Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Avaliação da qualidade de pulverização em plantas de tomate utilizando diferentes pontas

Edmar Casarin Zambianco

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2013

Edmar Casarin Zambianco
Engenheiro Agrônomo

Avaliação da qualidade de pulverização em plantas de tomate utilizando diferentes pontas

Orientador:
Prof. Dr. **CASIMIRO DIAS GADANHA JÚNIOR**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Zambianco, Edmar Casarin
Avaliação da qualidade de pulverização em plantas de tomate utilizando diferentes pontas / Edmar Casarin Zambianco.- - Piracicaba, 2013.
78 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Tecnologia de aplicação 2. Pontas de pulverização 3. Depósito da pulverização 4. Cobertura foliar I. Título

CDD 635.642
Z23a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

DEDICATÓRIA

***À Deus**, que me guiou em toda minha caminhada, me permitindo fazer as melhores escolhas possíveis e ajudando na superação dos obstáculos. Aos meus pais **Ademir Milani Zambianco** e **Maria Aparecida Casarin Zambianco**, que são um exemplo de vida, me incentivando e dando todo carinho e amor que precisei nos momentos mais difíceis. Aos meus irmãos **Adriano Casarin Zambianco** e **Alessandro Casarin Zambianco**, pelo apoio e suporte em toda minha vida. À minha esposa **Eliane Sasso,** por todo amor, companheirismo e amizade ao longo dos últimos anos.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Casimiro Dias Gadanha Jr.,** pela valiosa orientação acadêmica dedicada nos últimos anos, que me revelou autêntica demonstração de profissionalismo, competência, confiança e companheirismo à minha pessoa.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), pelas condições de aprendizado oferecido ao longo do curso de mestrado.

À Usina Pederneiras, pelo tempo cedido ao longo do curso e disponibilização do laboratório para as análises.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biossistema: **Thiago Libório Romanelli, José Paulo Molin e Tomaz Caetano Cannavam Ripoli "*in memorian*"**, pelos ensinamentos nas disciplinas cursadas.

Ao **Dr. Fernando Piotto,** por todo auxílio na fase inicial do experimento, na análise e revisão dos dados.

À todos os integrantes do Grupo de Extensão e Pesquisa em Tecnologia de Aplicação (GEPTA), pela colaboração na coleta dos dados, amizade e companheirismo.

Aos amigos e colegas de pós-graduação: **Erik A. Barreto Jr., Fernanda C. S. Silva, Flávio L. dos S. Teixeira, Giancarlo C. Rocco, João Henrique M. Rosa, Leonan J. L. de Paula, Maria Carolina S. Andréa, Mark Spekken, Milton P. de Oliveira, Rafael Mingoti e Ruy Pedro Simões,** pelo convívio, amizade e respeito.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas: **Ângela M. D. Silva, Agnaldo F. Degaspari, Áureo S. de Oliveira, Davilmar A. D. Collevatti, Fernanda B. N. da Silva, Francisco de Oliveira, José Geraldo Gomes, Juarez R. do Amaral e Luiz Afonso da Costa** pelo apoio e amizade.

À **Bruna Beneton e Thiago Delazari** pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos amigos **Paulo Ricardo Zambianco e Maurício Milani** pela ajuda na coleta dos dados.

EPÍGRAFE

"Tudo tem seu tempo e até certas manifestações mais vigorosas e originais entram ou saem de moda. Mas a sabedoria tem uma vantagem: é eterna."

(Baltasar Gracián)

"Muitos dos que parecem estar lutando contra a adversidade são felizes; muitos, em meio a grande afluência, são totalmente infelizes."

(Publius Cornelius Tacitus)

SUMÁRIO

RESUMO 11
ABSTRACT 13
1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1 A cultura do tomate como alvo 17
2.2 Tecnologia de aplicação 18
2.2.1 Bicos hidráulicos 19
2.2.2 Espectro de gotas 20
2.2.3 Uniformidade de distribuição volumétrica 23
2.2.4 Influência das condições climáticas 24
2.3 Depósitos de pulverização e cobertura foliar 25
2.3.1 Traçadores 25
2.3.2 Alvos naturais e artificiais 27
2.3.3 Plantas artificiais 28
2.3.4 Uso de imagens para quantificar a cobertura foliar 29
3 MATERIAL E MÉTODOS 31
3.1 Local 31
3.2 Condução do tomateiro 31
3.3 Sistema de pulverização 34
3.4 Pontas de pulverização 37
3.5 Descrição dos traçadores utilizados 39
3.6 Validação da recomendação dos fabricantes 39
3.7 Calibração do pulverizador 41
3.8 Descrição dos tratamentos 43
3.9 Condições climáticas 43

3.10 Preparo da calda de pulverização 43
3.11 Aplicação dos tratamentos 44
3.12 Amostragem 45
3.13 Avaliação da cobertura foliar 47
3.14 Avaliações dos depósitos de pulverização 48
3.15 Desenho experimental e análises estatísticas 50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 53
4.1 Curva de calibração do traçador Azul Brilhante FD&C N°1 53
4.2 Condições ambientais 54
4.3 Validação das condições operacionais 54
4.4 Cobertura foliar 59
4.4.1 Estrato superior 59
4.4.2 Estrato inferior 60
4.5 Depósito foliar 62
4.5.1 Estrato superior 62
4.5.2 Estrato inferior 64
4.6 Relação entre cobertura e depósito 66
5 CONCLUSÕES 69
REFERÊNCIAS 71

RESUMO

Avaliação da qualidade de pulverização em plantas de tomate utilizando diferentes pontas

A tecnologia da aplicação tem papel fundamental na agricultura, pois proporciona uma correta aplicação do produto biologicamente ativo no alvo, ocasionando um melhor aproveitamento dos agrotóxicos. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes pontas e pressões na qualidade da pulverização na cultura do tomate por meio da quantificação do depósito e da cobertura foliar. Foram estudadas as pontas GA 11002 (jato plano com indução de ar), TTJ 60-11002 (jato plano duplo) e TT 11002 (jato plano padrão), todas nas pressões de 200, 350 e 500 kPa. Para todos os tratamentos a taxa de aplicação foi de 180 L ha^{-1}. O percentual de cobertura foliar foi quantificado por meio da análise de imagens que detectaram o traçador fluorescente LRM 100 com o auxílio de luz ultravioleta. As imagens foram capturadas por uma câmera digital e processadas pelo software QUANT. O depósito foi quantificado pela extração e quantificação do traçador azul brilhante FD&C N°1 por meio de espectrofotometria. Para ambos os parâmetros foram analisadas amostras do estrato superior e inferior da planta. Houve diferença estatística somente para a cobertura foliar, sendo que na parte superior da planta a ponta de jato plano duplo apresentou menor cobertura na menor pressão. Nas maiores pressões houve um aumento da cobertura foliar favorecido pela formação de gotas médias e finas pelas pontas avaliadas. No estrato inferior a eficiência na cobertura foliar da ponta de jato plano diminui com o aumento da pressão. O depósito de pulverização foi favorecido pelo aumento da cobertura foliar.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação; Pontas de pulverização; Depósito da pulverização; Cobertura foliar

ABSTRACT

Assessment of quality of spraying tomato plants using different nozzles

The application technology plays a key role in agriculture as it provides a correct application of the product biologically active in the target, causing a better use of pesticides. The aim of this study was to evaluate the influence of different nozzles and spray pressures acting on tomato by quantifying the deposit and leaf coverage. Were studied the nozzles GA 11002 (flat fan air induction), TTJ 60-11002 (twin flat fan) and TT 11002 (standard flat fan), all pressures of 200, 350 and 500 kPa. For all treatments, the application rate was 180 L h^{-1}. The percentage of leaf coverage was quantified by image analysis to detect the fluorescent tracer LRM 100 with the aid of ultraviolet light. The images were captured by a digital camera and processed by software QUANT. The deposit was quantified by extraction and quantification of tracer bright blue FD&C N° 1 by spectrophotometry. For both parameters were analyzed samples of top and bottom of the parts plant. Statistical difference only for leaf coverage, and at the top of the plant to twin flat fan nozzles showed lower coverage in less pressure. In the higher pressures there was an increase of leaf coverage favored by the formation of fine droplets medium and evaluated nozzles. In the bottom part plant coverage efficiency of foliar flat fan nozzles decreases with increasing pressure. The spray deposit was favored by increased leaf coverage.

Keywords: Application technology; Spray nozzles; Spray deposit; Leaf coverage

1 INTRODUÇÃO

Dentre as culturas hortícolas, o tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) tem grande importância por estar presente em todas as regiões do Brasil, além de ter papel fundamental no cenário agrícola mundial sendo consumido “in natura” ou destinado ao processamento. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013), a produção nacional de tomate da safra 2011/2012 foi de 3,648 milhões de toneladas em uma área de 55,6 mil hectares.

Com o aumento e o surgimento de diversos organismos fitopatogênicos, não somente na cultura do tomate como nas demais, o controle químico se mostra como um dos mais eficientes no controle dos problemas causado por tais organismos. O uso de agrotóxicos é parte fundamental do modelo agrícola contemporâneo que apresenta elevados índices de produtividade. Seu impacto social e ambiental demanda constante preocupação por parte da sociedade.

De acordo com Freitas Jr. (2013), entre os anos de 2007 e 2012 o volume de defensivos agrícolas aplicados na lavoura cresceu 14%, atingindo 346,6 mil toneladas. Porém, esse crescimento não reflete no consumo médio de agrotóxicos que praticamente manteve-se o mesmo nesse período, com uma pequena queda de 4,94 para 4,92 kg ha^{-1}, em decorrência do aumento na área plantada de 14,4%, além da adoção dos transgênicos.

Em diversas situações na agricultura, prioriza-se o agrotóxico a ser aplicado não se importando com a técnica de aplicação. Deve-se ressaltar que com o apelo ambiental para a diminuição do uso e o alto custo dos defensivos agrícolas, a tecnologia da aplicação tem um papel fundamental, pois proporciona uma correta aplicação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de maneira econômica e com o mínimo de contaminação ambiental, onde qualquer massa que não atinja o alvo estará representando uma forma de perda.

A escolha correta de um equipamento de pulverização influencia na eficácia de aplicação de defensivos agrícolas. Ele deve-se adequar às condições da cultura tais como: tamanho da área, espaçamento de plantio, distancia do ponto de reabastecimento, entre outros. Assim, saber se o equipamento escolhido aplica o produto de forma e na época correta é fundamental, para que ele proporcione o máximo rendimento ao menor custo.

Além do fator citado anteriormente, as condições climáticas também interferem na aplicação de defensivos agrícolas. Em alguns casos interropem a operação como, por exemplo, correntes de vento, que arrastam as gotas dependendo da sua massa e tamanho. A temperatura e, principalmente, a umidade relativa do ar, contribuem para a evaporação rápida das gotas. A ocorrência de chuvas logo após a aplicação também pode ocasionar a perda dos agrotóxicos, pelo escorrimento antes da sua absorção pela planta.

Com base no que foi exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes pontas e pressões na qualidade da pulverização na cultura do tomate por meio da quantificação do depósito e da cobertura foliar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do tomate como alvo

Segundo Alvarenga et al. (2004), o tomate é uma planta perene, de porte arbustivo, que é cultivada como cultura de ciclo anual, podendo se desenvolver de forma rasteira, semi-ereta ou ereta. A planta de tomate possuí dois tipo de hábito de crescimento: crescimento determinado, que é predominante na maioria das cultivares de cultivo rasteiro, cujos frutos são destinados à produção de frutos para a agroindústria; e o crescimento indeterminado que é comum nas cultivares selecionadas para a produção de fruto para mesa, sendo que nas lavouras as plantas são tutoradas e podadas (FILGUEIRA, 2005).

O tomate é uma planta suscetível a diversas doenças, sendo necessário o emprego de diversos agroquímicos para o seu controle. Existem vários equipamentos para se realizar as aplicações, porém não há nenhuma orientação adequada sobre como tornar o controle mais eficaz (DERKESEN et al., 2001).

A partir da exigência de diversas culturas com relação à aplicação de defensivos agrícolas, existem trabalhos que utilizam o tomateiro como alvo para avaliar fatores relacionados à tecnologia da aplicação. Nuyttens et al. (2004), visando a aplicação adequada de pesticidas dentro do dossel, utilizaram plantas de tomate e pimenta. Neste estudo, realizaram-se diversos testes com íons metálicos como traçador, para avaliar a influência do espaçamento entre pontas na barra vertical de pulverização. As avaliações foram feitas por meio de papel hidrossensível e papel de filtro, sendo que o espaçamento de 0,35m apresentou uma melhor distribuição da pulverização quando comparado ao espaçamento de 0,50m.

A análise de resíduos de agrotóxicos é muito onerosa para ser utilizada em estudo de perdas. Assim, Chaim et al. (1999) utilizaram plantas de tomate estaqueado para monitorar perdas na pulverização. No trabalho destes autores, foi usado um fungicida cúprico, sendo que o cobre presente nesse produto foi quantificado por espectrofotometria por meio da coleta de papel mata-borrão, fixado em três alturas.

