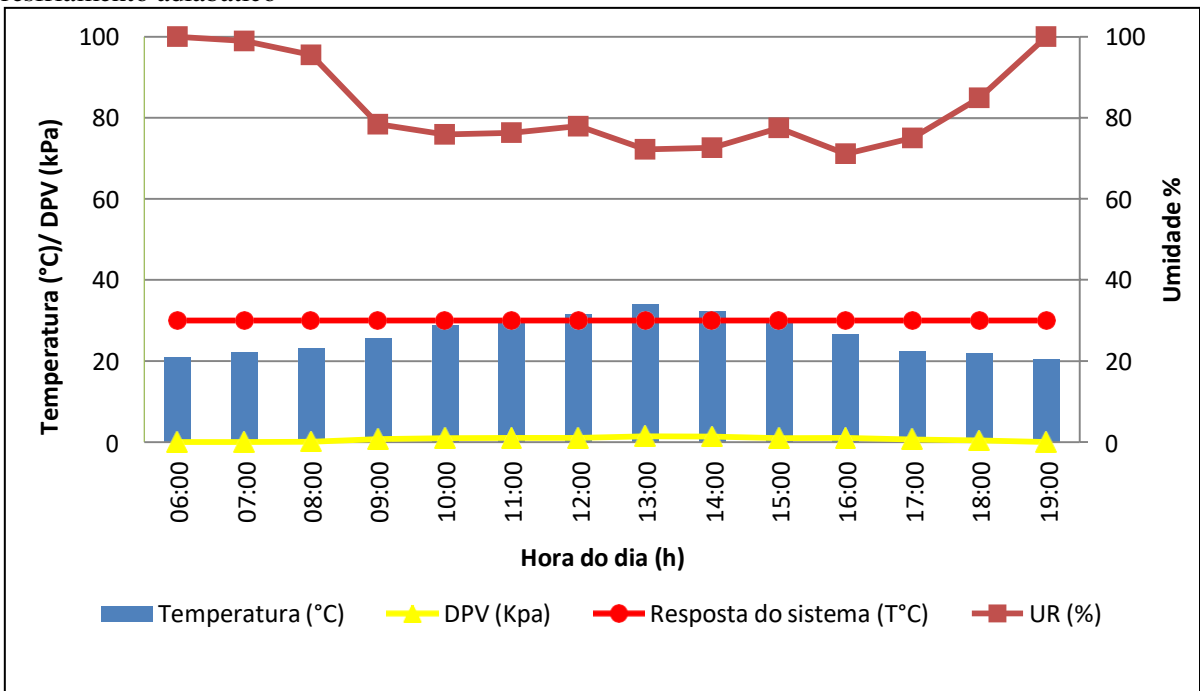


Figura 27 - Média das condições ambientais no interior da casa de vegetação com a utilização do resfriamento adiabático



Observam-se na Figura 26 as médias da evolução diária da temperatura do ar, umidade relativa e DPV sem a utilização do resfriamento. Observam-se que, as maiores temperaturas foram registradas no período de 10:00 às 16:00h, variando de 38,6 °C à 55,5 °C. Durante esse intervalo de tempo a umidade relativa variou de 34,6% a 55,4%, sendo estas condições climáticas inadequadas para o desenvolvimento do tomateiro e também para o controle e manejo de pragas durante o cultivo.

Embrapa (2006), destacaram que temperatura média no período de cultivo do tomateiro deve estar em torno dos 21°C, tendo uma tolerância ou amplitude de 10°C a 34°C. Quando o nível de temperatura fica abaixo dos 12°C, o tomateiro tem seu crescimento reduzido, pode ser extremamente sensível a geadas. Temperaturas noturnas superiores ou próximas dos 32°C podem causar abortamento de flores, baixo desenvolvimento dos frutos e formação de tomates ocos.

Levando em consideração o estudo feito pela Embrapa (2006), é necessário adequações ao ambiente climatizado, de acordo com as exigências da cultura. As condições climáticas internas do nosso sistema experimental sem o sistema de resfriamento, são inviáveis para o desenvolvimento da cultura do tomateiro, visto que, a temperatura interna da estufa variou de 18°C à 55,5°C

Observam-se que os valores de umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação são variáveis e estão intimamente relacionados aos valores de temperatura do ar. Assim, para um mesmo conteúdo de vapor d'água no ar, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura, diminuindo-se durante o dia e aumentando-se durante a noite, no período de 24 horas.

Após instalar o sistema de resfriamento, via nebulização, na casa de vegetação, observam-se, na Figura 27, que o sistema de resfriamento proporcionou o controle dos fatores ambientais adequadamente. O sistema melhorou o microclima interno da casa de vegetação, aumentando-se a umidade interna e, diminuindo-se a temperatura. A umidade relativa aumentou 18,6%, em média, passando de 64% sem neblina para 82,6% na casa de vegetação com neblina.

Li e Willits (2008) também avaliaram a umidade relativa nas estufas com e sem neblina. A umidade relativa aumentou 26%, em média, de 41% na estufa sem neblina para 67% na estufa com neblina. O efeito de resfriamento observado neste estudo foi muito mais significativo do que no estudo anterior (Li et al., 2005).

A temperatura nesse sistema de nebulização de alta pressão variou de 20,5 a 33,9 ° C. A maior diferença de temperatura do ar encontrada na casa de vegetação com e sem neblina foi de 26,10 ° C, às 15h. Resultados parecidos foram encontrados por Li e Willits (2008), em que a temperatura empregando-se o sistema de nebulização de alta pressão variou de 22,4 a 34,6 ° C e a maior diferença de temperatura do ar nas casas de vegetação sem e com neblina foi de 10,2 ° C.

Deste modo, as variações psicométricas, possibilitaram a determinação do déficit de pressão de vapor d'água no ar, entre 0 e 11,93kPa na casa de vegetação sem a utilização do resfriamento adiabático (Figura 26) e entre 0 e 1,47 na casa de vegetação com a utilização do resfriamento adiabático (Figura 27). Os maiores valores de déficit de pressão de vapor d'água na casa de vegetação sem o resfriamento, ocorreram no período de 10:00 às 16h, variando de 3,05 à 11,93 kPa (Figura 26).

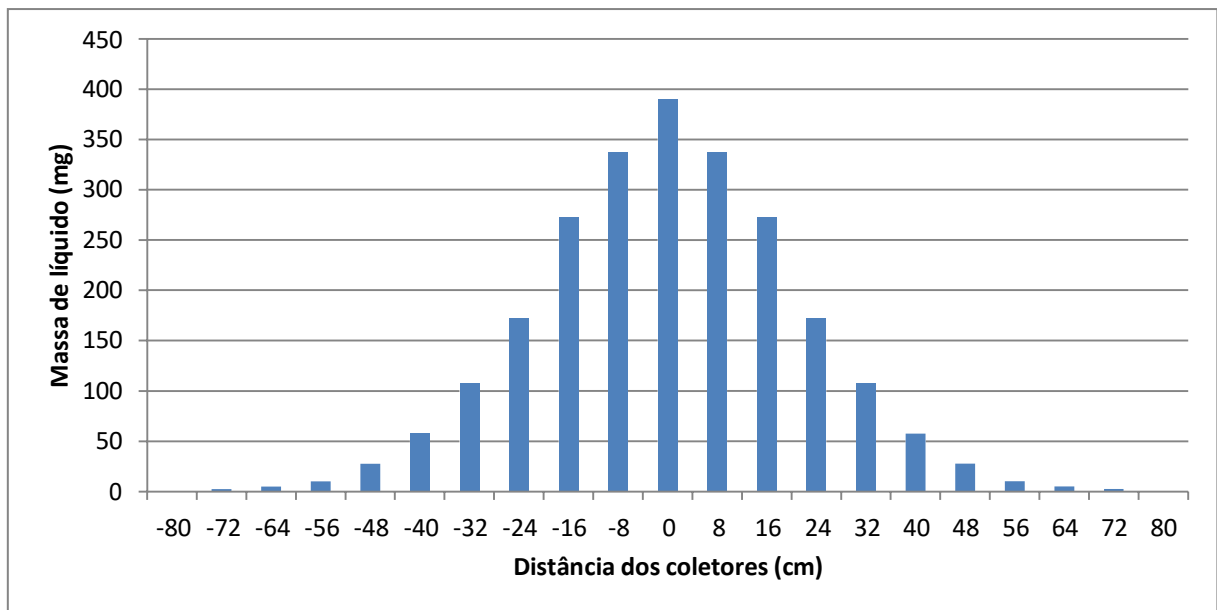
A variação das condições de temperatura e umidade relativa ao longo do dia, visando à aplicação de produtos sanitários, está diretamente ligado à eficiência da aplicação. Visto que, as aplicações realizadas em condições críticas de déficit de pressão de vapor d'água no ar, causa evaporação das gotas. Diante disso, os profissionais envolvidos com a tecnologia de aplicação devem procurar realizar as pulverizações no período da manhã ou no final da tarde para obter o sucesso do controle fitossanitário, sempre monitorando as condições que proporcionam menos evaporação. Alguns agricultores têm-se realizado as pulverizações no período noturno, como uma alternativa para reduzir o efeito das condições meteorológicas na aplicação de produtos fitossanitários.

O uso de nebulizadores de alta pressão é uma alternativa interessante para conter as altas temperaturas e baixas umidades relativas em casas de vegetação, além de facilitar o trabalho do produtor ainda dispõe de um maior controle sobre a qualidade do produto final, mediante a utilização de relatórios gerados por meio dos dados obtidos pelos sensores e atuadores no cultivo. As gotas finas de água que são produzidas pelos microaspersores evaporam rapidamente, utilizando calor do ambiente para passar do estado líquido para o gasoso. Portanto, diminui-se a temperatura interna e aumenta-se a umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, favorecendo a aplicação de produtos sanitários ao longo do dia.

Observam-se, nas Figuras 26 e 27, que o sistema de nebulização de alta pressão melhorou o microclima interno da casa de vegetação, diminuindo-se a temperatura e aumentando-se a umidade relativa interna. Portanto, o DPV diminuiu, principalmente nas horas centrais do dia, quando os valores máximos, mais limitantes para cultura, são

O perfil de distribuição da ponta nebulizadora foi determinado com base na média das massas de líquido coletadas nos quatro eixos. A ponta nebulizadora apresentou um perfil característico que foi influenciado pela distância dos coletores. Observou-se que o maior volume foi encontrado na posição central do gráfico, onde foi posicionada a ponta nebulizadora. À medida que aumentou o distanciamento dos coletores em relação à ponta, houve uma diminuição das massas de líquido (Figura 29).

Figura 29- Perfil de distribuição de uma ponta nebulizadora



Logo após, simula-se a uniformidade de distribuição da massa de líquidos de cinco pontas na mesma linha, variando seu espaçamento em cada ensaio. Logo, selecionou-se a parte interna com as sobreposições de três pontas para determinar o coeficiente de variação e a uniformidade de distribuição de líquido.

Figura 30- Perfil de distribuição volumétrica (massa versus distância dos coletores) com espaçamento de 80 cm entre pontas. (a) Perfil de 5 pontas nebulizadoras (b) Perfil de 3 pontas nebulizadoras

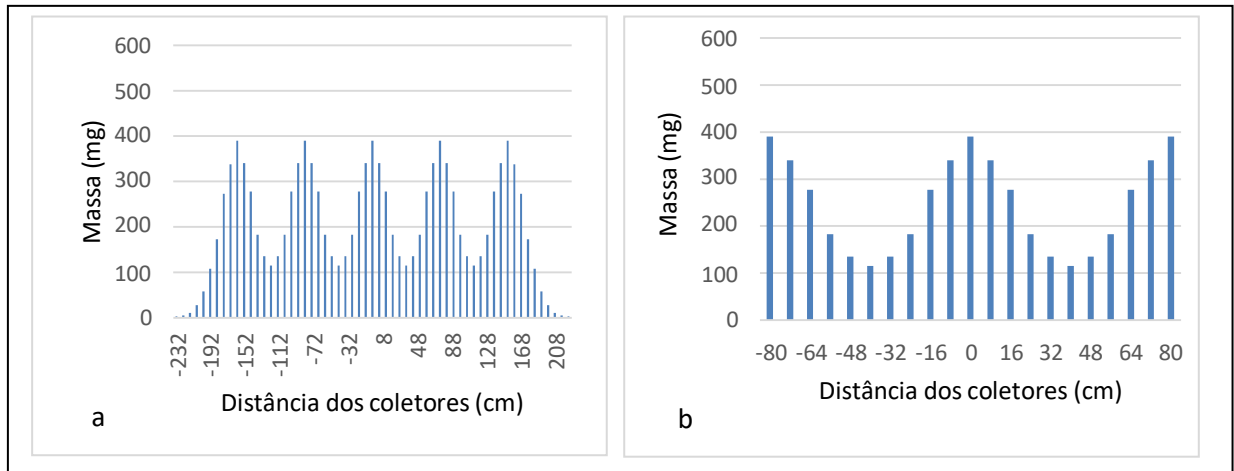


Figura 31- Perfil de distribuição volumétrica (massa versus distância dos coletores) com espaçamento de 72 cm entre pontas. (a) Perfil de 5 pontas nebulizadoras (b) Perfil de 3 pontas nebulizadoras

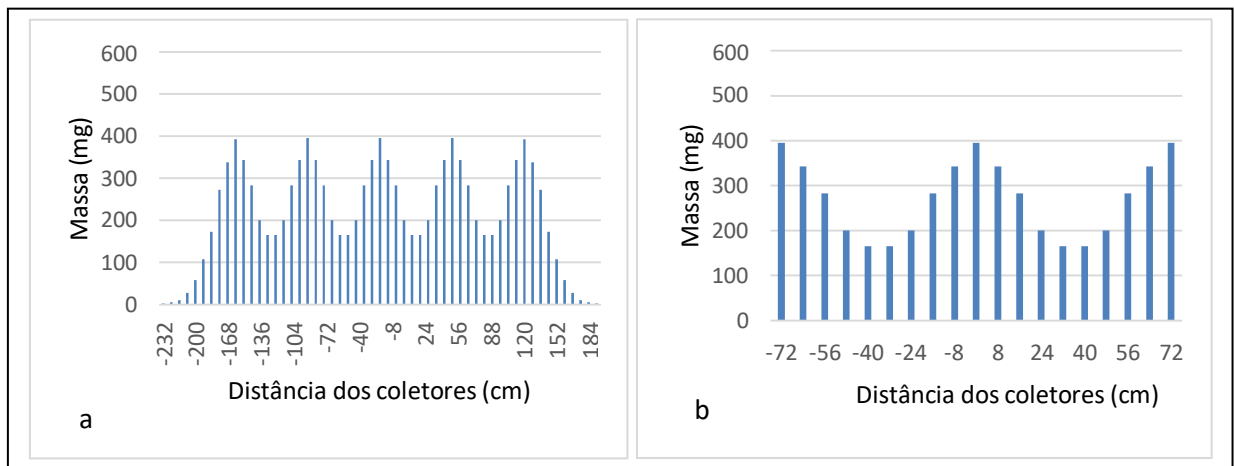


Figura 32- Perfil de distribuição volumétrica (massa versus distância dos coletores) com espaçamento de 56 cm entre pontas. (a) Perfil de 5 pontas nebulizadoras (b) Perfil de 3 pontas nebulizadoras