Em um estudo mais recente, Breakman et al. (2010) utilizaram plantas de tomate e morango em estufa. Nessa pesquisa avaliaram diferentes pontas de pulverização, jato plano e cônico, associada a uma pressão determinada para cada

ponta. Para o tomateiro a ponta de jato plano de ângulo grande foi a que gerou maior depósito da pulverização. Na maioria das pulverizações na cultura do tomate são utilizadas elevadas pressões hidráulicas, porém van Os et al. (2005) relataram que a diminuição da pressão de pulverização para 500 KPa proporcionou depósitos adequados, conduzindo a uma redução das perdas químicas no tomateiro.

2.2 Tecnologia de aplicação

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários é uma importante ferramenta dentro da agricultura, tornando-se uma área multidisciplinar, uma vez que se reporta ao controle de insetos e ácaros, de plantas daninhas e de agentes patogênicos, que considera aspectos da biologia, da química, da engenharia, da ecologia, da sociologia e da economia (FERREIRA, 2006).

Assim, a tecnologia de aplicação de agrotóxicos torna-se um dos principais componentes em diversos sistemas de produção agrícola. Ela proporciona a correta aplicação dos produtos fitossanitários no alvo, visando manter a sustentabilidade, cuidando da saúde do trabalhador, fornecendo o retorno econômico esperado pelo produtor (MATUO, 1990). Mesmo assim, na maioria dos casos, somente o produto fitossanitário a ser aplicado é levado em consideração, dando pouca atenção à tecnologia de aplicação. Deve-se ressaltar que todo defensivo agrícola necessita de vários cuidados como a forma correta de aplicação, momento e equipamentos adequados de modo a garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas (CUNHA et al., 2005).

Para que o defensivo agrícola retorne o resultado esperado, é importante que haja cobertura e depósito adequados em todas as partes da planta. Geralmente, atingir as partes internas do dossel das plantas é mais difícil, o que acarreta diminuição na produtividade, favorecendo a disseminação da praga ou doença para outras áreas. Diante desses problemas, os produtores aumentam o número das pulverizações, aumentando também o custo de produção (BAESSO et al., 2009).

Segundo Sharda et al. (2011), o aumento de custos associado aos danos potenciais às culturas e ao meio ambiente que, devido ao maior número de aplicações, podem levar ao controle ineficiente das pragas e consequentemente

gerar perda de rendimento. Oerke (2006) relatou que o uso de defensivos agrícolas evita um déficit de até 45% na oferta mundial de alimentos.

A maioria dos agrotóxicos é aplicada por meio da fragmentação do líquido em gotas de pulverização. O processo de atomização da conversão de líquido em gotas de pulverização, assim como o destino após a formação das gotas são dependentes das propriedades físicas do produto a ser aplicado, do volume de calda, tipo de ponta, pressão e condições ambientais no momento de aplicação. Dessa forma, o destino das gotas e especialmente os agrotóxicos nelas contidos, causam significativas preocupações ambientais relacionadas com o ar e a contaminação da água (PROKOP; VEVERKA, 2006).

2.2.1 Bicos hidráulicos

Dentre os principais aspectos relacionados à tecnologia de aplicação, destaca-se a seleção e a correta utilização das pontas de pulverização para geração de quantidades e classes de tamanho de gotas adequadas a cada tratamento fitossanitário.

O bico de pulverização é o responsável pela fragmentação e vazão da calda de aplicação, e está posicionado no final do sistema hidráulico. Esse sistema é composto por várias partes constituintes, das quais a ponta de pulverização é a mais importante, definindo a vazão, o espectro de diâmetro de gotas e a forma do jato emitido (CHRISTOFOLETTI, 1999). O bico é fundamental para uma correta aplicação de defensivos agrícolas, sendo que sua estrutura, material de fabricação, modo de operação e manutenção influenciam a qualidade da aplicação (MATTHEWS, 1999).

Atualmente, no mercado de pontas de pulverização hidráulicas, existem vários tipos e usos definidos para diferentes e específicas condições técnicas operacionais (CUNHA; RUAS, 2006). Segundo Matuo et al. (2001), as pontas de pulverização são divididas quanto a forma do jato e distribuição, em jato plano com orifício em forma de fenda e deposição em forma de jato leque e com deposição linear e pontas de jato cônico com orifício e deposição circular .

Cunha e Teixeira (2003) relatam que a ponta de jato plano é o tipo mais utilizado em pulverizadores de barras, devido à sua maior uniformidade de

distribuição do volume da pulverização, principalmente quando comparadas às pontas de jato cônico vazio. Algumas tecnologias associadas a essas pontas podem influenciar na capacidade de retenção de gotas pelo alvo. As pontas com indução de ar são algumas dessas inovações que foram utilizadas, partindo do principio Venturi, para a injeção de ar ao líquido formando gotas com maior diâmetro diminuindo consideravelmente o risco de deriva (GULER et al., 2007).

O tamanho e a velocidade da gota podem afetar os depósitos de pulverização e o potencial de deriva da calda (TAYLOR et al., 2004). Assim, o tamanho de gotas pode influenciar a eficácia biológica do produto aplicado bem como os riscos ambientais (NUYTENS et al., 2007). Os mesmos autores preconizam que a combinação ideal de bico e pressão irá aumentar a eficiência da pulverização na deposição de uma dose letal no alvo, como também acarretará a diminuição das perdas e consequentemente uma menor exposição do aplicador.

Derksen et al. (2007) diferenciando apenas o tipo de ponta com e sem indução de ar, sem variar a taxa de aplicação e a formulação, relataram que as pontas com indução de ar tipo Venturi mostraram ser tão eficazes na cobertura da superfície adaxial como as pontas convencionais. Porém, no mesmo estudo foi constatada a ineficiência dessas pontas na cobertura da superfície abaxial assim como nas partes inferiores do dossel.

Estudando penetração de gotas no dossel de plantas de amendoim, Zhu et al. (2004) avaliaram o desempenho de quatro tipos de pontas de pulverização (jato cônico vazio, jato duplo, jato plano convencional e com indução de ar), obtendo uma elevada deposição no interior das plantas pela ponta com indução de ar. Um resultado interessante foi o obtido por Wicke et al. (1999), que estudando a contaminação dos operadores de equipamentos de pulverização, mostraram em seu trabalho, que as pontas com indução de ar proporcionaram um menor depósito nas roupas dos operadores quando comparadas a pontas de jato cônico convencionais.

2.2.2 Espectro de gotas

As dimensões do orifício e a pressão de trabalho, além das características físico-químicas da calda, são fatores que influenciam diretamente no espectro de gotas produzido por uma ponta (PAULSRUD; MONTGOMERY, 2005).

Roman (2010) descreve que no processo de formação de gotas por energia hidráulica tanto gotas grandes como pequenas são produzidas. Quanto mais homogêneo for o espectro de gotas no momento da pulverização, melhor será a eficiência. Deve-se tomar cuidado para não ser produzida uma elevada amplitude do espectro de gotas, ou seja, nem gotas muito finas nem muito grossas, evitando-se assim perdas por deriva e escorrimento, respectivamente. Assim, é necessário o conhecimento das características técnicas das pontas, visando à sua correta seleção e, com isso, aplicações eficientes e seguras do ponto de vista ambiental (CUNHA et al., 2010). Nas pontas de pulverização que operam com pressão hidráulica, a formação de gotas, muitas vezes, é bastante desuniforme, dificultando a boa cobertura do alvo (CUNHA et al., 2007).

O parâmetro mais comum usado definir o espectro de gotas gerado pelo bico é o diâmetro mediano volumétrico (DMV), que é o diâmetro da gota que divide o volume pulverizado por um bico, em duas partes iguais. Uma parte é constituída de gotas menores e outra de gotas maiores que o DMV (JACTO, 2001). Além do DMV, o D_{10}, D_{50} e o D_{90} também são parâmetros utilizados na caracterização de uma população de gotas, sendo que o D_{10} é o diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado apresentam gotas inferiores a esse valor; D_{50} é o diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor e o D_{90} o diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor (CUNHA et al., 2007; PROKOP; KEJKLICEK, 2002).

O espectro de gotas é a classificação das gotas produzidas por uma ponta de pulverização. Outra forma de caracterizá-lo é a classificação do espectro em classes de tamanho de gota. A norma ASABE S572 (2009) caracteriza o espectro de gotas em seis classes de tamanho de gotas em função do diâmetro volumétrico, conforme a Figura 1.

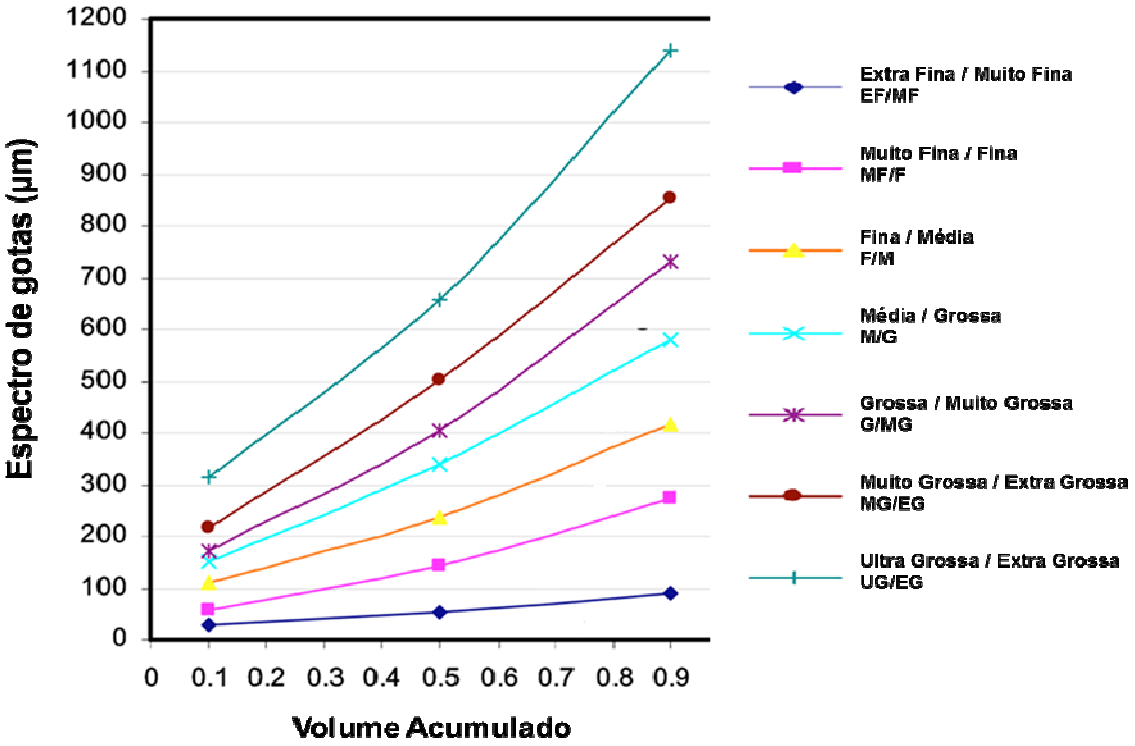

Figura 1 - Classificação do espectro de gotas conforme a norma ASABE S572 (2009)

Na formação de gotas muito finas, geralmente, se consegue boa cobertura superficial e uniformidade de distribuição da calda, mas essas gotas podem evaporar em condições de baixa umidade relativa ou serem levadas pela corrente de ar. Gotas com diâmetros menores que 150 µm são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (MURPHY et al., 2000; CUNHA et al., 2004).

Em um estudo envolvendo várias combinações de pontas e pressões, Nuyttens et al. (2007) evidenciaram que o tipo e o tamanho de ponta tem efeitos sobre o espectro de gotas. Os mesmos autores comparando os resultados com outros trabalhos confirmaram a necessidade de pontas de referência para a classificação dos espectros, devido à variação considerável dos resultados, assim como a metodologia e o tipo de equipamento utilizado nas medições.

Avaliando o espectro de gotas Cunha et al. (2010), relataram que a ponta de jato plano TT 11002 quando comparada a ponta com indução de ar TTI 11002, gerou um espectro de gotas mais sujeito à deriva, indicando que o seu uso deve ser feito com critério, de modo a evitar pulverizações com velocidade do vento alta. Porém, os mesmos autores concluíram que com a adição de adjuvantes, não houve

diferença significativa entre as pontas com relação ao risco de deriva. Ferreira et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes, uma vez que a adição dos adjuvantes promoveu uma alteração positiva sobre as características das gotas, diminuindo o número de gotas com diâmetro menor que 100 µm produzidas pela pulverização com diferentes modelos de pontas.

Halley et al. (2008) avaliando pontas XR8001, XR8002 e XR8003 concluíram que ocorre um maior depósito das gotas finas quando comparadas a gotas grossas. Uma baixa cobertura foliar oriunda de um espectro de gotas grossas diminui substancialmente a eficácia dos produtos de contato, porém esse mesmo espectro é eficiente quando o composto utilizado age de forma sistêmica, devido a sua translocação nos tecidos da planta (PROKOP; VEVERKA, 2006). Os autores também afirmaram que a baixa cobertura proporcionada pelas gotas grossas é compensada por maiores volumes de pulverização.