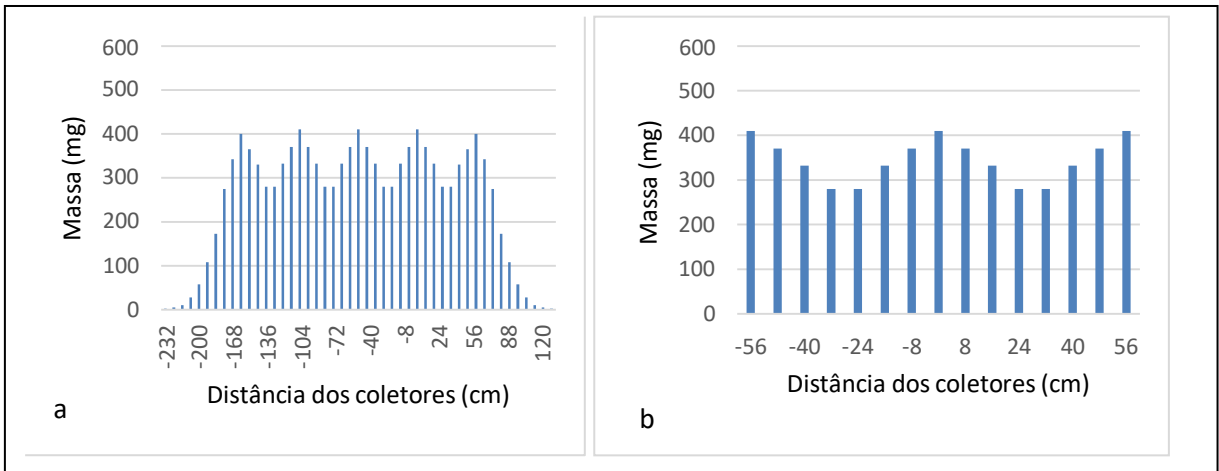


Figura 33- Perfil de distribuição volumétrica (massa versus distância dos coletores) com espaçamento de 40 cm entre pontas. (a) Perfil de 5 pontas nebulizadoras (b) Perfil de 3 pontas nebulizadoras

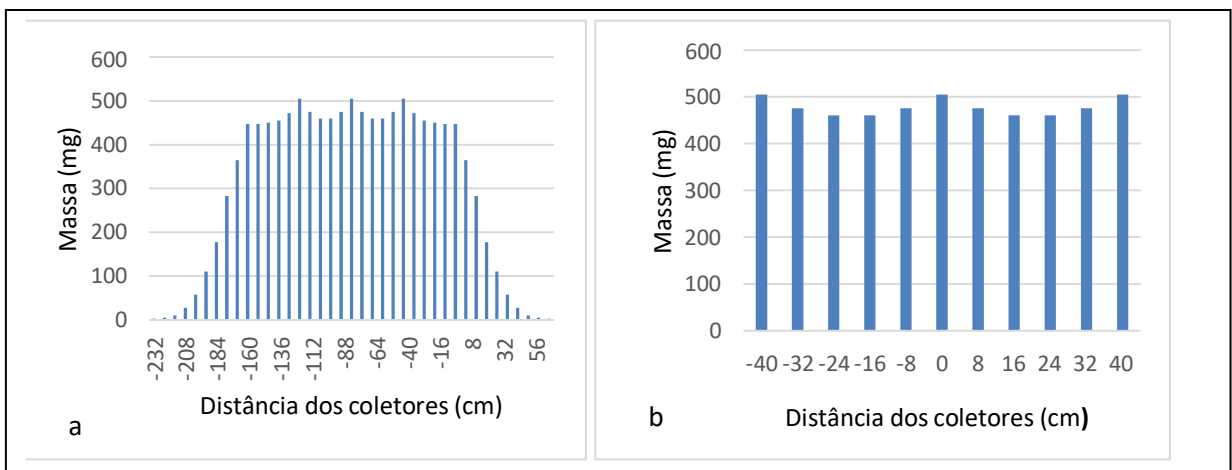


Figura 34- Perfil de distribuição volumétrica (massa versus distância dos coletores) com espaçamento de 32 cm entre pontas. (a) Perfil de 5 pontas nebulizadoras (b) Perfil de 3 pontas nebulizadoras

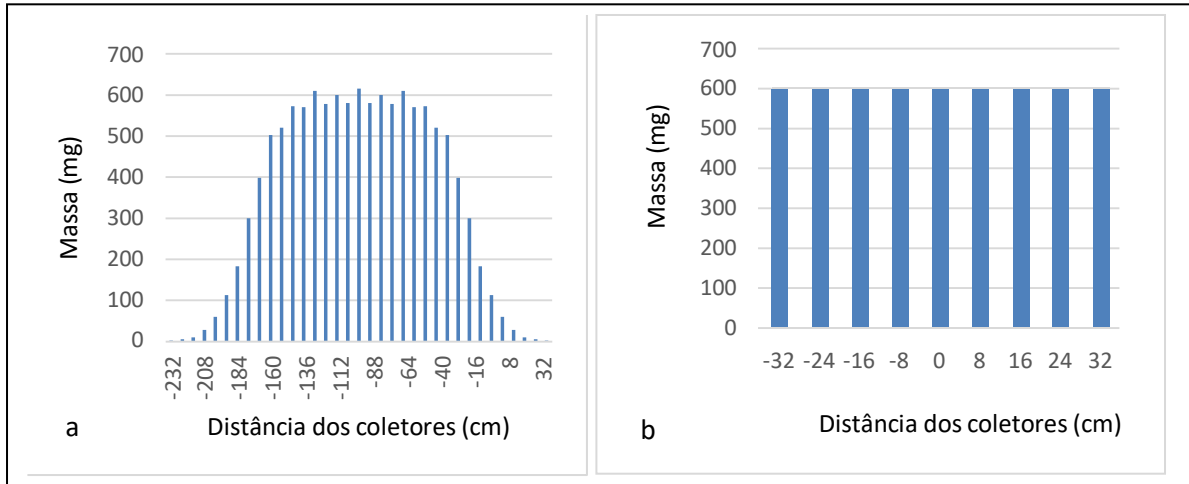
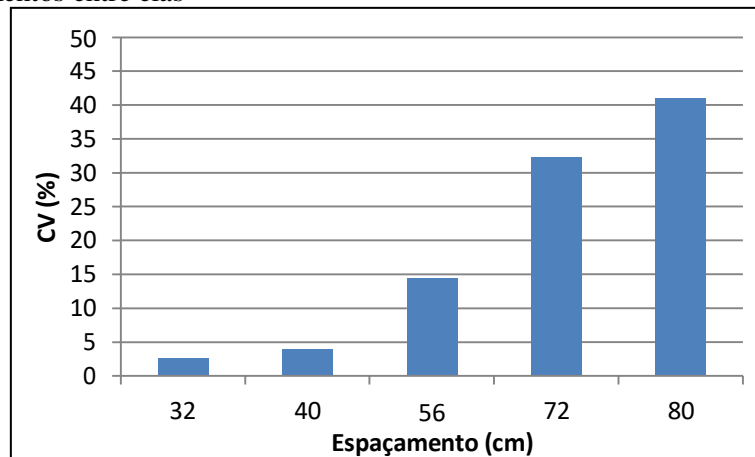


Figura 35- Coeficiente de variação (CV) da distribuição volumétrica conjunta de pontas nebulizadoras, em diferentes espaçamentos entre elas



Nas Figuras 30, 31 e 32, seguidos pelo espaçamentos de 80,72 e 56 cm, ocorreram além do pico central, pequenas depressões que dificultam a uniformidade de distribuição, observou-se que esses espaçamentos apresentaram um perfil com alto coeficiente de variação, variando de 14,44 a 40,98%.

Já nos espaçamentos de 40 e 32 cm, houve uma redução no pico central e um alargamento do perfil à medida que diminuíram-se os espaçamentos entre pontas (Figura 33 e 34). Além disso, o coeficiente de variação foi de 3,92 e 2,63%, obtendo uma uniformidade de distribuição de líquido maior.

Analisando-se a Figura 35, é possível perceber ainda que, de maneira geral, as pontas nebulizadoras proporcionaram perfis com menor coeficiente de variação quando se utilizou

menores espaçamentos, o que facilita a uniformidade de distribuição em tratamentos em área total.

Levando-se em conta um limite máximo aceitável do coeficiente de variação de 15% em pulverizações hidráulicas (AZIMI et al., 1985), não é recomendado trabalhar com as pontas no espaçamentos acima de 56cm, pois a sobreposição dos jorros não permite obter boa uniformidade de distribuição. Ressalta-se que esse limite do coeficiente de variação de 15 % é maior que o proposto pela norma europeia que estabelece um coeficiente de variação menor que 7% EN 12761-2 (2001).

Porém, como se trata de uma pulverização via nebulização e não de uma pulverização hidráulica, acredita-se que há necessidade de um coeficiente de variação abaixo de 5%, devido a uniformidade de distribuição encontrada em cada espaçamento entre pontas, estudado em laboratório. Pois há tendência de distribuição mais estável, além de menor influência na uniformidade de distribuição.

Considerando os valores que apresentam o coeficiente de variação abaixo de 5%, apenas os espaçamentos de 40 e 32 cm apresentam uniformidade de distribuição aceitável. Mediante estes valores, pode-se considerar que as pontas estudadas apresentaram, entre os conjuntos com menores espaçamentos, um desempenho uniforme. Segundo Baio et al. (2015) quanto mais uniforme, mais técnica é considerada a aplicação.

4.4.1 Espectro de gotas da ponta nebulizadora

O espectro de gotas, analisado em laboratório com o auxílio do analisador de partículas a laser, para a caracterização da ponta nebulizadora pode ser observado no Quadro 3. Durante as análises, foram respeitadas as condições psicrométricas recomendadas pelas normativas ANSI/ASAE S572.1 (2009) e ISO 5682.1 (1996). Assim, as análises foram realizadas com quatro pontas nebulizadoras, fabricadas em aço inox com orifício de 0,2mm; rosca 10/24UNC; com mola interna anti - gotas em uma pressão de 5000 kPa, temperaturas inferiores a 30 °C e UR superiores a 80%, respectivamente, com ausência de vento. Os parâmetros superiores a 150 µm foram omitidos do Quadro 3, porque esta ponta nebulizadora não produz gotas nestes espectros.

No Quadro 2, observam-se as médias dos valores do espectro de gotas produzidas pela ponta nebulizadora.

Quadro 2 – Valores médios do espectro de gotas produzidas pela ponta nebulizadora, analisadas pelo analisador de partículas a laser (*Malvern Instruments*)

Dv10 (μm)	DMV (μm)	Dv90 (μm)	Span	%V<100	100<%V<150
20,54	39,45	68,33	1,21	99,46	0,54

Dv10 – diâmetro da gota, abaixo da qual, se encontra 10% do volume total de líquido pulverizado;

DMV – diâmetro da gota, abaixo da qual, se encontra 50% do volume total de líquido pulverizado;

Dv90 – diâmetro da gota, abaixo da qual, se encontra 90% do volume total de líquido pulverizado;

Span – amplitude relativa;

%V<100 – fração do volume compreendido por gotas menores que 100 μm ; e,

100<%V<150 – fração do volume compreendido por gotas entre 100 e 150 μm ;

Com base nos parâmetros Dv10, DMV e Dv90, pôde-se conferir a classificação da ponta nebulizadora fabricadas em aço inox com orifício de 0,2mm; rosca10/24UNC, quanto ao espectro de gotas produzido a partir da norma ANSI/ASAE S572.1 (2009). De acordo com este gráfico, todos os três parâmetros encontram-se dentro da faixa de gotas extremamente finas.

O tamanho de gota produzida pelo sistema desenvolvido é de 39,45 μm . Segundo o ITE (Instituto Tecnológico Europeo) (2002), o diâmetro da gota produzida é de fundamental importância, pois gotas com diâmetro acima de 50 micras, por gravidade atingem o solo ou as culturas em um curto espaço de tempo, chegando a molhá-las.

Além disso, vale ressaltar que em uma pulverização, o emprego de gotas com diâmetros reduzidos possibilita uma melhor dispersão das gotas sobre a superfície foliar, aumentando a densidade de gotas depositadas no alvo e a redução do volume de calda a ser aplicado por unidade de área (SASAKI, 2013).

4.5 Estimativa do volume de pulverização do fitossanitário em função do número de pontas nebulizadoras e tempo de pulverização

Antes da avaliação da eficiência da pulverização, foi necessário fazer a calibração da pulverização do nebulizador. Foram feitos testes variando o espaçamento entre pontas nebulizadoras e o tempo de pulverização, podendo assim determinar o volume a ser aplicado por tratamento.

Quadro 3 - Volumes de pulverização para diferentes espaçamentos entre pontas associados a diferentes tempos de pulverização.

Tratamento	Espaçamento(m)	T (s)	N^o pontas	q (L min⁻¹)	VP(L m⁻³)
T1	0,5 x 0,5	30	20	0,0354	0,0131
T2		60			0,0262
T3		90			0,0393
T4		120			0,0524
T1	1,0 x 1,0	30	6	0,0394	0,0043
T2		60			0,0087
T3		90			0,0131
T4		120			0,0175
T1	1,5 x 1,5	30	1	0,0400	0,0007
T2		60			0,0014
T3		90			0,0022
T4		120			0,0029

Observou-se no Quadro 3, a partir dos resultados das médias das vazões das pontas, que houve uma pequena variação na vazão da calda de acordo com o espaçamento entre pontas utilizadas. Quanto maior o espaçamento entre as pontas, maior foi a vazão por ponta. Isso pode ser devido a uma perda de carga durante o percurso da calda nos tubos, fazendo com que quanto menor o número de pontas menor a perda de carga e maior a vazão das pontas. O volume pulverizado por tratamento aumentou de acordo com o aumento do tempo de pulverização em cada espaçamento e também com o aumento de pontas utilizadas.

A variação do tempo de pulverização utilizado por espaçamento, foi uma forma de aumentar ou diminuir o volume aplicado. Visto que, utilizou-se um mesmo modelo de ponta para todos os tratamentos, possuindo uma única vazão.

4.6 Avaliação da dispersão do jorro das pontas nebulizadoras na casa de vegetação em função do volume de pulverização

Após a análise do perfil de distribuição volumétrica em laboratório, iniciamos os testes na casa de vegetação. A princípio avaliou-se a cobertura em toda casa de vegetação (Volume da área= 27 m³) de acordo com cada espaçamento entre pontas e volume pulverizado.

A análise da cobertura iniciou-se empregando etiquetas de papéis hidrossensíveis distribuídas em toda casa de vegetação. Com os resultados, foi possível avaliar qual espaçamento nos proporcionou uma cobertura mais uniforme. Visto que, o intuito do trabalho é proporcionar uma alta cobertura em todas as partes da casa de vegetação, para que não se tenha diferenças significativas dos tratamentos entre plantas.

Durante os ensaios da coleta de dados da cobertura em toda a casa de vegetação, utilizou-se a ponta nebulizadora de 0,2mm; rosca 10/24UNC; com mola interna anti – gotas. As condições de temperatura e de umidade do ar foram de 22^oC e 80%, respectivamente, com ausência de vento. A pressão utilizada foi de 5000 Kpa para todos os ensaios. Os resultados dos ensaios da cobertura podem ser observados nas figuras a seguir.

Figura 36 – Cobertura média proporcionada por 20 pontas nebulizadoras, vazão de 0,0354 L min⁻¹, espaçamento de 0,5 x 0,5 m e no tempo de 30 s

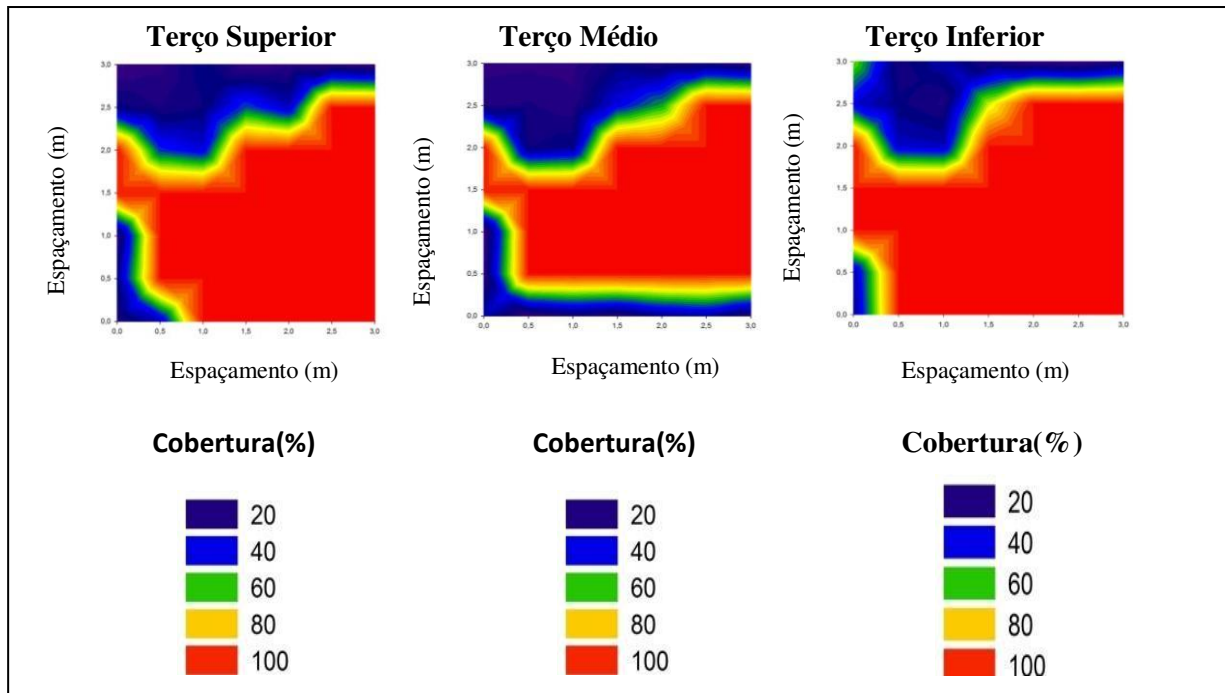


Figura 37– Cobertura média proporcionada por 20 pontas nebulizadoras, vazão de $0,0354 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ e no tempo de 60 s

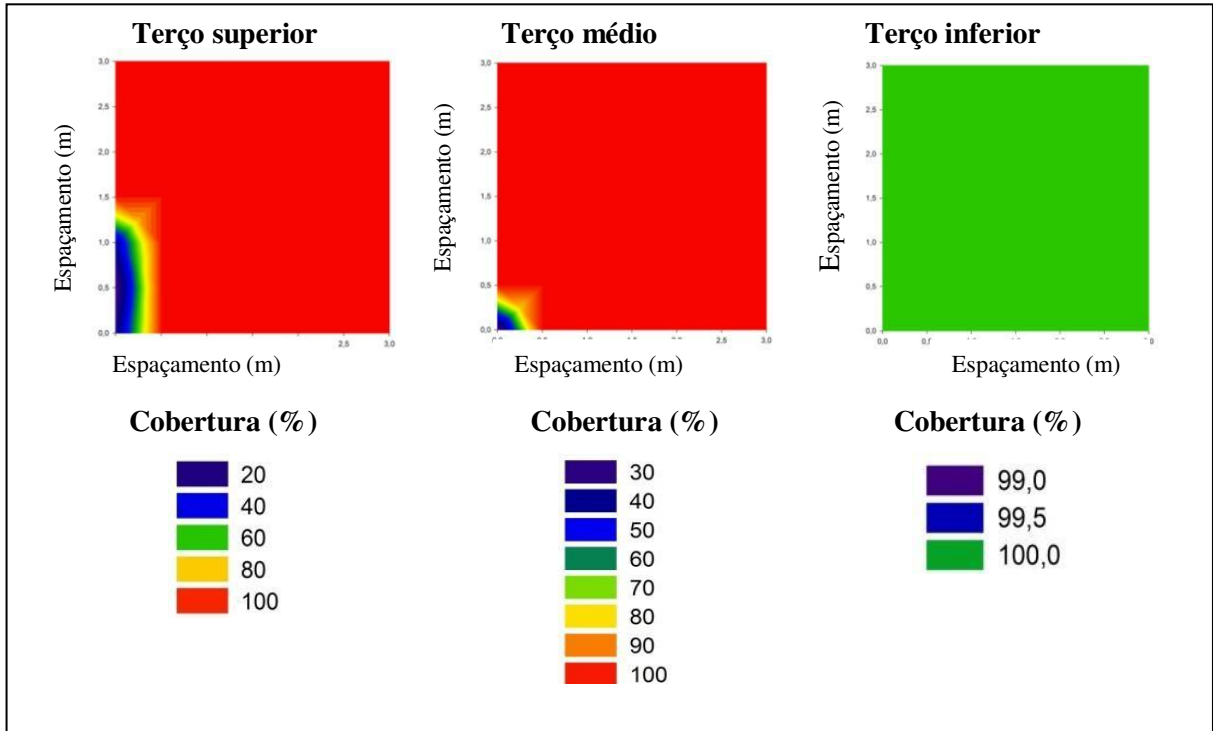


Figura 38 – Cobertura média proporcionada por 20 pontas nebulizadoras, vazão de $0,0354 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ e no tempo de 90 s

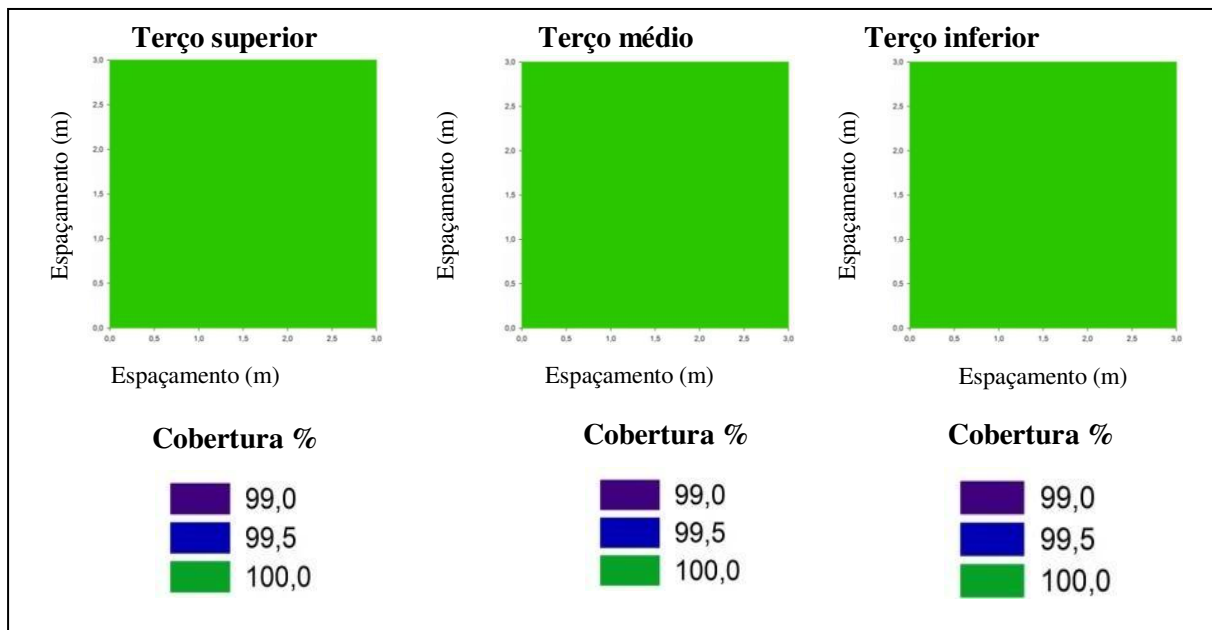


Figura 39– Cobertura média proporcionada por 20 pontas nebulizadoras, vazão de $0,0354 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ e no tempo de 120 s

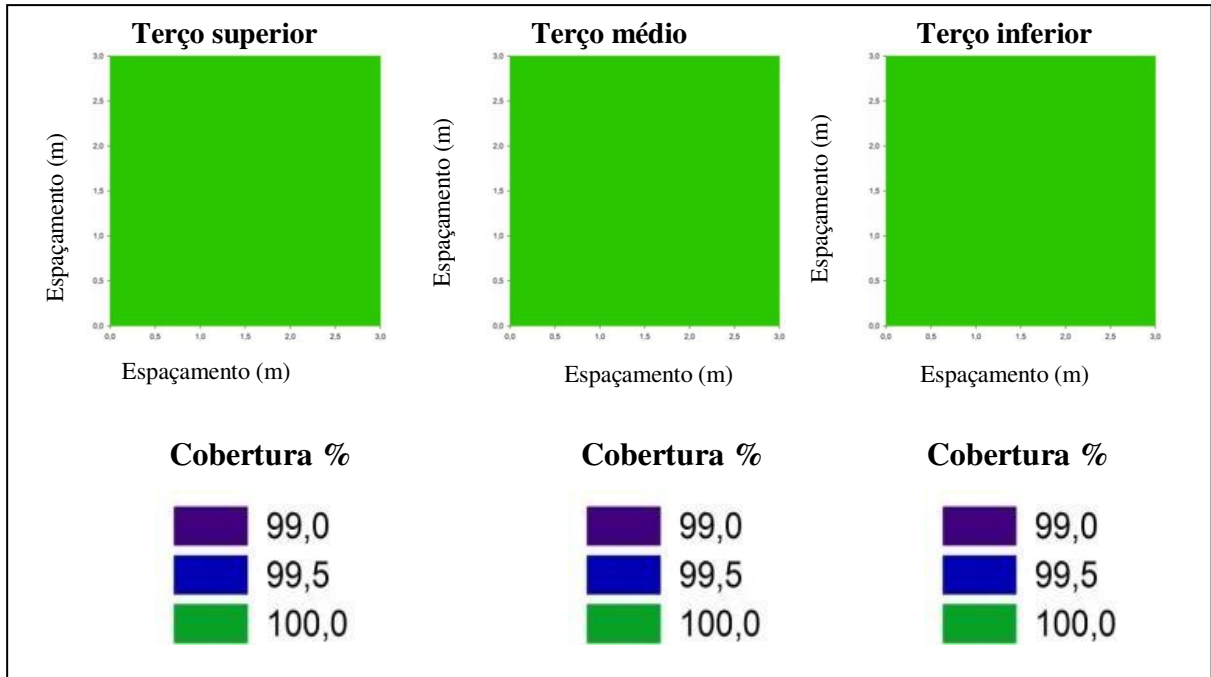


Figura 40– Cobertura média proporcionada por 6 pontas nebulizadoras, vazão de $0,0394 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento de $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ e no tempo 30 s