2.2.3 Uniformidade de distribuição volumétrica

Toda ponta de pulverização possuí um perfil de distribuição necessitando de uma sobreposição do jato de uma ponta com os jatos adjacentes para conseguir distribuição uniforme do líquido pulverizado (MATTHEWS, 2000). A distribuição de pulverização individual de uma ponta plana tem forma piramidal, sendo comparada a uma curva de distribuição gaussiana (HUYGHEBAERT et al., 2001). O volume aplicado numa pulverização deve apresentar o maio grau de uniformidade possível, havendo a necessidade do acréscimo de um volume adicional para complementar os pontos ou faixas que receberam menor quantidade de calda (PERECIN et al. 1998).

De acordo com Bauer e Raetano (2004), o espaçamento entre pontas, a pressão de trabalho, a altura de pulverização e o ângulo de abertura do jato das pontas estão diretamente ligados à uniformidade de distribuição. A sobreposição de deposição de um conjunto de pontas numa barra de pulverização é aferida pelo coeficiente de variação. Conforme Chapple et al. (1993), esse índice normalmente é calculado a partir do padrão de distribuição de bicos individuais, simulando-se, então, a sobreposição desses padrões. Assim, os padrões de deposição individual

dos bicos são determinados em bancadas de prova, nas quais canaletas realizam a coleta do líquido a distâncias determinadas e o depositam em recipientes individuais.

Quando o coeficiente de variação for igual a zero, significa que a distribuição é ideal, ou seja, não há diferença na quantidade do líquido pulverizado ao longo da barra, sem nenhuma variação (CHRISTOFOLETTI, 1997). Na Europa, em condições de laboratório, o coeficiente de variação não pode exceder 7%, quando em pressão e altura recomendadas pelo fabricante (LANGENAKENS 1999). O mesmo autor ainda ressalta que para se obtenha uniformidade satisfatória, é necessário que o coeficiente de variação seja inferior a 10%.

De maneira geral, o espaçamento entre pontas mais utilizado no Brasil é 0,5m, porém a altura da barra é variável, possibilitando a combinação dessas duas variáveis, de forma a se obter melhor uniformidade de distribuição (CUNHA; RUAS, 2006). Os autores destacam que, considerando o limite de 10% para o coeficiente de variação e mantendo-se fixo o espaçamento entre bicos é possível determinar a altura mínima de pulverização.

Bauer et al. (2006), testando pontas com e sem indução de ar, constataram que as pontas com indução de ar apresentaram menor depósito do que as pontas sem indução ar, sendo que esse comportamento foi observado em todas as alturas e pressões testadas. Dessa forma um cuidado maior deve ser tomado com a sobreposição da pulverização entre essas pontas.

2.2.4 Influência das condições climáticas

Matuo (1990) observa que fatores como a temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e pressão influenciam na trajetória da gota em direção ao alvo. Em condições que a temperatura é elevada, a ocorrência de evaporação das gotas torna-se um grande problema, que se agrava em dias muito secos devido a baixa umidade relativa do ar (FAGGION, 2002). Nessa situação as gotas pequenas e médias não conseguem atingir o alvo, deixando o ingrediente ativo disperso no ar como partícula flutuante, sendo arrastado a regiões distantes.

Conforme Donkersley e Nuyttens (2011) as condições climáticas são difíceis de serem controladas no campo ou até mesmo em experimentos com condições controladas como, por exemplo, em túnel de vento. Dessa forma aconselha-se que

as pulverizações de agrotóxicos sejam realizadas nas horas mais frescas do dia, a fim de evitar a evaporação do produto aplicado (DI OLIVEIRA, 2008).

Existem condições climáticas consideradas ideais para que se tenha uma pulverização adequada, tais como: umidade relativa do ar mínima de 50%; velocidade do vento de 3 a 10 km h^{-1} e temperatura abaixo de 30°C (ANTUNIASSI, 2005).

Em condições de presença de orvalho existem alguns problemas principalmente nas pulverizações terrestres, devido às altas taxas de aplicação utilizadas, o que favorece o escorrimento e a perda parcial dos produtos, exceto em aplicações de herbicidas em pré-emergência (DOS SANTOS, 2005). O autor também relata que com temperaturas baixas, a atividade fisiológica da planta diminui, não permitindo ou bloqueando a absorção de produto. Dessa forma, o produto pode apresentar instabilidade física ou química, no caso dos defensivos sistêmicos ou de translocação.

A tecnologia de aplicação de agrotóxicos busca desenvolver novos métodos de aplicação que possam amenizar os efeitos das condições climáticas sem alterar a eficácia da aplicação (ZAIDAN et al., 2012). Utilizando barreiras naturais e artificiais de várias alturas e arquitetura, para avaliar a influência do vento na pulverização, De Schampheleire et al. (2009) relataram que utilizando uma tela observou-se que a deposição da deriva após o anteparo foi significativamente menor quando o tamanho da tela era pelo menos igual a altura de pulverização.

2.3 Depósito de pulverização e cobertura foliar

2.3.1 Traçadores

Matthews (2000) ressalta a necessidade da existência de estudos sobre deposição, cobertura foliar e deriva, para que os produtos fitossanitários sejam aplicados com o máximo de eficiência, uma vez que a deriva é responsável por grandes índices de perdas, além de contribuir para a degradação ambiental.

A maioria dos estudos que envolvem a eficiência da pulverização exige algum método quantitativo de avaliação. Os métodos testados utilizam a avaliação visual, medição óptica e análise química. O uso de matérias de rastreamento (traçadores) que podem ser um corante fluorescente que pode ser visto sob luz ultravioleta ou um

composto que pode ser isolado e medido por análise química. Nessas avaliações podem ser utilizadas partes da planta ou alvos artificiais tais como papel hidrossensível, lâminas de vidro ou metal e algum tipo de película (SALYANI; WHITNEY, 1988).

O uso de substâncias traçadoras faz parte de métodos como a fluorimetria e espectrofotometria. As principais vantagens do método da espectrofotometria de absorção incluem a facilidade de análise e a possibilidade de detectar a absorbância da substância em baixas concentrações, além do baixo custo quando comparado a métodos como a cromatografia (SÁNCHES-HERMOSILLA et al., 2008). Os mesmos autores comparando três corantes alimentícios para quantificar o depósito na cultura do tomate, não encontraram diferença significativa entre os corantes mesmo quando extraídos de papéis filtro ou da própria folha da planta. Além disso, o tempo de secagem para extração também não alterou na concentração do corante.

Outros elementos são usados como substâncias traçadoras. O uso de íons metálicos também é bem comum para se quantificar o depósito da pulverização. Braekman et al. (2010) utilizaram o cobre (Cu), ferro (Fe), cobalto (Co), molibdênio (Mo), manganês (Mn) e zinco (Zn) como marcadores. Nesse estudo, os íons descritos acima foram usados na concentração de 100 mg L^{-1} para quantificar o depósito na cultura do tomate e do morango por meio do uso de diferentes pontas de pulverização. Os maiores depósitos foram obtidos com as pontas de jato plano e jato duplo com indução de ar.

Em relação à análise de cobertura, os mecanismos mais utilizados para visualização das gotas são o papel hidrossensível e o marcador fluorescente. Staniland (1959) foi quem visualizou o depósito de gotas por meio do uso de marcadores fluorescentes pela primeira vez. Em um estudo realizado na cultura do tomate, Derkesen et al. (2001) utilizaram o marcador fluorescente solúvel em água Tinopal CBS-X na concentração de 1,25 g L^{-1}. Com o propósito de avaliar a cobertura foliar, as imagens foram capturadas por um microscópio capaz de registrar a luz fluorescente gerada pelas folhas, e posteriormente essas imagens foram analisadas. Analisando o efeito de diferentes pontas na deposição de gotas de folhas no interior de plantas de cebola, Macintyre-Allen et al. (2007) também utilizaram este tipo de marcador fluorescente.

O uso deste tipo de marcador nos permite localizar com precisão onde o produto foi depositado, sua distribuição e intensidade da cobertura obtida como também possibilita avaliar os efeitos de diferentes parâmetros da aplicação no resultado final para as mais diversas culturas (PALLADINI et al., 2005).

2.3.2 Alvos naturais e artificiais

Diversos estudos na área de tecnologia de aplicação envolvem a análise da cobertura foliar e do depósito de pulverização para avaliar e melhorar técnicas na aplicação de agrotóxicos. Várias metodologias foram levantadas para facilitar essa avaliação, sendo que algumas sugerem a utilização de partes da planta e outras o uso de alvos artificiais. Os alvos naturais devem ser mais utilizados, porém a sua variabilidade natural pode prejudicar na retenção das gotas de pulverização, diferentemente do alvo artificial que é mais uniforme podendo ser posicionado em diversos locais da planta (DE CERQUEIRA et al., 2012).

O uso de papéis hidrossensíveis para a avaliação da cobertura foliar ultrapassa mais de quarenta anos, sendo considerados os alvos artificiais mais utilizados nesse tipo de pesquisa (CUNHA et al., 2012). Os autores o descrevem como um papel revestido com uma superfície amarela, que fica azul escuro em contato em contato com as gotas de pulverização. As pesquisas que envolvem o emprego de papéis hidrossensíveis têm como finalidade determinar a densidade e tamanho das gotas, bem como obter área coberta pelo depósito de pulverização (NUYTTENS et al., 2004; PANNETON et al., 2005; HALLEY et al., 2008; CUNHA et al., 2012).

Na extração dos traçadores para estimativa de depósito, também se pode utilizar alvos artificiais, sendo mais comum o uso de papéis de filtro (CHAIM et al., 1999; NUYTTENS et al., 2004; SÁNCHES-HERMOSILLA et al.; 2008; BRAEKMAN et al., 2010), ou por meio de lâminas de vidro (ZHU et al., 2004; DERKSEN et al., 2008).

A quantificação do depósito e da cobertura foliar também pode ser obtida por meio do uso de alvos naturais, extraindo e quantificando os traçadores utilizados diretamente das folhas da planta que foi pulverizada (DERKSEN et al., 2001; PALLADINI et al., 2005; MACINTYRE-ALLEN et al., 2007; ZAIDAN et al., 2012).

As diferenças entre alvo natural e artificial foram estudadas por De Cerqueira et al. (2012), que compararam os métodos de quantificação de depósitos na folha, em lâminas de vidro e papel de filtro. Os autores concluíram que os alvos artificiais foram mais eficientes na recuperação do traçador, exceto quando o traçador utilizado foi o corante Azul Brilhante, uma vez que a extração desse produto em papel de filtro foi inferior a 80%.

2.3.3 Plantas artificiais

Os estudos que envolvem a tecnologia de aplicação existem a necessidade de uniformidade da arquitetura foliar entre as plantas que serão utilizadas como alvos. Dessa forma, alguns trabalhos existentes na literatura sugerem a confecção de plantas artificiais para eliminar ou diminuir o problema na variação da arquitetura da planta, uma vez que o resultado de um experimento pode ser influenciado quando há um alto grau de desuniformidade entre as plantas alvo.

Bayat e Bozdogan (2005) utilizaram tecido para representar o dossel da cultura do algodão. As folhas das plantas artificiais foram ligadas a haste de maneira a ficarem flexíveis. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a deriva com diferentes velocidades do vento, por meio de deposição em túnel de vento. A ausência do vento combinado com taxa de aplicação de 20 L ha^{-1} e gotas com diâmetro de 210µm apresentaram significativamente os maiores depósitos.

Algo semelhante foi observado em um estudo envolvendo a pulverização eletrostática, onde Maski e Durairaj (2010) construíram a partir de alumínio, alvos artificiais com a mesma arquitetura de plantas de algodão. Nesse caso, a haste principal foi feita a partir de um fio de alumínio oco com 10 mm de diâmetro e as folhas com 0,5 mm espessura. A busca pela uniformidade das plantas testadas foi em virtude de se observar a deposição na superfície inferior das folhas.

Wof (2005) comparou o potencial de deriva de quatro pontas de jato plano na aplicação de herbicida, utilizando plantas formadas por folhas de plástico. Assim, nesse estudo ele conseguiu trabalhar com a altura padrão de 25 cm. As pontas com mecanismos anti-deriva apresentaram menor potencial de deriva quando comparadas a ponta de jato plano convencional

2.3.4 Uso de imagens para quantificar a cobertura foliar

Vários métodos para avaliação da cobertura foliar foram desenvolvidos dos mais simples aos mais avançados. Os métodos mais simples envolvem a análise visual qualitativa da pulverização, que não é o tipo de recurso mais preciso, uma vez que depende da descrição humana que gera uma escala visual de notas (JIANG; DERKSEN, 1995; SALYANI; WHITNEY, 1988).

A análise visual baseia-se em escalas de comparação e geralmente a cobertura é avaliada por meio de alvos naturais. Macintyre-Allen et al. (2007) avaliando o efeito de diferentes pontas e volumes de aplicação em plantas de cebola, foi estimada a cobertura foliar a partir de uma escala visual, sendo que nesse ensaio o traçador fluorescente (Tinopal CBS-X) foi visualizado com o auxílio de lâmpadas ultravioletas.

Os avanços na tecnologia de processamento de imagens levaram ao desenvolvimento de diferentes programas computacionais de caráter comercial ou experimental, que produzem indicadores relacionados à qualidade da pulverização com base no processamento de imagens digitalizadas (CUNHA et al., 2012). Os mesmos elaboraram um estudo comparativo entre a análise visual e o uso de diferentes programas para determinar entre outros fatores a porcentagem de cobertura da pulverização. As imagens analisadas foram obtidas com a digitalização dos papéis hidrossensíveis e foi constatada eficiência no uso dos programas para o processamento dessas imagens, principalmente com valores de cobertura entre 3 e 40%.