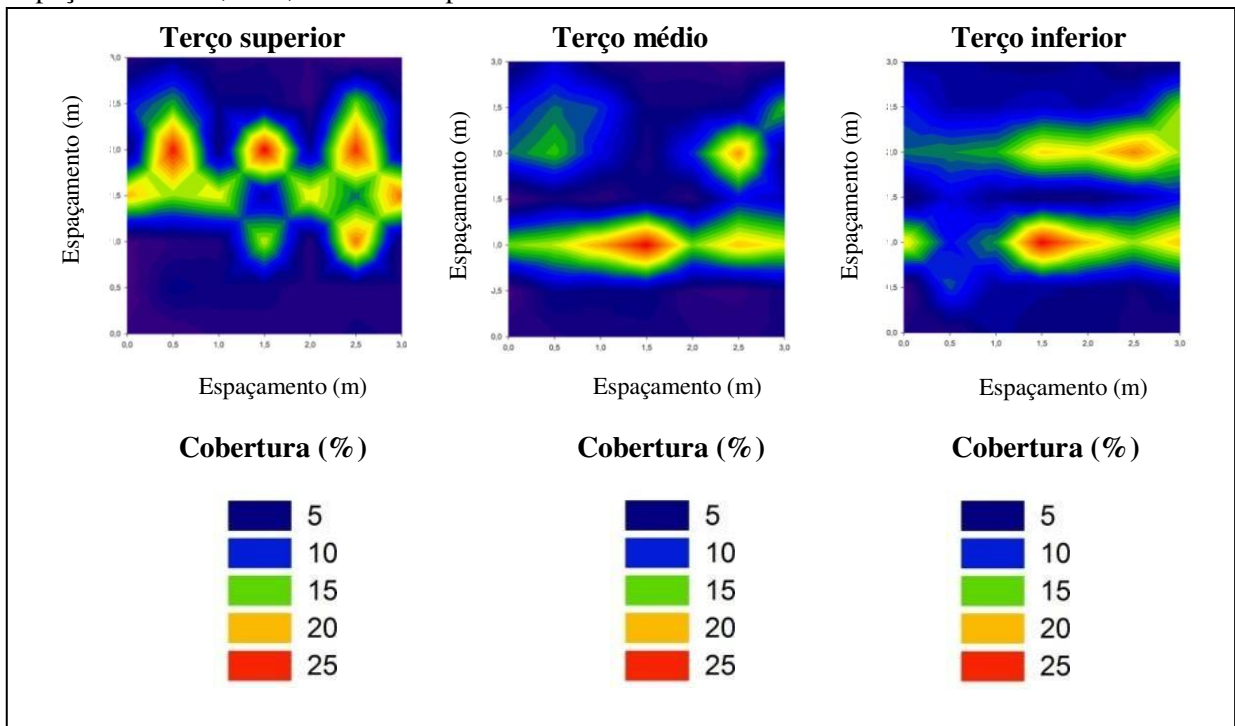


Figura 40– Cobertura média proporcionada por 6 pontas nebulizadoras, vazão de $0,0394 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento de $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ e no tempo 60 s.

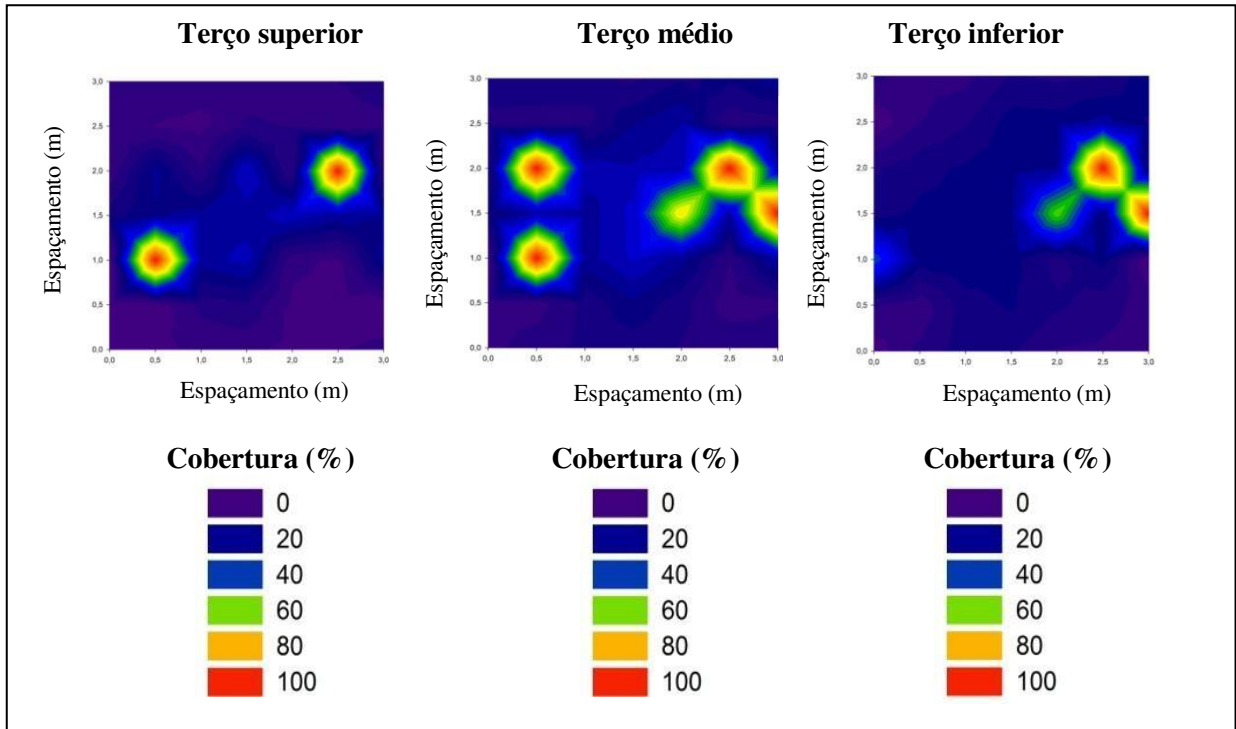


Figura 41– Cobertura média proporcionada por 6 pontas nebulizadoras, vazão de $0,0394 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento de $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ e no tempo 90 seg

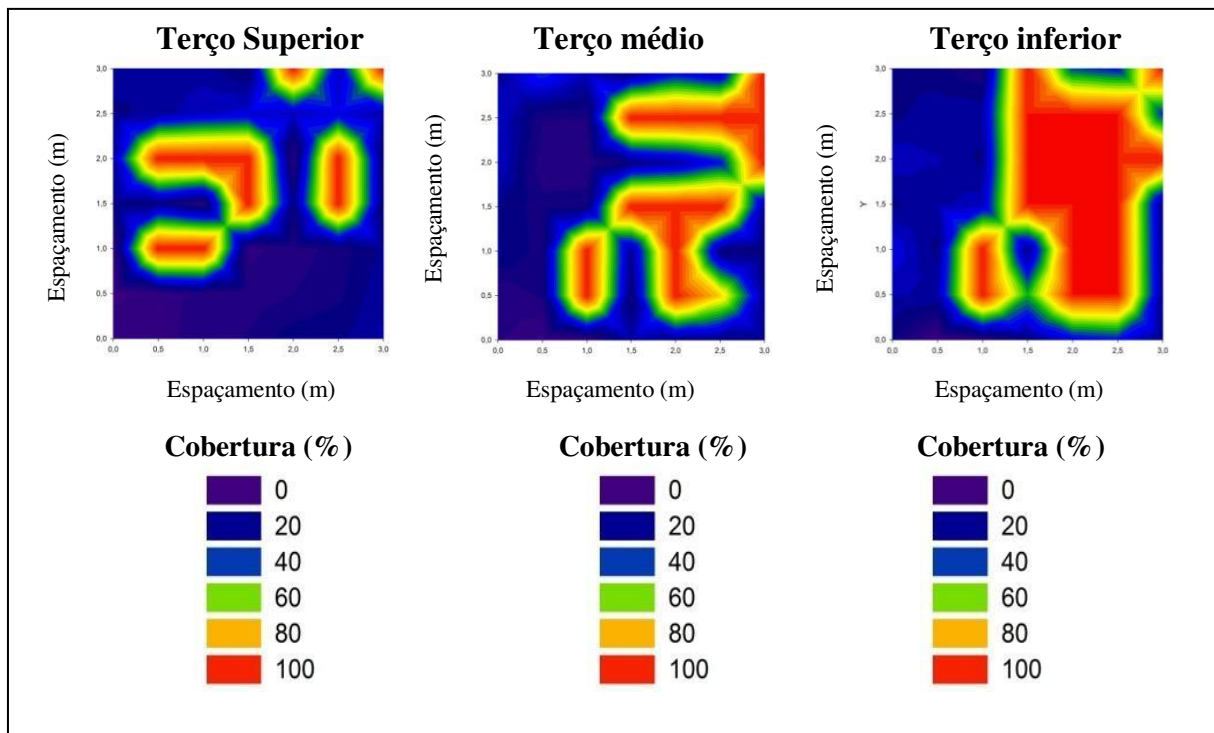


Figura 42– Cobertura média proporcionada por 6 pontas nebulizadoras, vazão de $0,0394 \text{ L min}^{-1}$, espaçamento de $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ e no tempo 120 seg

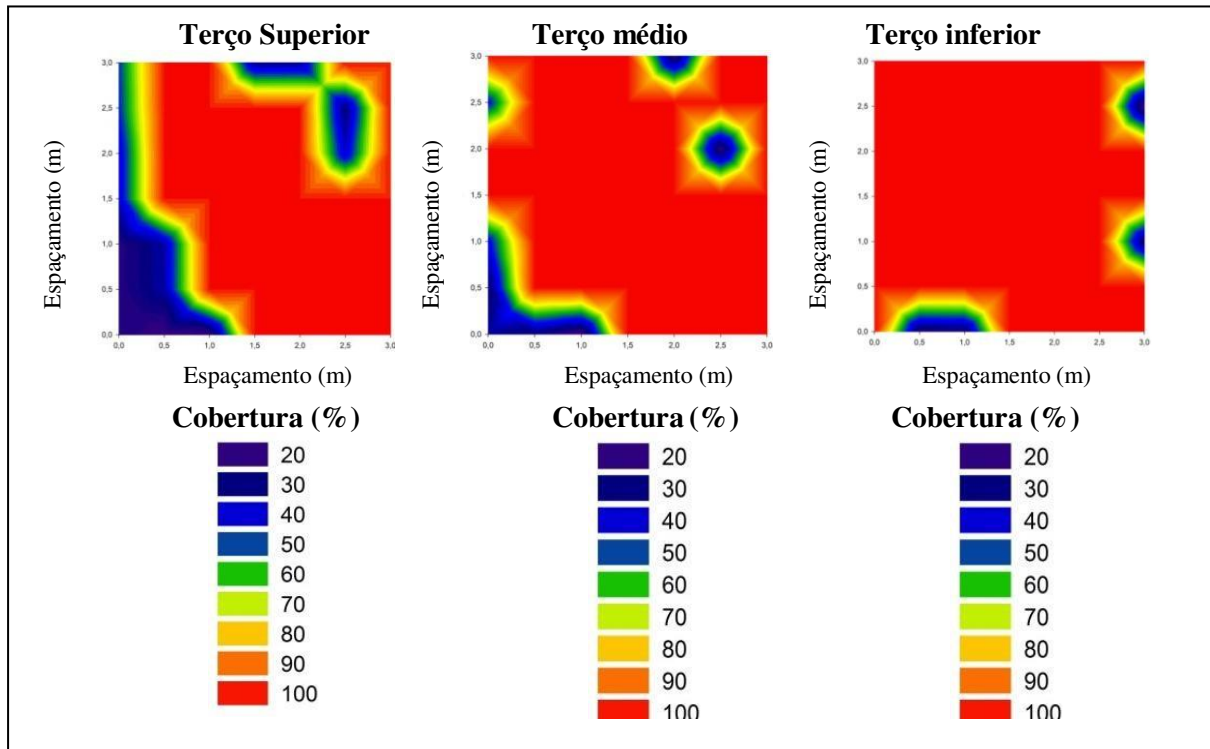


Figura 43 – Cobertura média proporcionada por uma ponta nebulizadora, vazão de $0,0400 \text{ L min}^{-1}$, no espaçamento de $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ e no tempo de 30 seg

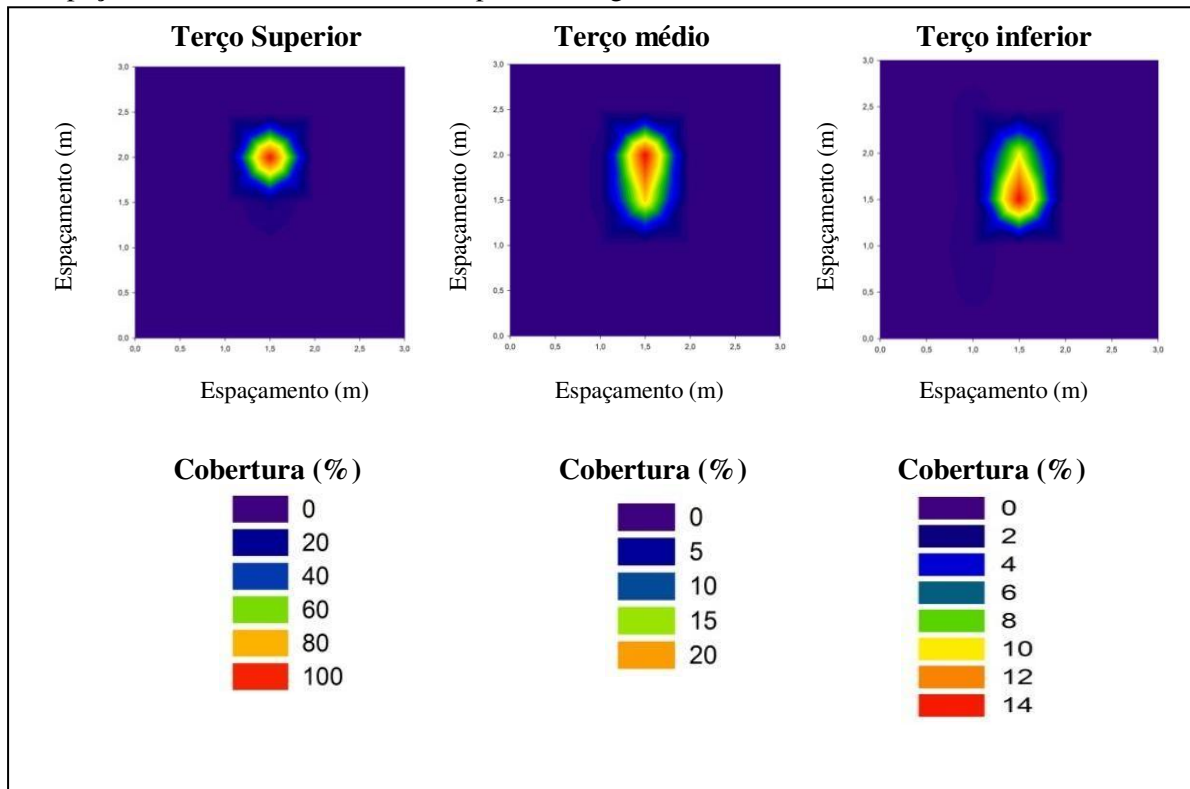


Figura 44 – Cobertura média proporcionada por uma ponta nebulizadora, vazão de $0,0400 \text{ L min}^{-1}$, no espaçamento de $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ e no tempo de 60 seg

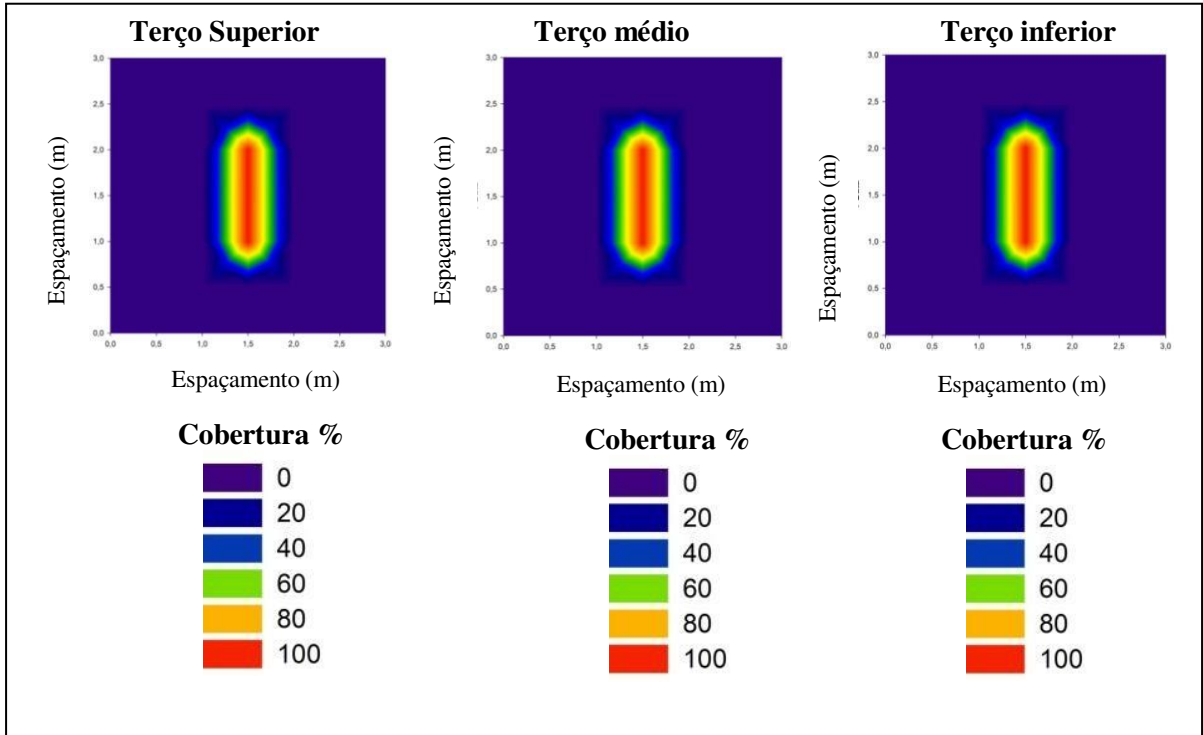


Figura 45 – Cobertura média proporcionada por uma ponta nebulizadora, vazão de $0,0400 \text{ L min}^{-1}$, no espaçamento de $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ e no tempo de 90 seg

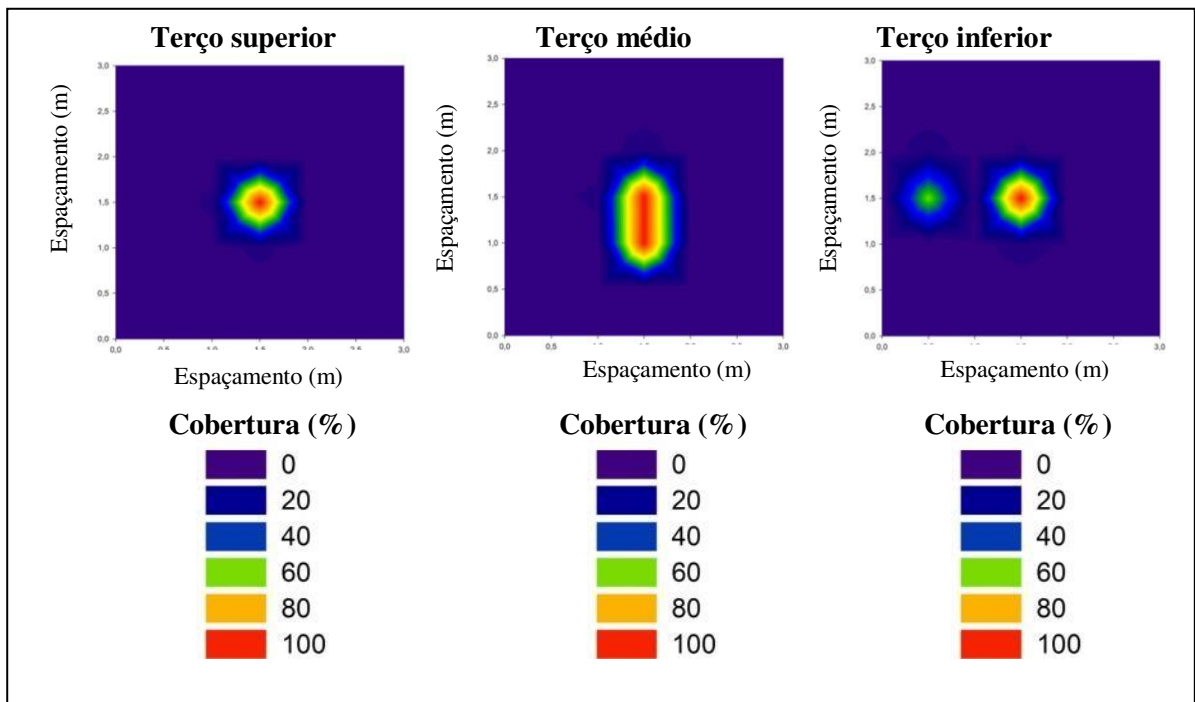
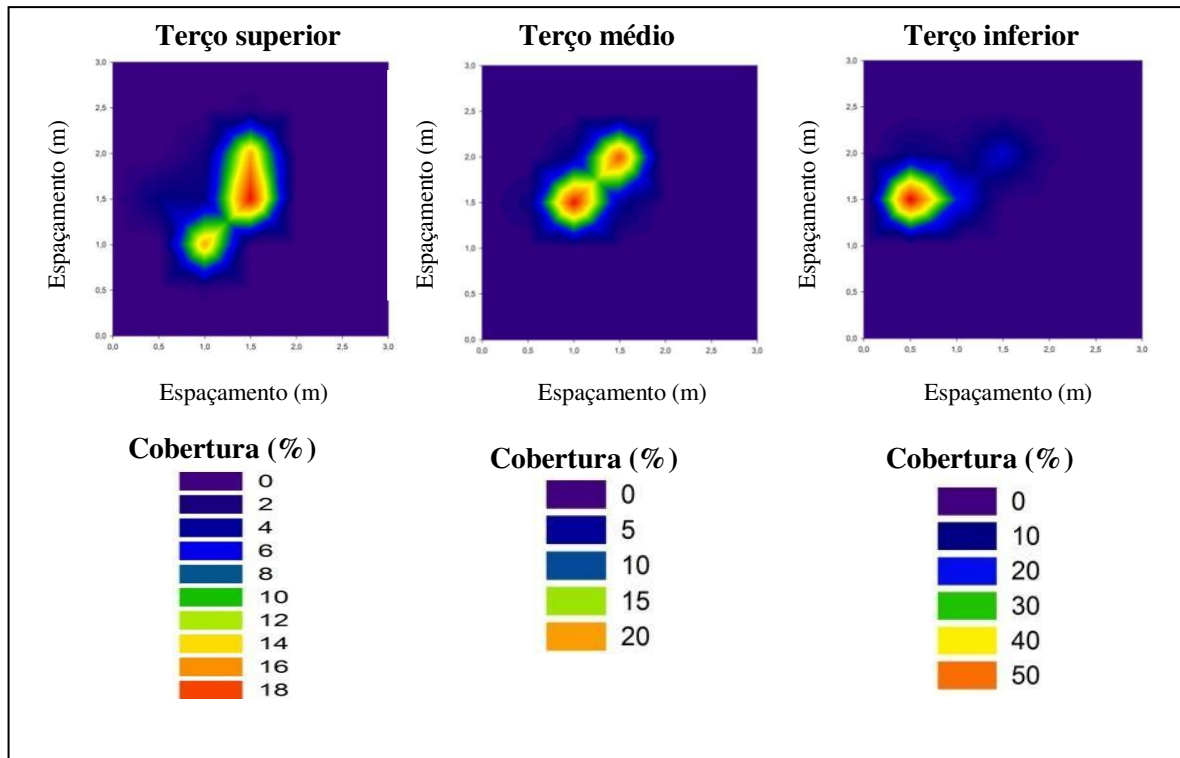


Figura 46 – Cobertura média proporcionada por uma ponta nebulizadora, vazão de $0,0400 \text{ L min}^{-1}$, no espaçamento de $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ e no tempo de 120 seg



Os resultados indicaram que a distância, entre emissores, alteram os valores do coeficiente de variação da distribuição de líquidos proporcionada pelos emissores. Quanto maior a distância entre as pontas emissoras, menor foi a cobertura e maior coeficiente de variação.

A cobertura proporcionada pela nebulização alterou de acordo com os espaçamentos e volumes pulverizados, mostrando que o espaçamento 0,5 m entre pontas nebulizadoras proporcionou uma maior cobertura na casa de vegetação, conseqüentemente um menor coeficiente de variação. O espaçamento de 1,5 m entre pontas propiciou menores coberturas na casa de vegetação, independente do volume aplicado, considerando-se os valores de $0,0007$ a $0,0029 \text{ L m}^{-3}$ de acordo com os tempos de pulverização (30, 60, 90 e 120s).

Com o espaçamento de 1,5 m entre pontas, não foi possível obter uma distribuição de líquido homogênea, uma vez que o líquido ficou concentrado em sua maioria na parte central da casa de vegetação, onde estava fixada a ponta nebulizadora.

Para realizar os testes de eficiência da pulverização no tomateiro (cobertura e deposição), foram utilizadas as combinações de tempo e distância entre pontas que promoveram os resultados com maior cobertura neste ensaio. Observou-se que, a distância de

1,5 m entre pontas apresentou áreas sem coberturas (Figura 43, 44, 45 e 46), por esse motivo não se utiliza a distância de 1,5 m entre pontas para os ensaios de eficiência no tomateiro, visto que essa distância entre pontas não proporcionou uma cobertura eficiente para a casa de vegetação de 27 m³. O mesmo resultado foi constatado por Sánchez-Hermosilla et al. (2013), no qual utilizou um espaçamento de 2m entre bocais.

4.7 Eficiência da nebulização na casa de vegetação para a cultura do tomateiro

O desenvolvimento de novas tecnologias de aplicação de produtos fitossanitários visa à redução da contaminação ambiental, da deriva, do volume de calda, com aumento da segurança do aplicador e melhoria da deposição da calda, para melhor qualidade da pulverização.

4.7.1 Porcentagem de cobertura das nebulizações

Nos Quadros 4 e 5 são observadas as médias de interação para a porcentagem de cobertura entre o tempo e os terços das plantas. No Quadro 4 observam-se as médias de interação para cobertura entre os tempos e os terços das plantas no espaçamento de 0,5 m entre pontas.

Quadro 4 - Valores médios de cobertura (%), utilizando o espaçamento de 0,5 m x 0,5 m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo (s) e terço da planta

Tempo (s)	VP (L m ⁻³)	Terço da Planta		
		Superior	Médio	Inferior
30	0,0131	59,73 C	70,56 B	77,33 A
60	0,0262	94,99 A	98,45 A	100 A
90	0,0393	100 A	100 A	100 A
120	0,0524	100 A	100 A	100 A

As médias seguidas de , pelo menos, uma letra maiúscula na linha 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) para os diferentes volumes pulverizados, observou-se que o único tratamento que apresentou diferença significativa entre os terços foi o tempo de 30 segundos, que aplicou 0,0131 L m⁻³.

Nesse tratamento o terço superior obteve menor porcentagem de área coberta, seguido pelo terço médio e inferior. As coberturas nesse tratamento variaram de 59,73% a 77,33%.

Observa-se no Quadro 4, que as aplicações realizadas em 60, 90 e 120 segundos não apresentaram diferenças significativas entre os terços das plantas. Nesses tratamentos as médias de coberturas variaram de 94,99% a 100%. A alta cobertura é característica do sistema de nebulização e pode ser associada ao diâmetro reduzido das mesmas.

No Quadro 5, encontram-se as médias de interação para cobertura entre os volumes pulverizados e os terços das plantas no espaçamento de 1,0 m entre pontas.

Quadro 5 - Valores médios de cobertura (%), utilizando o espaçamento de 1,0 m x 1,0 m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo (s) e terço da planta

Tempo (s)	VP (L m ⁻³)	Terço da Planta		
		Superior	Médio	Inferior
30	0,0043	6,64 A	7,06 A	8,47 A
60	0,0087	13,19 B	20,11 AB	21,30 A
90	0,0131	33,51 C	41,25 B	51,33 A
120	0,0175	75,53 B	87,59 A	93,60 A

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

Ao analisar a interação entre os volumes de pulverização e os terços das plantas, observa-se no Quadro 5 que não houve diferença estatística, apenas, no tempo de 30 segundos. Nesse tratamento o volume pulverizado foi de 0,0043 L m⁻³, variando a cobertura em 6,64 a 8,47%.

Já os volumes pulverizados nos tempos de 60, 90 e 120s, com espaçamento entre pontas de 1 m (Quadro 5), observa-se que pelo menos um terço das plantas diferiram estatisticamente dos demais terços e às médias de coberturas foram maiores nos terços inferiores dos tratamentos, variando de 21,3 a 93,60%.