Existe a necessidade, portanto, de se desenvolver mecanismos ágeis e eficientes para se avaliar a qualidade da pulverização. Pensando em um rápido retorno de informações, Zhu et al. (2011) desenvolveram um sistema portátil para avaliar o depósito e a cobertura de pulverização em papéis hidrossensíveis. O sistema era composto de um mini-scanner de cartões, um computador portátil e um software denominado “DepositScan”. O mecanismo ofereceu uma solução conveniente para várias condições de trabalho, porém a precisão do software diminuiu de acordo com a diminuição do tamanho da gota, devido às limitações advindas do reconhecimento de pixel.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi realizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), situada no município de Piracicaba-SP. A semeadura e a condução das plantas de tomate até o momento do ensaio ocorreram em estufas do Departamento de Genética. O ensaio final ocorreu no Departamento de Engenharia de Biossistemas**.** A temperatura média e umidade relativa média medidas no período de condução do tomateiro foram de 22,7 ± 0,4 °C com umidade relativa média de 92,0 ± 1,1 %, respectivamente.

3.2 Condução do tomateiro

A cultivar do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) utilizada no experimento foi a M82. Esta cultivar é uma planta modelo utilizada em estudos na área da genética, por ser uma fonte valiosa de locos de características quantitativas (QTL), além de apresentar crescimento determinado e rápido desenvolvimento (ESHED; ZAMIR, 1995; HOLTAN; HAKE, 2003; MENDA et al., 2004; ARIKITA, 2011).

A semeadura foi realizada no dia 12 março de 2013. Este procedimento foi realizado em duas bandejas totalizando 256 plântulas, que ficaram acondicionadas em estufa com irrigação automática até o dia do transplantio. A semeadura ocorreu em substrato comercial Basaplant® e irrigadas com solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950) modificada para tomateiros [$Ca(NO_3)_2.4H_2O$ (1180 mg L^{-1}), KNO_3 (505 mg L^{-1}), $MgSO_4.7H_2O$ (492 mg L^{-1}), KH_2PO_4 (136 mg L^{-1}), H_3BO_3 (7,20 mg L^{-1}), $MnCl_2.4H_2O$ (4,52 mg L^{-1}), $ZnSO_4.7H_2O$ (0,55 mg L^{-1}), $CuSO_4.5H_2O$ (0,20 mg L^{-1}), $NaMoO_4$ (0,225 mg L^{-1}), pH = 6,0].

Aos 15 dias após a semeadura as bandejas foram levadas a outra estufa onde as plântulas mais vigorosas e uniformes foram selecionadas para serem transplantadas em vasos com capacidade de 1,8 L. Cada vaso recebeu 5 gramas de fertilizante N:P:K (8:28:16), o qual foi posicionado nas laterais, para evitar danos as plantas pela alta concentração de sais.

Foi realizada a montagem de um sistema automático de irrigação na estufa em que foram colocados os vasos após o transplante. Na Figura 2 pode ser observado o posicionamento dos vasos dentro da estufa além do sistema de irrigação utilizado.

Figura 2 - Posicionamento dos vasos com o sistema de irrigação na estufa

O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva, com aplicações semanais dos fungicidas Ridomil Gold MZ® (3 g L^{-1}), Cercobin 700 WP® (1 g L^{-1}) e Folicur 200 EC® (1 mL L^{-1}) e os inseticidas Dimilin 80 WG® (1 g mL^{-1}) e Lanate BR® (1 mL L^{-1}). As aplicações foram realizadas com pulverizador manual de pré-pressão com capacidade de 1 L da marca Guarany.

A nutrição complementar com macro e micronutrientes foi realizada duas vezes por semana, onde cada planta recebeu 100 mL da mesma solução nutritiva citada acima (HOAGLAND; ARNON, 1950). Na Figura 3 observam-se os estágios de desenvolvimento das plantas.

Figura 3 - Desenvolvimento do tomateiro: (a) Dia da semeadura, (b) 8 DAS, (c) 15 DAS, (d) 22 DAS, (e) 29 DAS e (f) 36 DAS. (DAS = Dias Após a Semeadura)

Aos 45 DAS foi selecionado um conjunto de plantas que apresentasse um maior grau de uniformidade na altura e número de folhas. Estas plantas foram

transportadas da estufa até o local do ensaio tomando-se o devido cuidado para não danificá-las. Os vasos foram colocados em uma sala fechada ficando isolados do local do ensaio, de modo a evitar qualquer tipo de contaminação durante as aplicações. O grupo de plantas que foi utilizado no experimento pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Conjunto de plantas obtidas no ensaio com 45 DAS

3.3 Sistema de aplicação

O pulverizador que foi utilizado no experimento é um protótipo adaptado de Vásques-Castro (2006) pelo Grupo de Ensino e Pesquisa em Tecnologia da Aplicação (GEPTA/USP). O equipamento é constituído de um reservatório com capacidade de 100L, uma barra de pulverização com largura efetiva de 2 metros com 4 bicos espaçados em 0,50m. Possuí também um conjunto moto-bomba da marca KSB modelo P1000 e um comando hidráulico regulador de pressão Jacto. O equipamento foi montado em um suporte e colocado sobre um trilho com 19 metros de comprimento. O pulverizador no local da realização do ensaio é mostrado na Figura 5.

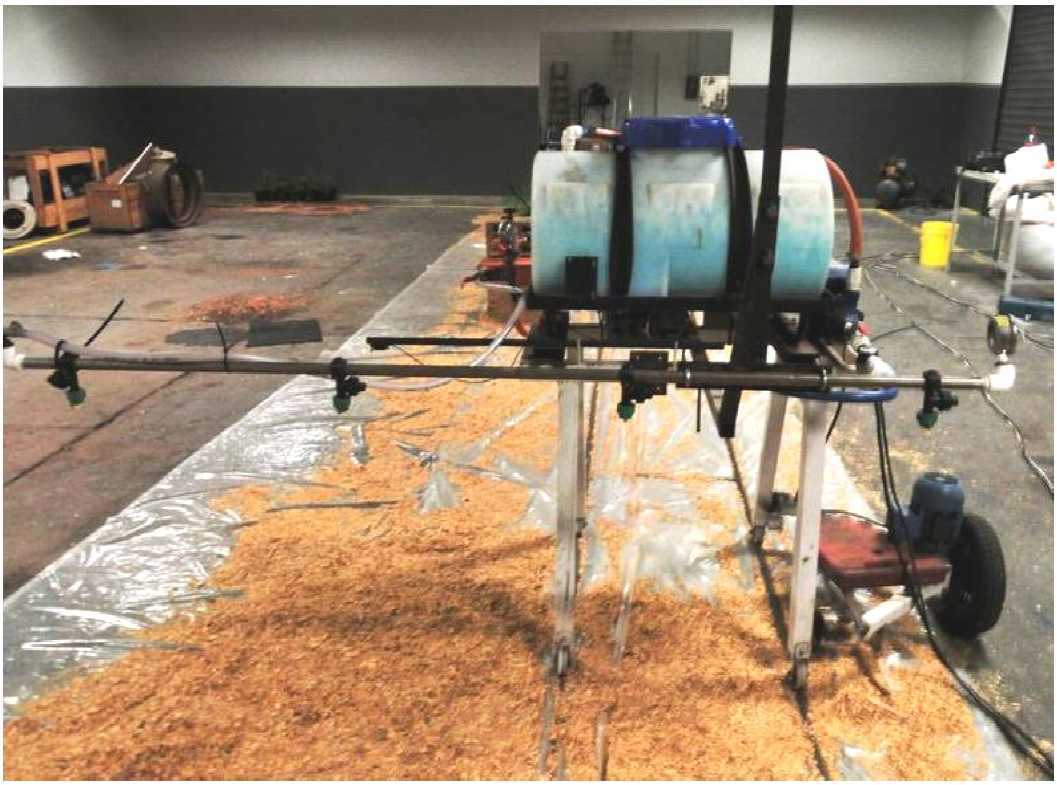

Figura 5 - Vista geral do pulverizador no local do ensaio

O conjunto é movido por motor com 0,375 kW de potência, sendo este acoplado a um rodado pneumático que move o equipamento sobre o trilho. O controle do equipamento foi realizado por meio de um painel de comando que possui um inversor de frequência onde se controla a velocidade do carrinho. A altura de pulverização foi regulada de forma manual, por meio de uma barra fixada perpendicularmente a um suporte deslizante que é seguro por um parafuso, o qual é solto para ser feito o ajuste. Na Figura 6 podem ser observados os componentes do pulverizador.

A calibração da velocidade ocorreu antes da pulverização de cada tratamento, por meio de um cronodômetro que capta o tempo de deslocamento do conjunto mediante a um sensor de infravermelho posicionado no pulverizador (Figura 7).

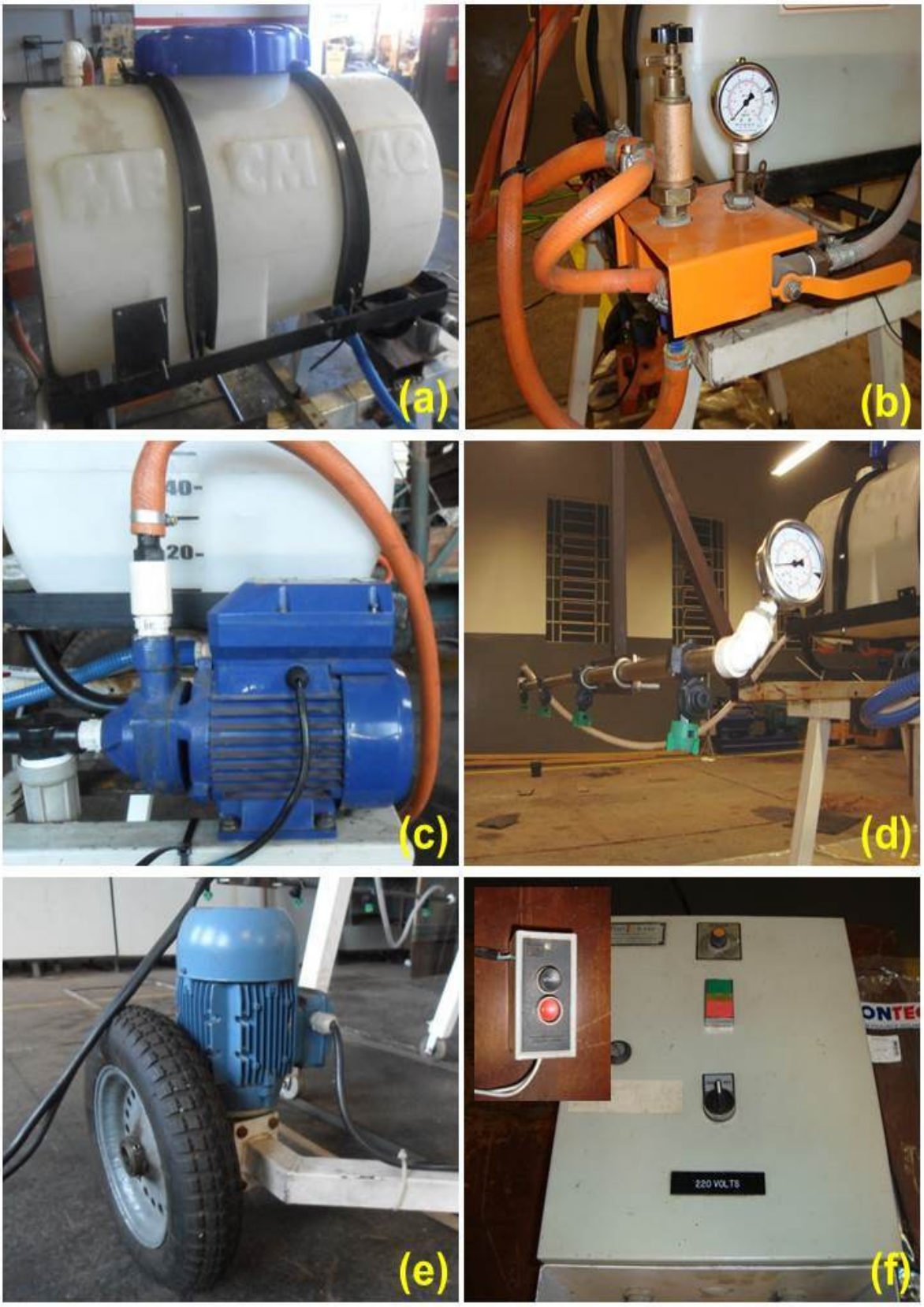

Figura 6 - Componentes do pulverizador: (a) reservatório, (b) comando hidráulico regulador de pressão, (c) conjunto moto-bomba, (d) barra de pulverização, (e) motor de acionamento e movimentação e (f) painel de comando