Observa-se nos Quadros 4 e 5 que os volumes pulverizados de 0,0131 L m⁻³ nos espaçamentos de 0,5 e 1,0 m , diminuíram a cobertura na planta em média de 69,20% para 42,03%. Diante disso, pode-se afirmar que o aumento do espaçamento entre pontas de 0,5 m para 1,0 m influenciou diretamente na redução da cobertura nos terços das plantas.

Analisando-se os resultados é possível perceber ainda que, de maneira geral, o espaçamento de 0,5 m entre pontas nebulizadoras nos proporcionou um desempenho superior aos demais espaçamentos. Esse espaçamento de 0,5 m entre pontas nebulizadoras e o volume

de pulverização de $0,0393 \text{ L m}^{-3}$, proporcionou 100% de cobertura em todos terços das plantas, considerando-se eficiente para o tratamento e controle da cultura do tomateiro em casa de vegetação.

A seguir, são apresentados os gráficos de regressão linear com suas respectivas equações, seguidos pelas médias de cobertura de acordo com o tempo de pulverização (Figura 47 e 48).

Observou-se na Figura 47, que a cobertura foi aumentando conforme o tempo de aplicação fosse aumentando e conseqüentemente o volume de aplicação. Acima de 90 s de pulverização a cobertura permanece constante em 100% no espaçamento de 0,5m.

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 pulverizado. O uso de pontas nebulizadoras que produzem pequenas gotas possibilitou uma cobertura eficiente mesmo com baixo volume de pulverização, o mesmo foi constatado por Gamliel (2010).

Figura 47– Análises de Regressão da cobertura considerando o ensaio realizado com o espaçamento de 0,5 x 05 m entre pontas nebulizadoras

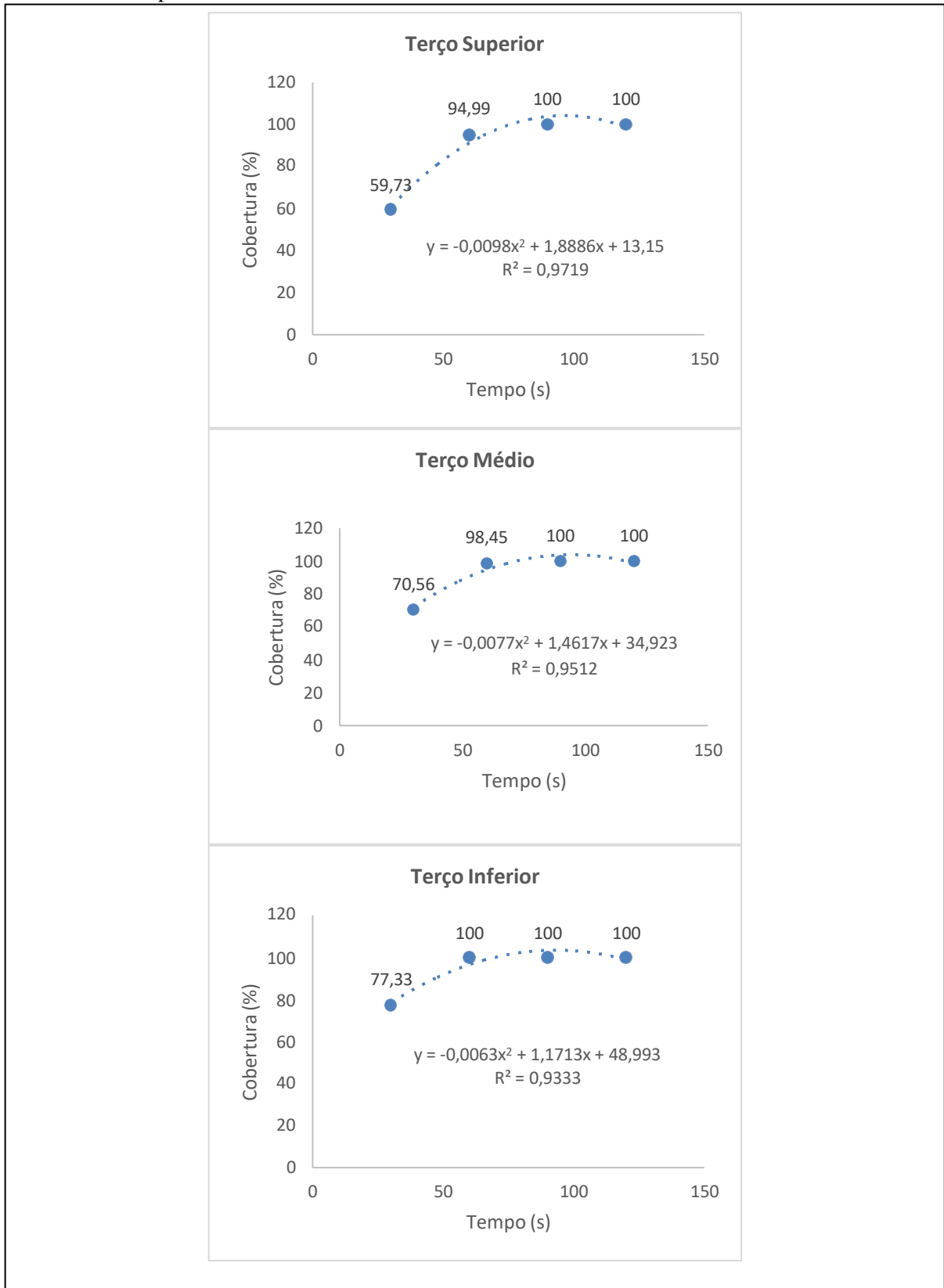
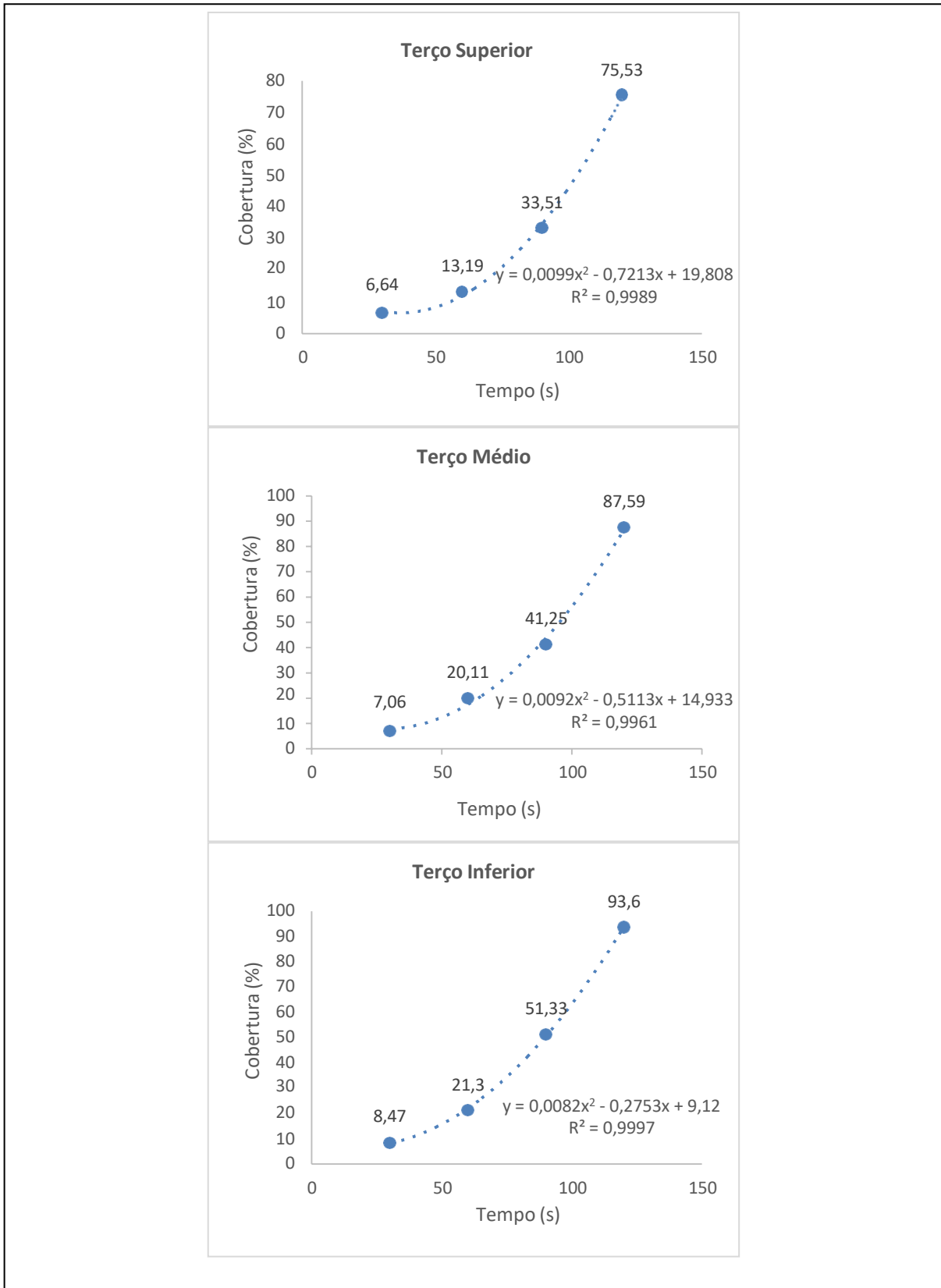


Figura 48—Análises de Regressão da cobertura considerando o ensaio realizado com o espaçamento de 1,0 x 1,0 m entre pontas nebulizadoras

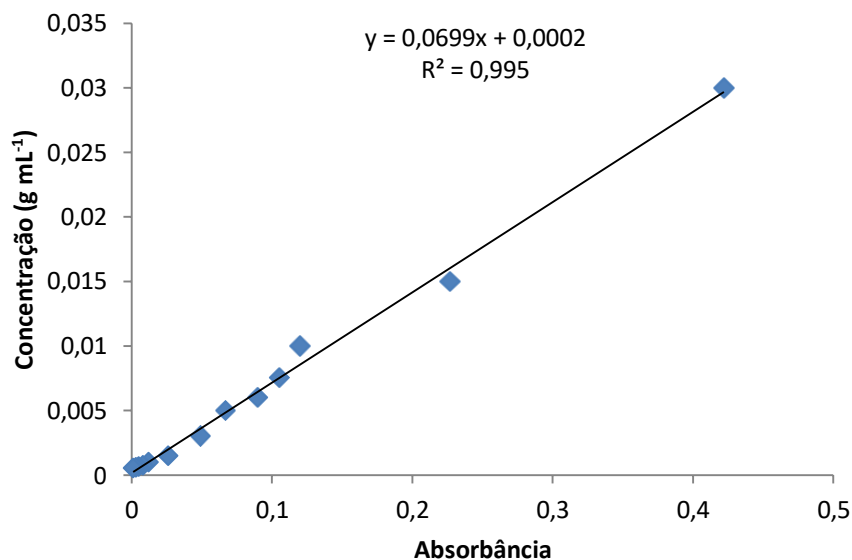


Observou-se na Figura 48, que a cobertura também aumentou de acordo com o aumento do tempo de pulverização, porém nesse espaçamento entre pontas nebulizadoras (1,0m), a cobertura não permaneceu constante quando o tempo de pulverização foi maior ou igual a 90s. Pode-se observar que os valores não atingiram 100% em nenhum dos volumes aplicados nesse espaçamento de 1,0 m.

4.7.2 Deposição da calda nas folhas do tomateiro

Para determinar a concentração (g mL^{-1}) depositada de gotas e, posteriormente, a deposição de líquido nas folhas do tomateiro, foi elaborada uma 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 46).

Figura 49– Calibração do traçador em solução padrão da calda aplicada.



Nos Quadros 6, 7 e 8, estão demonstrados os resultados das deposições de líquido encontrados nas folhas analisadas, empregando-se o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para os tempos utilizados na aplicação, nos terços e nas profundidades dos dosséis das plantas no espaçamento de 0,5 m entre pontas.

Quadro 6- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço superior, utilizando o espaçamento de 0,5m x 0,5m entre pontas, para as respectivas combinações de terço e profundidade

Tempo	VP	Terço Superior		
		Externa	Mediana	Interna
(s)	(L m ⁻³)			
30	0,0131	0,0489 A	0,0353 A	0,0351 A
60	0,0262	0,0331 A	0,0460 A	0,0380 A
90	0,0393	0,0414 A	0,0661 A	0,0661 A
120	0,0524	0,0573 A	0,0661 A	0,0726 A

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

Quadro 7- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço médio, utilizando o espaçamento de 0,5m x 0,5m entre pontas, para as respectivas combinações de terço e profundidade

Tempo	VP	Terço Médio		
		Externa	Mediana	Interna
(s)	(L m ⁻³)			
30	0,0131	0,0263 A	0,0335 A	0,0266 A
60	0,0262	0,0303 A	0,0265 A	0,0254 A
90	0,0393	0,0414 A	0,0661 A	0,0661 A
120	0,0524	0,0572 A	0,0663 A	0,0550 A

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

Quadro 8- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço inferior, utilizando o espaçamento de 0,5m x 0,5m entre pontas, para as respectivas combinações de terço e profundidade

Tempo	VP	Terço Inferior		
		Externa	Mediana	Interna
(s)	(L m ⁻³)			
30	0,0131	0,0344 A	0,0434 A	0,0433 A
60	0,0262	0,0265 A	0,0258 A	0,0267 A
90	0,0393	0,0292 A	0,0404 A	0,0367 A
120	0,0524	0,0458 A	0,0661 A	0,0488 A

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

Os resultados indicaram que não houve diferença estatística entre as profundidades de cada terço da planta, independente do volume aplicado. As deposições foram iguais no espaçamento de 0,5 m entre pontas. Esse fato comprova que barra de pulverização horizontal

instalada no teto da casa de vegetação, com as vinte pontas espaçadas entre si com 0,5 m, faz com que a pulverização seja distribuída de maneira mais uniforme em todo o dossel da planta.

Nos Quadros 9, 10 e 11, observam-se os resultados das deposições de líquido nas folhas analisadas empregando-se o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade para os tempos utilizados na aplicação, os terços e as profundidades dos dosséis das plantas no espaçamento de 1,0 m entre pontas.