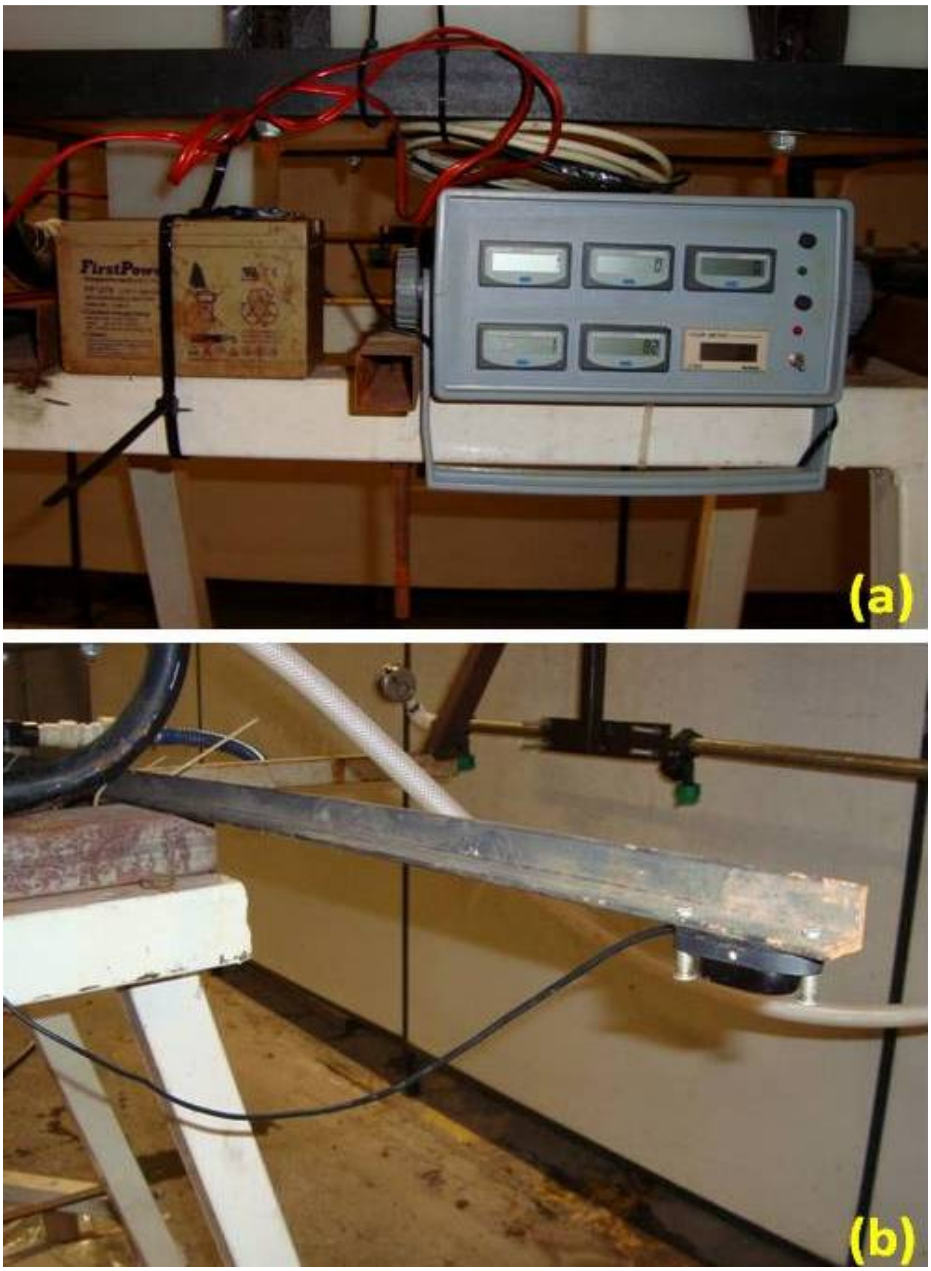

Figura 7 - Instrumentos para a medição da velocidade: (a) cronodômetro e (b) sensor de infravermelho

3.4 Pontas de pulverização

Foram utilizados três modelos de pontas de pulverização, jato plano com indução, jato plano e jato plano duplo. A ponta GA 11002 é caracterizada como de jato leque plano padrão com um único jato de pulverização, produzindo um espectro de gotas entre extremamente grosso e médio. Por possuir mais de um orifício para a aspiração do ar, se destaca como uma ponta com indução de ar de segunda

geração. Quando comparada as pontas com indução de ar convencional, produzem mais gotas por volume pulverizado. Outra característica é a de o jato de pulverização é inclinado para trás, o que fornece uma cobertura mais uniforme nas superfícies superior e inferior das folhas.

A ponta TTJ 60-11002 tem como característica possuir dois jatos planos simétricos, com 60° entre cada jato de pulverização, com 30° para frente e 30° para trás (Figura 8). Tem a capacidade de produzir um espectro de gotas classificado de grosso a médio. Apresenta propriedades de redução de deriva e maior penetração no dossel.

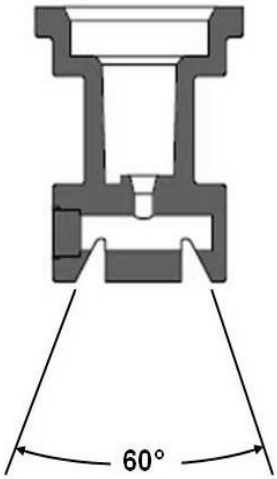

Figura 8 - Esquema da seção transversal mostrando a simetria dos jatos planos da ponta TTJ 60-11002

A ponta TT 11002 é uma ponta de jato plano. Tem extremidades afiladas para cobertura uniforme em pulverização em área total, além de possuir uma passagem interna circular grande para minimizar o entupimento e prolongar a vida útil da mesma. O espectro de gotas produzido é classificado entre grosso e fino. Uma ilustração de cada uma das pontas utilizadas no ensaio é apresentada na Figura 9.

Algumas características das pontas são comuns entre elas, tais como o espaçamento entre pontas (0,5m) e o ângulo de aspersão (110°). Os demais detalhes estão apresentados na Tabela 1.

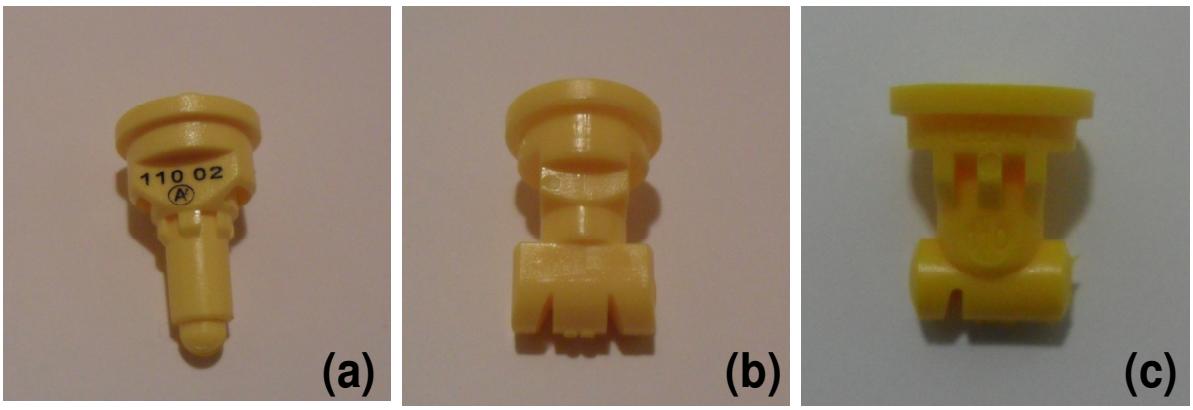

Figura 9 - Pontas de pulverização utilizadas no ensaio: (a) GA 11002, (b) TTJ 60-11002 e (c) TT 11002

Tabela 1 - Dados técnicos das pontas de pulverização fornecidos pelos fabricantes

	Altura recomendada (m)	**Faixa de pressão (kPa)**	**Classe de Gotas (Fabricante)**	**Fabricante**
GA 11002	0,40	210 – 830	M/G/MG/EG	Hypro
TTJ 60-11002	0,50	150 – 600	M/G	Spraying System Co
TT 11002	0,50	100 – 600	M/G/MG	Spraying System Co

3.5 Descrição dos traçadores utilizados

Para a avaliação de cobertura foliar, será utilizado o traçador fluorescente LRM 100 fabricado pela empresa Datiquim Pigmentos LTDA na concentração de 5 g L^{-1}. Para a avaliação do depósito, será utilizado o corante alimentício Azul Brilhante FD&C N°1 produzido pela empresa Duas Rodas Industrial LTDA, também na concentração de 5 g L^{-1}. O procedimento de mistura e aplicação dos traçadores foi desenvolvido por Palladini et al. (2000) e também utilizado por Zaidan et al. (2012).

3.6 Validação da recomendação dos fabricantes

A validação das condições operacionais de pressão, altura de aplicação e espaçamento entre pontas recomendados pelo fabricante foi realizada por meio da quantificação da uniformidade de distribuição volumétrica transversal, definida pelo

coeficiente de variação, em mesa de canaletas (Figura 10), de acordo com a metodologia proposta pela norma ISO5682-1 de 1996.

Para cada um dos modelos que foram utilizados nos ensaios, foram escolhidos aleatoriamente três exemplares de um lote de 10 peças. A avaliação foi realizada de acordo com o proposto pela norma ISO5682-1, com quatro pressões de trabalho: a mínima e máxima recomendada pelo fabricante e duas pressões intermediárias; três alturas: a sugerida pelo fabricante além de uma 150 mm acima e outra 150 mm abaixo da recomenda. Foram realizadas três repetições para cada tratamento.

Figura 10 - Mesa de canaletas horizontal para determinação do perfil de distribuição volumétrica das pontas de pulverização

No programa Excel, a partir da curva de distribuição individual simulou-se a sobreposição para o espaçamento entre bicos de 0,5 m, conforme recomendação do fabricante, resultando na obtenção da faixa de aplicação simulada. Foi calculado o coeficiente de variação (CV%) ao longo desta faixa simulada e utilizou-se como critério de validação valores iguais ou inferiores a 10% conforme citado por Langenakens (1999).

3.7 Calibração do pulverizador

O procedimento de calibração do pulverizador é importante porque assegura a taxa de aplicação pré-estabelecida. A calibração foi realizada por meio do método gravimétrico de acordo com a norma ISO4185 de 1980. Para cada ponta associada a diferentes pressões, coletou-se o volume do líquido pulverizado em um minuto, sendo posteriormente efetuada a pesagem em uma balança com erro nominal de 0,005 kg. O volume pulverizado foi calculado baseando-se no valor da massa específica da água pura (1 kg L^{-1}), conforme é demonstrado na equação 1.

$$V = \frac{M}{M_e} \tag{1}$$

Onde: V = volume (L)

M = Massa (kg)

M_e = Massa específica (kg L^{-1})

A determinação da vazão por meio do método gravimétrico garante maior acurácia. As Figuras 11 e 12 mostram o processo de coleta e pesagem do líquido pulverizado.

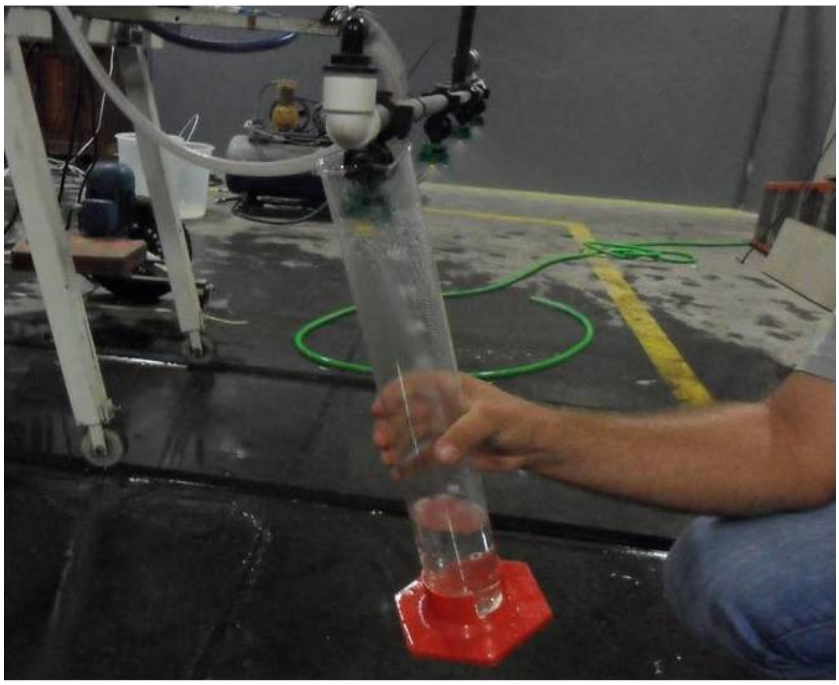

Figura 11 - Coleta para determinação da massa do líquido pulverizado

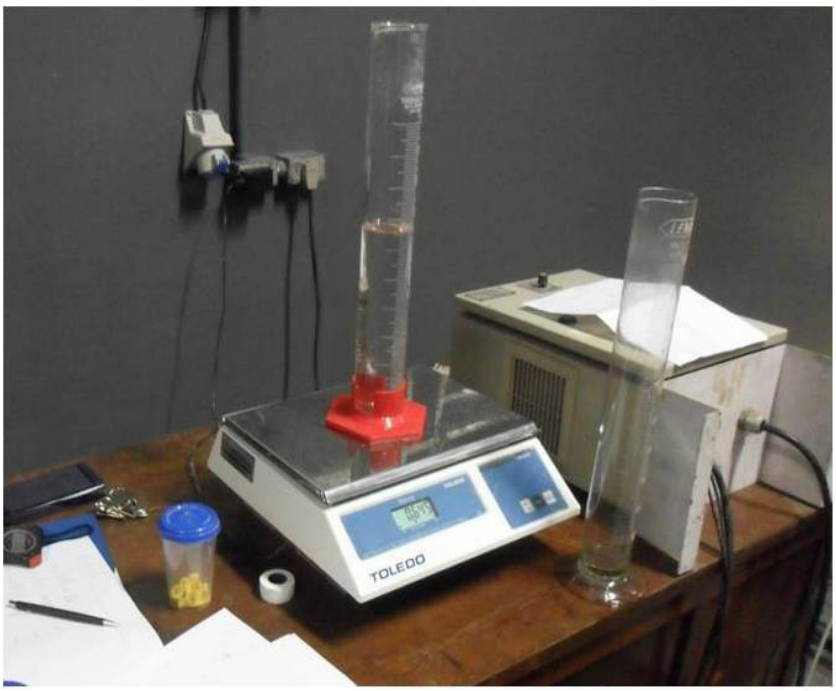

Figura 12 - Quantificação da massa do líquido pulverizado para determinação da vazão

Após a obtenção da vazão das pontas de cada tratamento, foi calculada a velocidade de deslocamento do pulverizador por meio da equação 2. Esse resultado foi obtido com a taxa de aplicação fixa de 180 L ha $^{-1}$ para todos os tratamentos.

$$V = \frac{600\ q}{E\ Q} \tag{2}$$

Onde: V = Velocidade (km h^{-1})

q = Vazão da ponta (L min^{-1})

E = Espaçamento entre pontas (m)

Q = Taxa de aplicação (L ha^{-1})

A calibração da velocidade de aplicação ocorreu antes da aplicação de cada tratamento. Esse procedimento foi realizado por meio de um inversor de frequência instalado no painel de comando.