Quadro 9- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço superior, utilizando o espaçamento de 1,0m x 1,0m entre pontas, para as respectivas combinações de terço e profundidade

Tempo	VP	Terço Superior		
		Externa	Mediana	Interna
(s)	(L m⁻³)			
30	0,0043	0,0173 A	0,0131 A	0,0283 A
60	0,0087	0,0579 B	0,1029 A	0,0501 B
90	0,0131	0,0198 A	0,0294 A	0,0234 A
120	0,0175	0,0730 A	0,0488 A	0,0315 A

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

Quadro 10- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço médio, utilizando o espaçamento de 1,0m x 1,0m entre pontas, para as respectivas combinações de terço e profundidade

Tempo	VP	Terço Médio		
		Externa	Mediana	Interna
(s)	(L m⁻³)			
30	0,0043	0,0210 A	0,0169 A	0,0110 A
60	0,0087	0,0290 A	0,0346 A	0,0220 A
90	0,0131	0,0183 A	0,0202 A	0,0183 A
120	0,0175	0,0351 A	0,0523 A	0,0369 A

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

Quadro 11- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) no terço inferior, utilizando o espaçamento de 1,0m x 1,0m entre pontas, para as respectivas combinações de terço e profundidade

Tempo	VP	Terço Inferior		
		Externa	Mediana	Interna
(s)	(L m⁻³)			
30	0,0043	0,0149 A	0,0148 A	0,0095 A
60	0,0087	0,0306 A	0,0280 A	0,0237 A
90	0,0131	0,0266 A	0,0465 A	0,0263 A
120	0,0175	0,0182 A	0,0231 A	0,0230 A

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

Ao se realizar o estudo da deposição (Quadro 9), no espaçamento entre pontas de 1,0 m considerando todos os fatores (tempo, terço e profundidade), houve interação somente no terço superior do dossel. Observa-se que o volume pulverizado de 0,0087 L m⁻³ apresentou uma cobertura inferior, de 0,1029 μLcm^{-2} na profundidade mediana, diferindo-se estatisticamente das profundidades externas e internas da planta.

Observou-se que, com o aumento do espaçamento entre pontas, houve diminuição da deposição, concordando com os resultados relatados por Olivet et al. (2011), Usera et al. (2002) e Wygoda e Rietz (1996) .

Já nos Quadros 12, 13 e 14 observam-se os resultados das deposições de líquido nas folhas analisados empregando-se o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade para os tempos utilizados na aplicação, as profundidades dos dosseis e os terços das plantas no espaçamento de 0,5 m entre pontas.

Quadro 12- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) na profundidade externa do dossel das plantas, utilizando o espaçamento de 0,5m x 0,5m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo e terço

Tempo	VP	Profundidade Externa		
		Superior	Médio	Inferior
(s)	(L m ⁻³)			
30	0,0131	0,0489 A	0,0263 A	0,0344 A
60	0,0262	0,0331 A	0,0303 A	0,0265 A
90	0,0393	0,0414 A	0,0419 A	0,0292 A
120	0,0524	0,0573 A	0,0572 A	0,0458 A

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

Quadro 13- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) na profundidade mediana do dossel das plantas, utilizando o espaçamento de 0,5m x 0,5m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo e terço

Tempo	VP	Profundidade Mediana		
		Superior	Médio	Inferior
(s)	(L m ⁻³)			
30	0,0131	0,0353 A	0,0335 A	0,0434 A
60	0,0262	0,0460 A	0,0265 A	0,0258 A
90	0,0393	0,0661 A	0,0404 AB	0,0258 B
120	0,0524	0,0661 A	0,0663 A	0,0661 A

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

Quadro 14- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) na profundidade interna do dossel das plantas, utilizando o espaçamento de 0,5m x 0,5m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo e terço

Tempo	VP	Profundidade Interna		
		Superior	Médio	Inferior
(s)	(L m ⁻³)			
30	0,0131	0,0351 A	0,0266 A	0,0433 A
60	0,0262	0,0380 A	0,0254 A	0,0267 A
90	0,0393	0,0661 A	0,0362 B	0,0367 B
120	0,0524	0,0726 A	0,0550 A	0,0488 A

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

Observam-se no Quadro 12 que, as deposições na profundidade externa dos terços superior, médio e inferior foram estatisticamente iguais para o espaçamento de 0,5 m entre pontas. Já na profundidade mediana e interna do dossel obteve-se uma diferença significativa no tempo de aplicação de 90 segundos. As maiores deposições foram na parte superior do dossel nesse tratamento. Isso pode ser devido à proximidade do terço superior com a ponta, outra explicação seria a baixa densidade de folhas nessa região do dossel, fazendo com que a calda depositasse nos alvos mais expostos, sendo assim responsáveis pelo maior acúmulo no terço superior da planta.

Já nos Quadros 15, 16 e 17, são observados às médias de interação para deposição de calda entre as profundidades e os terços das plantas no espaçamento de 1,0 m entre pontas.

Quadro 15- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) na profundidade externa, utilizando o espaçamento de 1,0m x 1,0m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo e terço

Tempo (s)	VP (L m^{-3})	Profundidade Externa		
		Superior	Médio	Inferior
30	0,0043	0,0173 A	0,0210 A	0,0149 A
60	0,0087	0,0579 A	0,0290 A	0,0306 A
90	0,0131	0,0198 A	0,0183A	0,0266 A
120	0,0175	0,0730 A	0,0351 AB	0,0182 B

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

Quadro 16. Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) na profundidade mediana, utilizando o espaçamento de 1,0m x 1,0m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo e terço

Tempo (s)	VP (L m^{-3})	Profundidade Mediana		
		Superior	Médio	Inferior
30	0,0043	0,0131 A	0,0169 A	0,0095 A
60	0,0087	0,1029 A	0,0346 B	0,0280 B
90	0,0131	0,0294 A	0,0202 A	0,0265 A
120	0,0175	0,0488 A	0,0523 A	0,0231 A

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

Quadro 17- Valores médios de deposição ($\mu\text{L cm}^{-2}$) na profundidade interna, utilizando o espaçamento de 1,0m x 1,0m entre pontas, para as respectivas combinações de tempo e terço

Tempo	VP	Profundidade Interna		
		Superior	Médio	Inferior
(s)	(L m⁻³)			
30	0,0043	0,0283 A	0,0110 A	0,0148 A
60	0,0087	0,0501 A	0,0237 A	0,0220 A
90	0,0131	0,0234 A	0,0183 A	0,0263 A
120	0,0175	0,0315 A	0,0369 A	0,0230 A

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

Para a deposição nos terços da planta, superior, médio e inferior, de acordo com a profundidade no dossel, no espaçamento de 1,0 m entre pontas, observou-se diferença estatística no tempo de 120 segundos na profundidade externa e no tempo de 60 segundos na profundidade mediana. As diferenças estatísticas entre os terços podem ser justificadas pela arquitetura da planta.

Os resultados deste ensaio demonstram que não houve diferenças estatísticas nos quatro tempos avaliados na profundidade interna (Quadro 17). Em referência aos resultados adquiridos na pulverização com o nebulizador, pode-se afirmar que esse equipamento nos proporciona uma taxa de deposição eficiente para o tratamento de culturas do tomateiro em casa de vegetação.

Austerweil et al. (2000) determinaram a eficácia de um nebulizador à frio na distribuição e deposição de produtos fitossanitários em rosas, pimentas e tomates cultivados em estufas. Ele não encontrou diferenças na deposição das superfícies superiores e inferiores das rosas.

Cervera (2012) relatou resultados diferentes, segundo ele o nebulizador, não é adequado para aplicação de produtos fitossanitários, pois apresenta depósitos extremamente pequenos na cultura e requer uma quantidade excessiva de água. Cervera (2012) variou a pressão de 3 a 4 bar, conseqüentemente a vazão de 0,059 a 0,086 L min⁻¹ e não obteve resultados satisfatórios. Isso pode ser devido ao tipo de nebulizador utilizado, a baixa pressão, e o espaçamento entre pontas de 2 m, sendo considerado através dos nossos resultados um espaçamento alto para aplicações em casa de vegetação.

Uma característica importante que se observou no presente trabalho é com relação ao espaçamento entre pontas, ele está ligado diretamente a eficiência da aplicação. A diminuição

na deposição foi observada mais claramente com o aumento da distância linear entre as pontas de pulverização. Quanto menor o espaçamento utilizado entre pontas maior foi a porcentagem de cobertura e deposição de gotas na cultura do tomateiro.

Observaram-se resultados satisfatórios de cobertura e deposição de gotas em toda a planta do tomateiro, utilizando-se o espaçamento de 0,5m. Mesmo quando se utiliza o menor volume de aplicação, $0,0131 \text{ L m}^{-3}$, no espaçamento de 0,5m entre pontas nebulizadoras, o sistema de pulverização por nebulização nos proporcionou resultados satisfatórios em relação a eficiência da aplicação, com uma cobertura em média de 69,20% e deposição de $0,036 \mu\text{L cm}^{-2}$.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados dos ensaios experimentais, pode-se concluir que:

- O sistema de automação empregado na nebulização, permite o registro dos dados, a climatização da casa de vegetação e a aplicação de produtos fitossanitários para o cultivo do tomateiro em casa de vegetação, sem colocar em risco a saúde do trabalhador durante as aplicações;
- O sistema de nebulização aumentou a umidade relativa em média de 18,6% e a temperatura variou de 20,5 a 33,9 ° C no interior da casa de vegetação;
- O perfil de distribuição volumétrica da ponta nebulizadora foi influenciado pelo espaçamento. Quanto maior a distância entre as pontas nebulizadoras menor foi à uniformidade de distribuição do líquido e maior o coeficiente de variação;
- Para o sistema de pulverização, via nebulização, o espaçamento entre pontas deve ter uma uniformidade de distribuição de gotas com um coeficiente de variação abaixo de 5%;
- As pontas nebulizadoras de 0,2mm; rosca10/24UNC, produziram gotas com DMV médio de 39,45 µm, utilizando uma pressão do sistema de 5000 kPa, sendo classificadas como gotas extremamente finas;
- A cobertura proporcionada pela nebulização alterou de acordo com os espaçamentos e volumes pulverizados. A maior cobertura obteve-se no espaçamento de 0,5m entre pontas, alcançando o valor de 100%.
- A distância de 1,5 m entre pontas apresentou áreas sem coberturas nas plantas, por esse motivo não se deve utilizar essa distância para a aplicação de produtos fitossanitários no tomateiro em casa de vegetação de 27 m³; e,
- A deposição de calda na planta foi maior no espaçamento de 0,5 entre pontas nebulizadoras, variando em média de 0,0254 a 0,0726 µL cm⁻². A deposição aumentou de acordo com o aumento do volume pulverizado, e não apresentou diferenças significativas nos terços das plantas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-GHANY, A. M., GOTO, E., & KOZAI, T. Evaporation characteristics in a naturally ventilated, fog-cooled greenhouse. **Renewable energy**, v. 31, n. 14, p. 2207-2226, 2006.
- ABDEL-GHANY, A. M. Solar energy conversions in the greenhouses. *Sustainable Cities and Society*, v.1, n.4, p.219- 226, 2011.
- ADAMS, S. R., COCKSHULL, K. E., & CAVE, C. R. J. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. **Annals of Botany**, v. 88, n.5, p. 869–877, 2001.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: www.anvisa.gov.br. Acesso em: 10 fev. 2019.
- AGROSOL EXPORT. Almeria, terra dos agricultores. **Blog Agrosol**. Espanha, 21 de Dezembro 2016. Disponível em: <<https://www.agrosolexport.com/almeria-tierra-agricultores/>>. Acessado em : 08/11/2017.
- AKISHIMA, N.; CARRIJO, O. A. **Cultivo Protegido do Tomateiro**. Brasília: Embrapa hortaliças, 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Spray nozzle classification by droplet spectra – ANSI/ASAE S572.1**. St. Joseph, 4P. 2009.
- AUSTERWEIL, M., GAMLIEL, A., STEINER, B., RIVEN, Y., & ZILBERG, V. APPROACHES to evaluating the performance of air-assisted pesticide application equipment in greenhouses. **Aspects of Applied Biology**, n. 57, p. 391-398, 2000.
- AZIMI, A. H., CARPENTER, T. G., & REICHARD, D. L. Nozzle spray distribution for pesticide application. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 5, p. 1410-1414, 1985.
- BAIO, F.H.R., GABRIEL, R.R.F., & CAMOLESE, H.S. Alteração das propriedades físicoquímicas na aplicação contendo adjuvantes. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v.9, n.2, p.151-161, 2015.
- BAJER, L., & KREJCAR, O. Design and realization of low cost control for greenhouse environment with remote control. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 4, p. 368-373, 2015.
- BAPTISTA, F. D. J. F. **Modelling the climate in unheated tomato greenhouses and predicting Botrytis cinerea infection**. Tese de Doutorado. Universidade de Evora (Portugal). 2007.
- BELHADI, A., MEHENNI, M., REGUIEG, L., & YAKHLEF, H. Aïssa et al. Potential risks to human health and the environment of the pest-control practices of greenhouse farmers in the Algerian Pre-Sahara. **Environnement, Risques & Santé**, v. 15, n. 3, p. 219-227, 2016.

BOTTEGA, L. D., & DE SOUZA, S. N. M. Análise da Eficiência de Um Sistema de Resfriamento Evaporativo para a Cidade de Cascavel-Pr. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 3, 2015.

BRAGA, M. O comportamento de compra de produtos orgânicos: Uma reflexão sobre o perfil dos consumidores através da comparação entre faixas etárias e níveis de renda familiar—uma abordagem estatística. **Qualis Sumaré-Revista Acadêmica Eletrônica**, 2016.

CAMARGO, J. R. Resfriamento evaporativo: poupando a energia e o meio ambiente. **Revista ciências exatas**, Taubaté, v.9/10, n.1-2, p.69-75, 2004.

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

CANIZARES, K. A., GOTO, R. Crescimento e produção de híbridos de pepino em função da enxertia. **Horticultura brasileira**, v. 16, n. 2, p. 110-113, 1998.

CERVERA, V. J. **Análisis y evaluación de las técnicas de aplicación de productos fitosanitarios en cultivos de tomate bajo invernadero**. Universidad Almería, 2012.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. **Fungicides, an advanced treatise**, v. 1, p. 239-286, 1967.

CUCE, P. M., & RIFFAT, S. A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1240-1249, 2016.