3.8 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram compostos por três diferentes modelos de pontas de pulverização associadas a três classes de pressão. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 3x3 em blocos casualizados com oito repetições, sendo que cada 2 plantas representaram uma repetição. A altura de pulverização utilizada foi a recomendada pelos fabricantes. A Tabela 2 mostra a descrição de cada tratamento avaliado.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos avaliados

Ponta de pulverização	Tratamento	Pressão operacional (kPa)	Classe de gotas (Fabricante)	Velocidade (km h^{-1})
GA 11002	GA 200	200	Muito Grossa	4,3
	GA 350	350	Grossa	5,9
	GA 500	500	Média	6,9
TTJ 11002	TTJ 200	200	Grossa	4,2
	TTJ 350	350	Grossa	5,6
	TTJ 500	500	Média	6,8
TT 11002	TT 200	200	Grossa	4,3
	TT 350	350	Grossa	5,7
	TT 500	500	Média	7,0

3.9 Condições climáticas

No momento da aplicação foram monitorados os valores de temperatura e umidade relativa do ar por meio de um termo higrômetro Lutron modelo HT3004. A pulverização ocorreu em um local fechado, portanto não existiu a influência do vento na aplicação dos tratamentos.

3.10 Preparo da calda de pulverização

O preparo da calda de pulverização foi realizado com base no método gravimétrico, realizando uma pré-mistura por meio da pesagem da água e o

acréscimo dos traçadores LRM100 e azul FD&C N°1 em baldes de 20 L. Para auxiliar na homogeneização da mistura foi utilizado um agitador mecânico, como pode ser visualizado na figura 13. Após esse processo, a pré-mistura foi colocada no tanque de pulverização.

Figura 13 - Processo de mistura dos traçadores com auxílio do mixer

3.11 Aplicação dos tratamentos

A distribuição dos tratamentos foi realizada de forma aleatória. Foi aplicado um tratamento a cada passagem do equipamento, totalizando 24 plantas por tratamento (Figura 14). Desse total, oito plantas foram retiradas para amostragem, e as plantas restantes foram reutilizadas nos demais tratamentos como bordadura. Esse reaproveitamento diminui o número de plantas utilizadas, proporcionado um maior grau de uniformidade entre elas. O espaçamento entre plantas e fileiras foi definido de forma que possibilitasse a passagem do pulverizador sem danificar as plantas. Esse espaçamento foi de 0,4m entre plantas e fileiras, utilizando-se 88 plantas no ensaio total.

Figura 14 - Distribuição das plantas na área experimental

3.12 Amostragem

Após a pulverização foi aguardado um período de trinta minutos para secagem das plantas e depois se realizou a amostragem. A Figura 15 mostra como ficaram as plantas de um tratamento após a pulverização. Foram amostrados dois estratos da planta: superior e inferior. O estrato superior é formado pelas folhas do topo que recebem diretamente a pulverização sem nenhum obstáculo. Já o estrato inferior é composto por folhas do baixeiro que têm maior dificuldade na penetração das gotas.

Foi coletada uma folha por planta representando uma repetição, sendo que a mesma folha foi utilizada tanto para análise de depósito como da cobertura foliar. As amostras serão identificadas de acordo com o tratamento e posição, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em caixas térmicas para se evitar a degradação do traçador. O procedimento de amostragem é mostrado na Figura 16. Logo após a coleta as embalagens foram levadas para o Laboratório de Tecnologia de Aplicação (ESALQ/USP).

Figura 15 - Planta de tomate após a pulverização

Figura 16 - Procedimento de amostragem para avaliação do depósito e cobertura foliar

3.13 Avaliação da cobertura foliar

A cobertura foliar foi determinada por meio da análise de imagens, que detectaram o traçador fluorescente LRM100. As folhas foram levadas para uma sala escura previamente isolada para não receber nenhuma incidência de luz. O equipamento usado na captura das imagens foi uma câmera digital Sansung ES70. Para a obtenção das imagens com a câmera estabilizada, foi construído um suporte que serviu como tripé. Na visualização do traçador fluorescente foram utilizadas duas luminárias com uma lâmpada ultravioleta de luz negra cada uma, colocadas próximas à superfície adaxial das folhas permitindo que a fluorescência fosse identificada pela câmera. Esse processo pode ser visualizado na Figura 17.

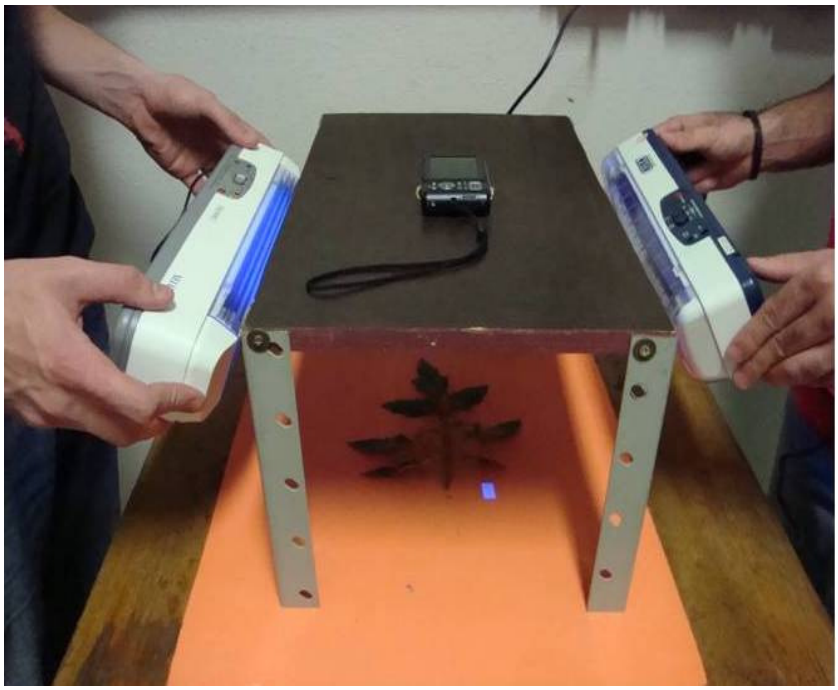

Figura 17 - Esquema para obtenção das imagens da fluorescência do traçador LRM100

Para o cálculo da cobertura foliar foi utilizado o software de análise de imagens QUANT (VALE et al., 2003). Esse software foi desenvolvido para quantificar a severidade de doenças de plantas a partir de imagens digitais, mostrando-se eficiente também para os objetivos do presente estudo. Na Figura 18 estão apresentadas a imagem original e a gerada pelo software por meio da qual é calculada a cobertura foliar.

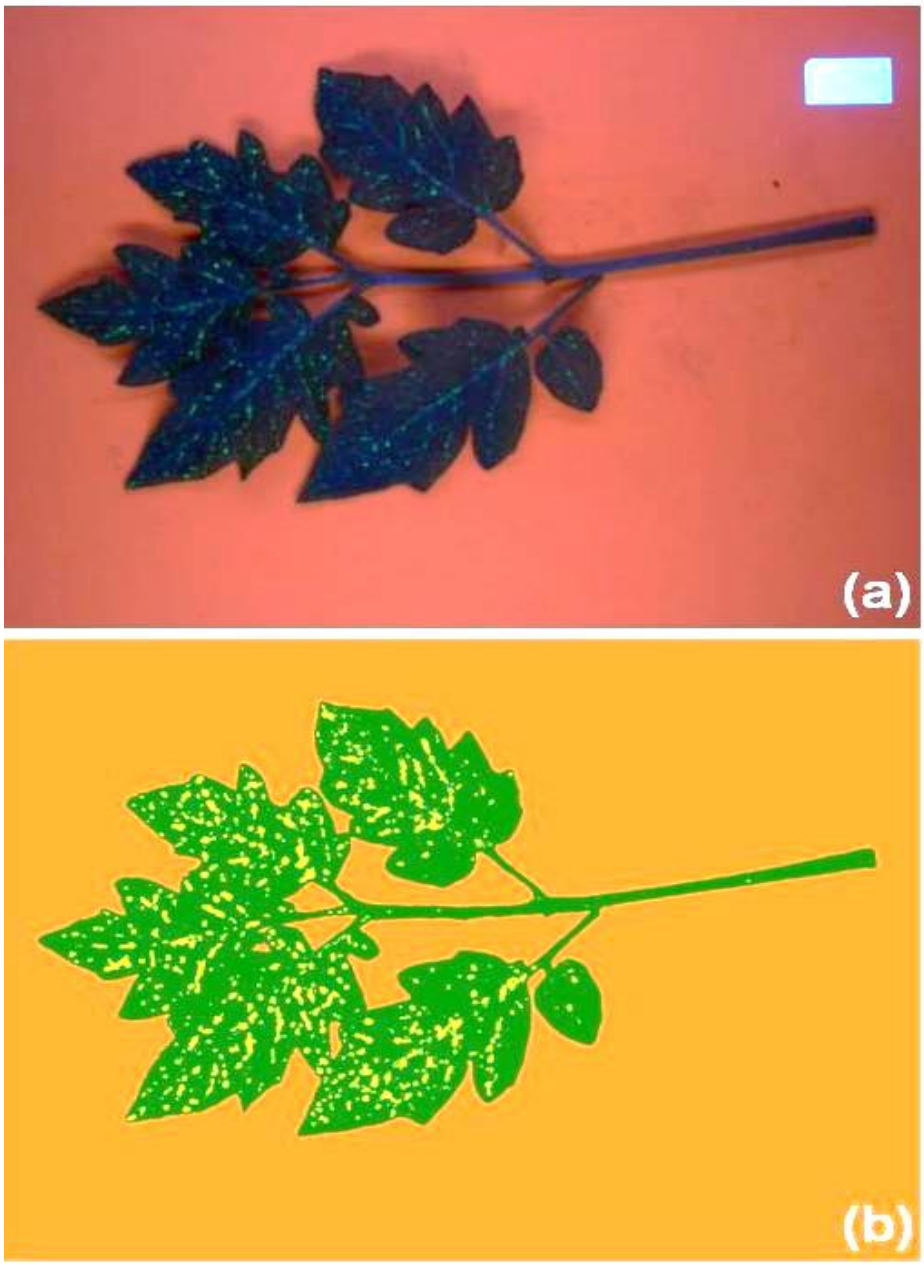

Figura 18 - (a) Imagem original e (b) Imagem após ser processada pelo QUANT.=

Após a obtenção das imagens, as folhas foram armazenadas em sacos plásticos identificados e levadas para a extração do traçador azul brilhante FD&C N°1.

3.14 Avaliação dos depósitos de pulverização

A quantificação do depósito foi obtida pela concentração do traçador Azul Brilhante FD&C N°1. A folha usada na cobertura foi a mesma utilizada para quantificar o depósito. Após a obtenção das imagens cada folha foi lavada dentro de

sacos plásticos com 100 cm^3 de água destilada para a extração do corante (Figura 19).

Figura 19 - Procedimento de lavagem das folhas com água destilada para extração do traçador Azul Brilhante

Após a lavagem a solução foi colocada em recipientes plásticos devidamente identificados e lacrados. Esses recipientes foram acondicionados em caixas térmicas e transportados até o laboratório da Usina Pederneiras (Tietê/SP), para quantificar a concentração do traçador nas soluções (Figura 20).