CUNHA, J. P. A. R. D., TEIXEIRA, M. M., & VIEIRA, R. F. Evaluation of hydraulic spray nozzles for fungicide application on common beans. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1069-1074, 2005.

DA CUNHA, K. C. B., & DA ROCHA, R. V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 1, n. 2, p. 62-74, 2016.

DE ALVARENGA, C. B., TEIXEIRA, M. M., ZOLNIER, S., CECON, P. R., DE SIQUEIRA, D. L., RODRIGUÊS, D. E., ... & RINALDI, P. C. N. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, 2014.

DE ANDRADE SOUZA, A., GRIGIO, M. L., DO NASCIMENTO, C. R., DA SILVA, A. D. C. D., DO REGO, E. R., & DO REGO, M. M. Caracterização química e física de frutos de diferentes acessos de tomateiro em casa de vegetação. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 113-118, 2011.

DE MELO, P. C. T., TAMISO, L. G., AMBROSANO, E. J., SCHAMMASS, E. A., INOMOTO, M. M., SASAKI, M. E., & ROSSI, F. Desempenho de cultivares de tomateiro em sistema orgânico sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 553-559, 2009.

DE SOUSA, A. V., DA ROCHA, R. V. O uso da automação para aprimorar o cultivo do pequeno produtor. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 6, n. 1, p. 20-41, 2020.

DORAIS, M.; PAPADOPOULOS, A. P.; GOSSELIN, A. Greenhouse Tomato Fruit Quality. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Ed.). *Horticultural Reviews*. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc. 26p. 239–319, 2010.

_____. **Embrapa apresenta cultivares de tomate com elevada produtividade e alto valor agregado na Afubra 2018**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-denoticias/-/noticia/32600557/embrapa-apresenta-cultivares-de-tomate-com-elevadaprodutividade-e-alto-valor-agregado-na-afubra-2018>>. Acessado em: 03 de fev. 2019

EMBRAPA HORTALIÇAS. *Sistemas de Produção*, 1 - 2ª Edição. Cultivo de tomate para industrialização. Versão eletrônica Dez./ 2006. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/clima.htm>. Acesso em: 01 mar. 2021.

EUROPEAN STANDARD. EN12761-2: Agricultural and forestry machinery. Sprayers and liquid fertilizer distributors. **Environmental protection**. Part 2: Field crop sprayers. Brussels, 18p. 2001.

FERREIRA, M. C. **Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em cana-de-açúcar**. In: *Atualização em produção de cana-de-açúcar*, v. 1, p. 293-303. 2006.

FERREIRA, B. O., OKABE, A. M. S., DA SILVA, A. J. C., DE ALMEIDA, J. F. S., & CHASE, O. A. Irrigação automatizada com plataforma Arduino em casa de vegetação na Universidade Federal Rural da Amazônia. In: **CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA (CONTECC)**. p. 1-5. 2016.

FERREIRA, A. S.; BRAGANÇA COELHO, A. O Papel dos Preços e do Dispendio no Consumo de Alimentos Orgânicos e Convencionais no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 55, n. 4, p.625-640, 2017.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION - FAO. **FAO Statistical Yearbook**. New York, 2019. Disponível em: www.fao.com. Acesso em: 25 jun. 2019.

FONSECA, F. A. D., & SCHMITZ, L. Sistema microcontrolado para estufas. 2017. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GAMLIEL, A., RIVEN, Y., STEINER, B., & BENICHES, M. Improved sprayer performance in trailed pepper crops in the greenhouse. **Aspects of Applied Biology**, n. 99, p. 171-178, 2010.

GAMLIEL, A.; VAN BRUGGEN, A. H. C. Maintaining soil health for crop production in organic greenhouses. **Scientia Horticulturae**, v. 208, p. 120-130, 2016.

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: Canopy deposition and off-target losses. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.599, n.1, p.1344-1362, 2017.

GÁZQUEZ, JOSE A.; CASTELLANO, NURIA N.; MANZANO-AGUGLIARO, FRANCISCO. Intelligent low cost telecontrol system for agricultural vehicles in harmful environments. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 204-215, 2016.

GHOULEM, M., EL MOUEDDEB, K., NEHDI, E., BOUKHANOUF, R., & CALAUTIT, J. K. Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. **Biosystems Engineering**, v. 183, p. 121-150, 2019.

GRUDA, N. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. **Critical reviews in plant sciences**, v. 24, n. 3, p. 227-247, 2005.

GUAZZELLI, M. T. **Pulverizador pneumático autopropelido controlado e monitorado à distância empregado no tratamento fitossanitário de tomateiro**. Projeto de pesquisa (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, 1-25p. 2017.

GUEDES, B. C., & DE SOUSA, G. F. V. Estufa agrícola automatizada utilizando micro controlador arduíno e comunicação serial. **XIV CEEL- ISSN2178-8308**- Universidade Federal de Uberlândia- UFU- Minas Gerais- 5p. 03 a 07 de Outubro 2016.

HAND, D. W. EFFECTS OF ATMOSPHERIC HUMIDITY ON GREENHOUSE CROPS. *Acta Horticulturae*, n. 229, p. 143–158, dez. 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatística da produção pecuária**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 02 abr. 2019.

ITE. Fog System. Disponível em: <http://www.ensis.net/htm>. Acesso em: 02 de abril de 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 5682-1: Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 1: test methods for sprayer nozzles. Geneva, 5p. 1996.

KATSOULAS, N., KITTA, E., KITTAS, C., TSIROGIANNIS, I. L., STAMATI, E., & SAYVAS, D. Greenhouse cooling by a fog system: Effects on microclimate and on production and quality of a soilless pepper crop. In: **International Symposium on Greenhouse Cooling 719**. p. 455-462. 2006.

KATSOULAS, N.; KITTAS, C. Impact of greenhouse microclimate on plant growth and development with special reference to the Solanaceae. **The European Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 2, n. 1, p. 45–61, 2008.

KATSOULAS, N.; KITTAS, C.; BARTZANAS, T. Microclimate distribution in a greenhouse cooled by a Fog system. In: **XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 927**. p. 773-778, 2010.

KATSOULAS, N., SAPOUNAS, A., DE ZWART, F., DIELEMAN, J. A., & STANGHELLINI, C. Reducing ventilation requirements in semi-closed greenhouses increases water use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 156, p. 90-99, 2015.

KITTAS, C., & BARTZANAS, T. Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations. **Building and Environment**, v. 42, n. 10, p. 3774-3784, 2007.

KITTAS, C., KATSOULAS, N., BARTZANAS, T., & BAKKER, J. C. Greenhouse climate control and energy use. In: **Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas**. p. 63-95. 2013.

KOLCENTI, C., ZARPELON, M. C., BALESTRIN, D., & TORTELLI, L. Desenvolvimento sustentável no uso das tecnologias para juventude rural. In: **Simpósio Internacional De Inovação E Sustentabilidade (S2is), 2. Simpósio Intenacional De Gestão De Projetos, (SigeP), 3.**, São Paulo: Editora S2IS, SIGEP, p. 1-9. 2014.

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

LAW, S. EDWARD. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century. **Journal of Electrostatics**, v. 51, p. 25-42, 2001.

LI, S., WILLITS, D. H., & YUNKER, C. Experimental Study of Fogging System in Naturally Ventilated Greenhouses. In: **2005 ASAE Annual Meeting**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1. 2005.

LI, S.; WILLITS, D. H. Comparing low-pressure and high-pressure fogging systems in naturally ventilated greenhouses. **Biosystems Engineering**, v. 101, n. 1, p. 69-77, 2008.

LINKER, RAPHAEL; KACIRA, MURAT; ARBEL, AVRAHAM. Robust climate control of a greenhouse equipped with variable-speed fans and a variable-pressure fogging system. **Biosystems engineering**, v. 110, n. 2, p. 153-167, 2011.

LI, Y., LI, Y., PAN, X., LI, Q. X., CHEN, R., LI, X., ... & 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**, v. 74, n. 2, p. 448-455, 2018.

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**, v. 72, n. 3, p. 505-516, 2016.

MABBETT, T. Cold fogging is answer to pest and disease control in greenhouses. **International pest control**, v. 43, n. 6, p. 236-237, 2001.

MACIEL, C. F. S., TEIXEIRA, M. M., ZOLNIER, S., FERNANDES, H. C., Sprayed liquid loss due to evaporation in different psychrometric conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 244-250, 2017.

MADUREIRA, R. P., RAETANO, C. G., & CAVALIERI, J. D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 180-185, 2015.

MALNERŠIČ, A., DULAR, M., ŠIROK, B., OBERTI, R., & HOČEVAR, M. Close-range air-assisted precision spot-spraying for robotic applications: Aerodynamics and spray coverage analysis. **Biosystems Engineering**, v. 146, p. 216-226, 2016.

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

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. Novatec Editora, 2018.

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

MELO, R., SOUSA, J., SARAIVA, A., & MACEDO FILHO, A. Sistema automático de irrigação de baixo custo. **Encontro Unificado de Computação (ENUCOMP)**, v. 9, p. 01-14, 2016.

NUYTTENS, D., BRAEKMAN, P., WINDEY, S., & SONCK, B. Potential dermal pesticide exposure affected by greenhouse spray application technique. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 65, n. 7, p. 781-790, 2009.

OKABE¹, A. M. D. S., FERREIRA, B. O., DE, A. T., BRANDÃO, O., CHASE, O. A., & DE ALMEIDA, J. F. S Monitoramento da temperatura e umidade relativa em um ambiente para secagem de madeira. 2015.

OMID, M., & SHAFAEI, A. Temperature and relative humidity changes inside greenhouse. **International Agrophysics**, v.19, n.2, p.153-158, 2005.

OLIVET, J. J., VAL, L., & USERA, G. DISTRIBUTION and effectiveness of pesticide application with a cold fogger on pepper plants cultured in a greenhouse. **Crop Protection**, v. 30, n. 8, p. 977-985, 2011.

PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000.

PENIDO, ECC. Projetos de automação com arduino: guia detalhado para aplicações industriais, residenciais e agrícolas. **Viçosa: UFV**, 2017.

SOUSA REIS, R. R., DE SIQUEIRA, V. S., DE SOUSA, R. P., & DE LIMA LEITE, R. L. Sistema automatizado de irrigação: uma solução de baixo custo para agricultura. in: **6ª Jice-Jornada de Iniciação Científica E Extensão**. 2015.

PICANÇO, M. C., DE PAULA, S. V., JUNIOR, A. R. M., DE 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**, v. 26, n. 2, p. 245-252, 2004.

REIS FILGUEIRA, F. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. **Universidade Federal de Viçosa**, 2012.

RINCÓN, V. J., PÁEZ, F., SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., FERNÁNDEZ, M., CARREÑO, A., & PÉREZ, J. Characterization of a fog system used for pesticide application in greenhouse crops. In: **International Conference on Agricultural Engineering-AgEng 2010: towards environmental technologies, Clermont-Ferrand, France, 6-8 September 2010**. Cemagref, 2010.

RINCÓN, V. J., SANCHEZ-HERMOSILLA, J., PAEZ, F., PEREZ-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**, v. 96, p. 7-13, 2017.

RODRIGUES, H. J. B., COSTA, R. F. D., RIBEIRO, J. B. M., SOUZA FILHO, J. D. D. C., RUIVO, M. D. L. P., & SILVA JÚNIOR, J. D. A. Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 189-196, 2011.

ROSA, J. V. Avaliação de painéis porosos constituídos de argila expandida em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo. 2009.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., RINCÓN, V. J., PÁEZ, F., & FERNÁNDEZ, M. Comparative spray deposits by manually pulled trolley sprayer and a spray gun in greenhouse tomato crops. **Crop Protection**, v. 31, n. 1, p. 119-124, 2012.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J., 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**, 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**, v. 48, p. 76-81, 2013b.

SASAKI, R. S. **Sistema eletrônico para captura de gotas visando aumentar a eficiência na pulverização eletrostática**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Viçosa. 85P. 2011.

SASAKI, R. S., TEIXEIRA, M. M., FERNANDES, H. C., & MONTEIRO, P. M. D. B. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Cienc. Rural**, p. 1605-1609, 2013.

SASAKI, R. S. Resfriamento adiabático do ar para reduzir perdas por evaporação em pulverização com assistência de ar na barra. Tese de Doutorado- Universidade Federal de Viçosa, UFV, 1-87 p. 2014.

SETHI, V. P.; SHARMA, S. K. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. **Solar Energy**, v. 81, n. 12, p. 1447-1459, 2007b.

USERA, G., OLIVET, J.J., JACQUES, R., SCHENZER, D. Aplicación de la simulación numérica de flujos turbulentos al estudio de técnicas de aplicación de fitosanitarios en

invernaderos. **In: IV Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola.** La Habana, Cuba. 2002.

VIANELLO, R. L.; ALVES A. R. Meteorologia básica e aplicações. **Viçosa, MG: UFV,** P.449, 2002.

VIEIRA, L., & PICULLI, F. J. Meteorologia e climatologia agrícola. **Cidade Gaúcha–Pr: Universidade Estadual de Maringá,** 2009.

VILLARREAL-GUERRERO, F., KACIRA, M., FITZ-RODRÍGUEZ, E., LINKER, R., KUBOTA, C., GIACOMELLI, G. A., & ARBEL, A. Simulated performance of a greenhouse cooling control strategy with natural ventilation and fog cooling. **biosystems engineering,** v. 111, n. 2, p. 217-228, 2012.

WYGODA, H.-J.; RIETZ, S. Plant protection equipment in glasshouses 1. **EPP0 Bulletin,** v. 26, n. 1, p. 87-93, 1996.

YANG, L., HUANG, B., HU, W., CHEN, Y., & MAO, M. Assessment and source identification of trace metals in the soils of greenhouse vegetable production in eastern China. **Ecotoxicology and environmental safety,** v. 97, p. 204-209, 2013.

YU, H., CHEN, Y., HASSAN, S. G., & LI, D. Prediction of the temperature in a Chinese solar greenhouse based on LSSVM optimized by improved PSO. **Computers and Electronics in Agriculture,** v. 122, p. 94-102, 2016.

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

ZAIDAN, S. E., GADANHA JR, C. D., GANDOLFO, M. A., PONTELLI, C. O., & MOSQUINI, W. W. Performance of spray nozzles in land applications with high speed. **Engenharia Agrícola,** v. 32, p. 1126-1132, 2012.