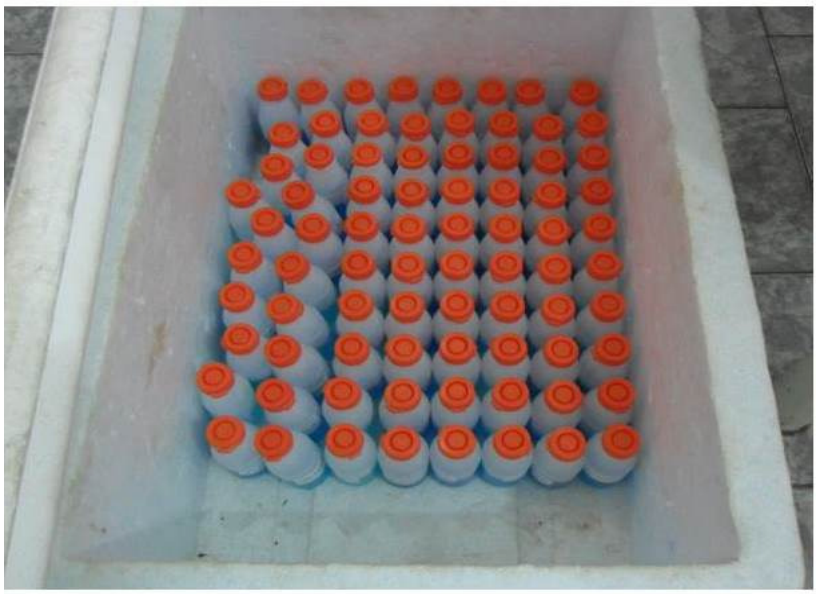

Figura 20 - Amostras acomodadas em caixa térmica prontas para serem analisadas

As amostras foram analisadas por espectrofotometria que consiste no estudo das interações entre as características espectrais dos objetos e os seus atributos biofísicos no ambiente (MILTON, 1987). As análises foram realizadas em um espectrofotômetro HACH modelo DR 3900 para a determinação dos valores de absorbância, na faixa espectral de 640 ηm.

Antes da realização das análises, o espectrofotômetro foi calibrado, obtendo-se a absorbância de concentrações conhecidas do marcador, na faixa de leitura do aparelho. A partir disso, foi obtida uma equação de regressão entre os valores de absorbância e a concentração do corante nas soluções, para se calcular os valores da massa do marcador de cada amostra coletada. Á área foliar para o cálculo do deposito foi determinada pelo software QUANT.

3.15 Desenho Experimental e Análises Estatísticas

Todo o experimento foi montado considerando uma linha de plantas como bordadura. O experimento foi realizado em esquema fatorial 3x3 (3 pontas x 3 pressões), em blocos casualizados, sendo que cada bloco foi disposto ao longo da faixa de usada para aplicação dos tratamentos. Foram utilizadas 4 repetições sendo cada repetição (parcela) foi composta por 2 plantas. Na Figura 21 está ilustrada a disposição dos vasos.

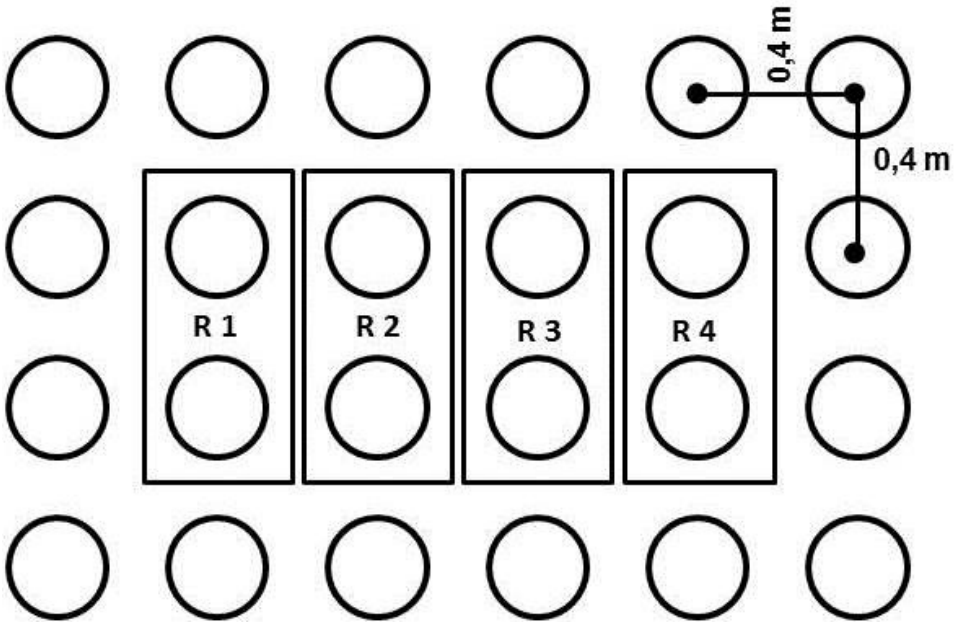

Figura 21 - Croqui experimental referente a um tratamento

Os dados coletados foram submetidos à Análise de Variância e quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pela diferença mínima significativa (LSD - *least significant difference*), ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os dados percentuais de cobertura foram previamente transformados com $arcosen\sqrt{x/100}$, pois todas as observações apresentaram valores < 30%. Para os demais dados não houve a necessidade de transformação. As homogeneidades de variância foram verificadas pelo teste de Bartlett (BARTLETT, 1937) e a distribuição normal dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965). Todas as análises foram realizadas no software R versão 3.0.1 (http://www.r-project.org).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curva de calibração do traçador Azul Brilhante FD&C Nº1

A calibração do espectrofotômetro foi realizada por meio da absorbância de 11 valores de concentração conhecidos do traçador azul brilhante, que possibilitaram compor uma equação de regressão linear que converteu os valores de absorbância para concentração do marcador (ppm) para cada amostra. A Figura 22 mostra a curva de calibração, acompanhada da equação que associa absorbância e concentração do traçador na amostra.

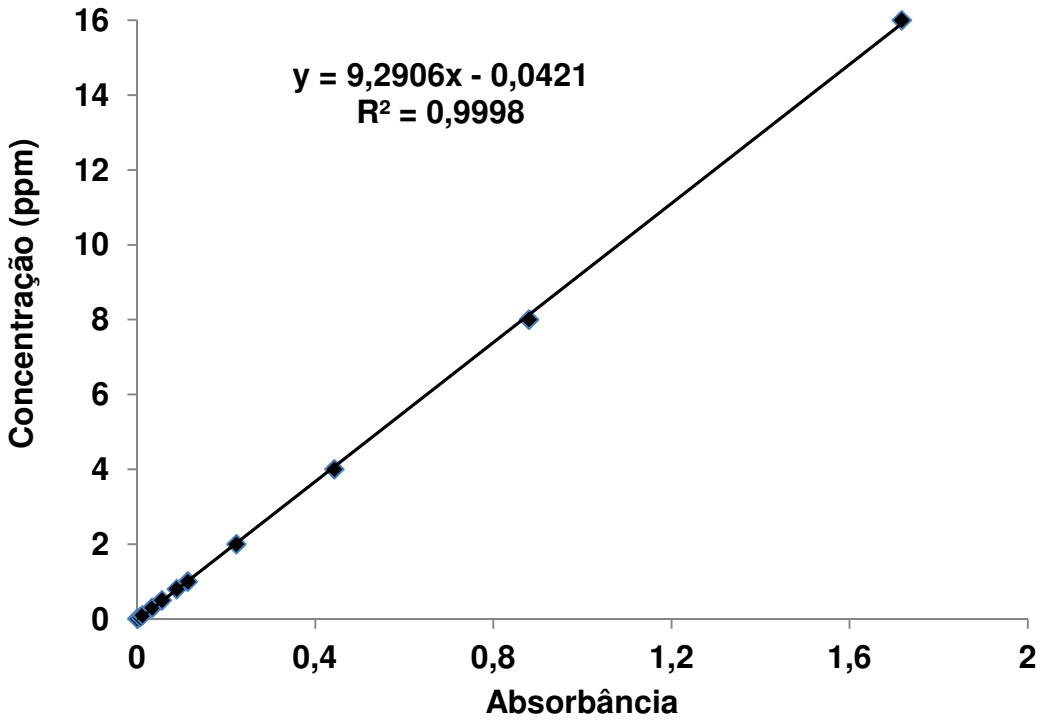

Figura 22 - Curva de regressão entre os parâmetros de absorbância e concentração da amostra para calibração do espectrofotômetro

A concentração das amostras variou de 0,01 a 16 ppm. O alto valor do coeficiente de regressão observado (R^2=0,999) aponta que o ajuste linear entre os parâmetros de concentração e absorbância foi apropriado, sendo que a faixa de comprimento de onda utilizada (640ηm) para determinar a concentração das soluções foi eficiente.

4.2 Condições climáticas

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de umidade relativa e temperatura do ar, assim como o horário de aplicação de cada tratamento.

Tabela 3 - Horário e condições ambientais no momento das pulverizações

Tratamento	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Horário de pulverização
T1	21,1	64,9	00 h 10 min
T2	21,5	64,6	23 h 55 min
T3	20,7	67,5	01 h 45 min
T4	21,5	63,5	23 h 00 min
T5	21,5	63,9	23 h 17 min
T6	20,5	68,9	02 h 08 min
T7	21,1	65,3	00h 29 min
T8	21,0	65,7	00 h 42 min
T9	20,7	66,9	01 h 15 min

O tempo de duração do ensaio foi de 1 hora e 50 minutos. Nesse período houve pouca variação da temperatura (1C°), bem como da umidade relativa do ar (5,4%). Conforme Yu et al. (2009), a umidade relativa do ar é o fator mais relevante na evaporação das gotas e depósito nos alvos. Segundo Mota (2011), a temperatura e umidade relativa do ar influenciam diretamente nas perdas por evaporação, sendo que quanto menor o tamanho de gotas menor a faixa de temperatura e umidade relativa do ar ideal. Antuniassi (2009) relata que o limite de umidade relativa para gotas finas e médias está entre 60 e 70%.

4.3 Validação das condições operacionais

As curvas de distribuição volumétricas individuais de cada modelo de ponta de pulverização, para a altura ideal recomendada de cada ponta e diferentes pressões, estão apresentadas nas Figuras de 23 a 25.

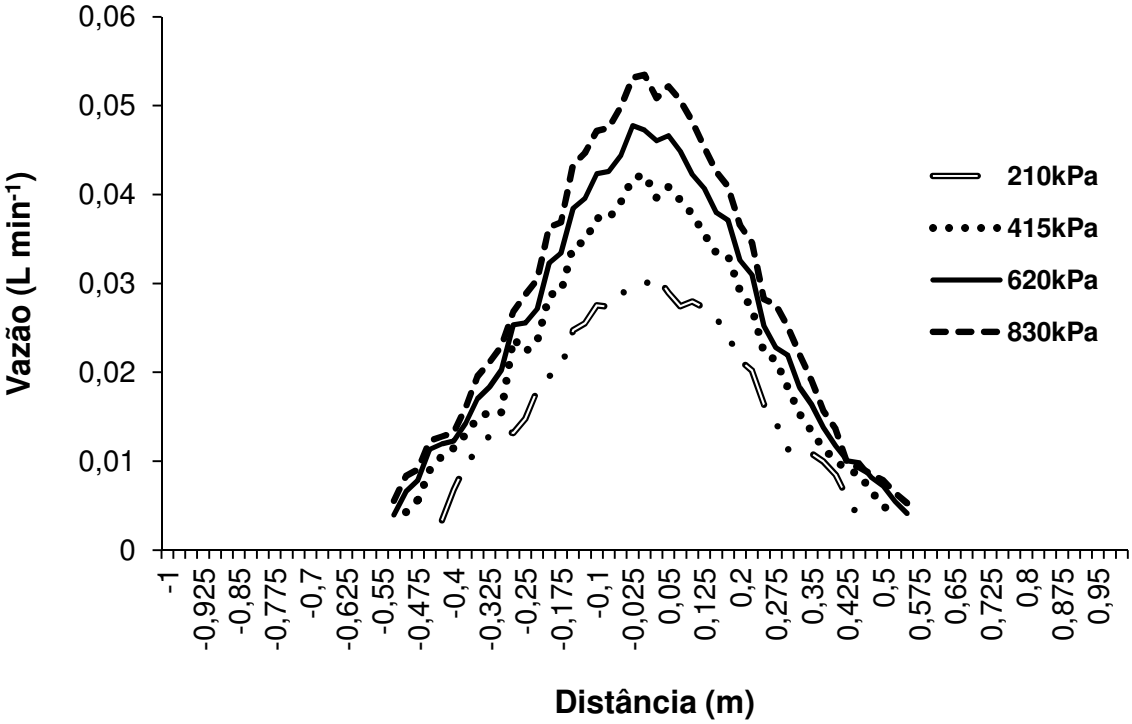

Figura 23 - Perfil de distribuição volumétrica transversal da ponta modelo GA 11002 na altura de 0,40m e nas pressões de 210, 415, 620 e 830kPa

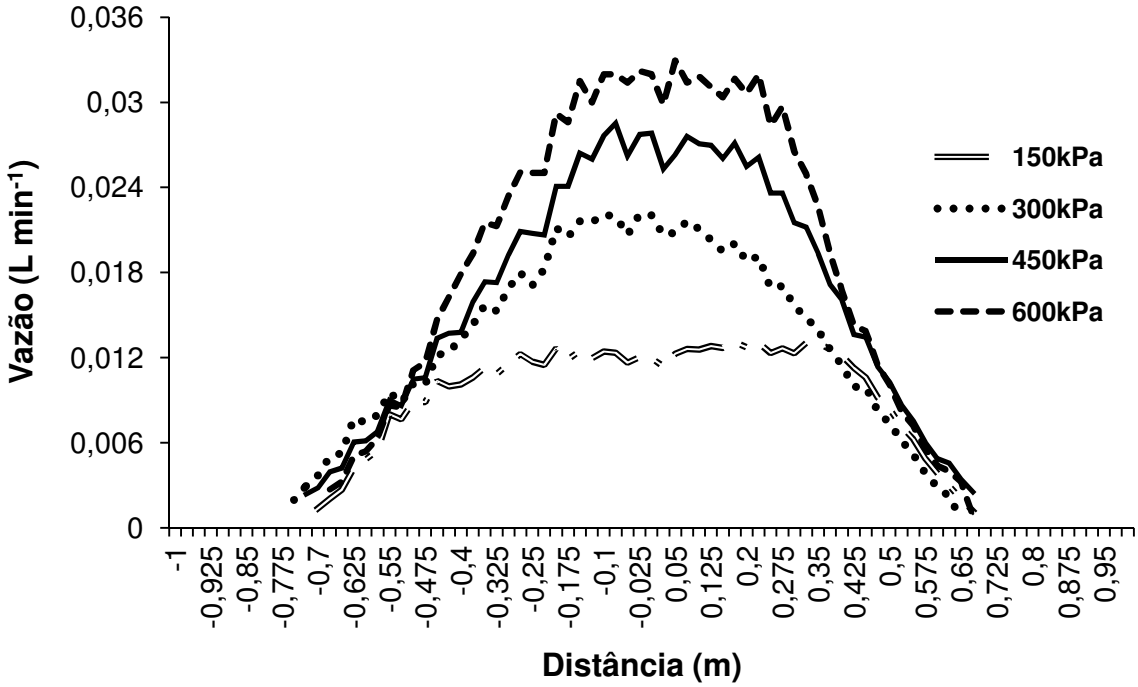

Figura 24 - Perfil de distribuição volumétrica transversal da ponta modelo TTJ 60-11002 na altura de 0,50m e nas pressões de 150, 300, 450 e 600kPa

Figura 25 - Perfil de distribuição volumétrica transversal da ponta modelo TT 11002 na altura de 0,50m e nas pressões de 100, 252, 433 e 600kPa

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de faixa total, faixa efetiva e relação entre faixa efetiva e faixa total para cada modelo de ponta de pulverização utilizada no ensaio, em função da variação da pressão de trabalho.

A Tabela 6 apresenta os valores dos coeficientes de variação (CV%) simulando-se a sobreposição das distribuições individuais com um espaçamento de 0,50m entre pontas, uma vez que todos os fabricantes a declaram como o espaçamento ideal de pulverização. O cálculo foi realizado para as diferentes pressões de trabalho.

Tabela 5 - Valores de faixa total, faixa efetiva e relação entre faixa efetiva e faixa total em diferentes pressões de trabalho de ponta de pulverização utilizada no ensaio

Ponta de pulverização	Pressão de Trabalho (kPa)	Faixa total (m)	Faixa efetiva (m)	Relação faixa efetiva e total (%)
GA 11002	210	0,875	0,50	57,1
	415	1,025	0,50	48,8
	620	1,075	0,50	46,5
	830	1,075	0,50	46,5
TTJ 60-1002	150	1,375	0,50	36,4
	300	1,400	0,50	35,7
	450	1,400	0,50	35,7
	600	1,350	0,50	37,0
TT 10002	100	1,425	0,50	35,1
	252	1,675	0,50	30,8
	433	1,575	0,50	31,7
	600	1,525	0,50	32,8

A ponta GA 11002 apresentou uma variação na faixa total de 0,2m (Tabela 5) em função da alteração da pressão hidráulica. Essa variação torna-se evidente na alteração do padrão de distribuição (Figura 23), uma vez que nas maiores pressões as faixas de deposição foram semelhantes quando comparadas a menor pressão (210 kpa). Os perfis de distribuição volumétrica apresentam deposição descontínua, decrescendo do centro para as extremidades. Conforme Matuo et al. (2001), pontas com esse padrão de distribuição são recomendadas para trabalhar em barras, necessitando de sobreposição entre elas.

Essa ponta apresenta um decréscimo nos valores de CV% (Tabela 6) com o aumento da pressão hidráulica, sendo que o menor valor obtido (3,1%) na sobreposição entre os jatos de pulverização ocorreu na pressão de 830 kPa.

Tabela 6 - Coeficiente de variação (CV%) da distribuição volumétrica transversal das pontas de pulverização estudadas em diferentes pressões de trabalho com espaçamento entre pontas de 0,5 m

Ponta de pulverização	Pressão de Trabalho (kPa)	Altura (m)	Coeficiente de Variação (%)
GA 11002	210	0,40	8,3
	415	0,40	4,0
	620	0,40	3,5
	830	0,40	3,1
TTJ 60-1002	150	0,50	5,0
	300	0,50	5,3
	450	0,50	3,8
	600	0,50	3,7
TT 10002	100	0,50	5,7
	252	0,50	4,5
	433	0,50	5,8
	600	0,50	7,1

Conforme pode ser observado na tabela 5, a ponta TTJ 60-11002 foi a que apresentou a menor variação na faixa total (0,05m), sendo que nas pressões intermediárias (300 e 450 kPa) foram obtidos os maiores faixas de deposição. Porém, apresentou muita alteração no padrão de distribuição individual em função da variação da pressão hidráulica (Figura 24). Segundo Perecin et al. (1998), a maior deposição no centro quando comparada a ponta GA 11002 é característica de pontas de jato plano duplo.

Com relação ao CV% da sobreposição dos jatos, a ponta TTJ 60-11002 também apresenta uma diminuição para os maiores valores de pressão (Tabela 6), em função da alteração do padrão de distribuição e do espectro de gotas.

A ponta TT 11002 apresentou a maior variação na faixa total (0,25m), com a maior faixa na pressão de 252 kPa (Tabela 5). Também pode ser observada uma grande alteração no padrão de distribuição individual de acordo com a variação da

pressão hidráulica (Figura 25). Como também relatado por Freitas et al. (2005), na pressão de 100 kPa a distribuição volumétrica triangular não é evidente como nas maiores pressões. Os autores também encontraram valores baixos de CV% em torno de 7% para a mesma ponta, assim como os valores desse trabalho, que teve como maior o valor 7,1% (600 kPa).

Para todas as pontas e pressões estudadas, os valores de coeficiente de variação foram menores que 10%, ficando de acordo com Langenakens (1999). De maneira geral ocorreu uma tendência de diminuição dos valores de CV% na distribuição volumétrica transversal com o aumento da pressão hidráulica. Assim, as condições operacionais de altura, espaçamento entre pontas (0,5m), e amplitude de pressão recomendada pelos fabricantes foram validadas.

4.4 Cobertura foliar

4.4.1 Estrato superior

A análise de variância com aplicação do teste de Bartlett com 5% de significância constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 7).

Tabela 7 - Quadro de análise de variância da cobertura foliar (%) para o estrato superior da planta

FATOR	G.L.	Q.M.	p- valor
Blocos	3	0.0008052 ^{ns}	0.37650
Ponta	2	0.0008144 ^{ns}	0.35166
Pressão	2	0.0079522 **	0.00049
Ponta x Pressão	4	0.0033530 **	0.00748
Resíduo	24	0.0007458	
Total	35		
CV%	7,37%		

^{ns} Diferença não significativa. ** Diferença significativa à 1% de probabilidade

Uma vez constatada a existência de diferença significativa na interação, procedeu-se o desdobramento e o teste de comparações de médias pela diferença mínima significativa (LSD - *least significant difference*), apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato superior da planta

Pressão	Pontas		
	GA	TT	TTJ
200kpa	13,35 Aa	12,75 Aa	9,29 Cb
350kpa	12,52 Aa	13,48 Aa	12,11 Ba
500kpa	15,29 Aa	13,42 Aa	16,87 Aa

Letras maiúsculas iguais nas colunas (verticais) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas iguais nas linhas (horizontal) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro

No estrato superior da planta houve diferença significativa da cobertura foliar conforme a ponta e a pressão de pulverização utilizada. Entre as pontas utilizadas, a TTJ 60-11002 na pressão de 200 kPa (TTJ 200) foi significativamente menor do que as demais pontas estudadas, com um decréscimo de 43% comparada a ponta GA 11002. Aumentando-se a pressão hidráulica para a ponta TTJ 60-11002, o tratamento TTJ 500 foi significativamente superior aos demais tratamentos (TTJ 350 e TTJ 500), que também diferiram entre eles.

Esses resultados podem estar associados à formação de gotas grossas a baixas pressões pela ponta de jato plano duplo, o que deve favorecer a baixa cobertura do alvo. A justificativa é valida, pois com o aumento da pressão, a ponta TTJ 60-11002 apresenta maiores valores de cobertura foliar. Antuniassi et al. (2004) relatam que a produção de gotas finas pela ponta de jato plano duplo proporcionam melhores coberturas nas partes médias e baixas da planta em comparação a gotas grossas produzidas por pontas com indução de ar.

4.4.2 Estrato inferior

A análise de variância com aplicação do teste de Bartlett com 5% de significância não constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 9).

Tabela 9 - Quadro de análise de variância da cobertura foliar (%) para o estrato inferior da planta

FATOR	G.L.	Q.M.	p- valor
Blocos	3	0.00069727 ^{ns}	0.47699
Ponta	2	0.00160670 ^{ns}	0.16087
Pressão	2	0.00068721 ^{ns}	0.44230
Ponta x Pressão	4	0.00227560 ^{ns}	0.04890
Resíduo	24	0.00081408	
Total	35		
CV%	10,01%		

^{ns} Diferença não significativa

Mesmo não sendo constatada a existência de diferença significativa entre os tratamentos, procedeu-se o teste de comparações de médias pela diferença mínima significativa (LSD - *least significant difference*), apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios de cobertura foliar (%) e teste de comparação de médias para o estrato inferior da planta

Pressão	Pontas		
	GA	TT	TTJ
200kpa	7,30 Aa	8,17 Aa	7,14 Aa
350kpa	9,18 Aa	8,04 Aa	7,90 Aa
500kpa	9,25 Aa	5,94 Ba*	9,03 Aa

Letras maiúsculas iguais nas colunas (verticais) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas iguais nas linhas (horizontal) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro. * Significativo à 7%

Porém, aumentando-se o nível de significância para 7% foi encontrada uma diferença significativa entre as diferentes pressões para a ponta TT 11002. Nesse caso, o tratamento TT 500 foi significativamente menor (38%), quando comparado as menores pressões estudadas (200 e 350 kPa).

Na pressão de 500 kPa a ponta TT 11002 e a ponta TTJ 60-11002 produzem gotas médias na pressão de 500 kPa (SPRAYING SYSTEMS, 2008), mostrando que a cobertura foliar poderia não ser significativamente diferente. Porém, essa diferença

também foi encontrada por Tormen et al. (2012), que relataram cobertura foliar duas vezes maior no dossel inferior pela ponta de jato duplo, em relação a ponta de jato plano.

Em relação às pontas com indução de ar, Cunha et al. (2011) relatam que as gotas ao se chocarem contra o alvo, subdividem-se, podendo melhorar a cobertura do alvo, porém esse processo ainda não está bem esclarecido pela literatura. Os autores enfatizam que gotas grossas não são indicadas para aplicações que requeiram boa cobertura, contudo gotas aeradas apresentam comportamento diferenciado em relação a gotas sólidas, sendo que as vantagens deste tipo de ponta é a diminuição da deriva e a menor influência do vento e da alta temperatura.

Esse resultado afirma o que é recomendado pelo fabricante, que restringe a aplicação de produtos de contato a menores pressões, uma vez que se elevando a pressão a eficiência na cobertura foliar diminui com o uso da ponta TT 11002.

4.5 Depósito foliar

4.5.1 Estrato superior

A análise de variância com aplicação do teste de Bartlett com 5% de significância não constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 11).

Tabela 11 - Quadro de análise de variância do depósito foliar (µg cm^{-2}) para o estrato superior da planta

FATOR	G.L.	Q.M.	p- valor
Blocos	3	1.1256 ^{ns}	0.54219
Ponta	2	1.9621 ^{ns}	0.29670
Pressão	2	1.4314 ^{ns}	0.40724
Ponta x Pressão	4	3.0266 ^{ns}	0.13105
Resíduo	24	1.5345	
Total	35		
CV%	14,77%		

^{ns} Diferença não significativa

Mesmo não sendo constatada a existência de diferença significativa entre os tratamentos, procedeu-se o teste de comparações de médias pela diferença mínima significativa (LSD - *least significant difference*), apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios de depósito foliar (µg cm^{-2}) e teste de comparação de médias para o estrato superior da planta

Pressão	**Pontas**		
	GA	**TT**	**TTJ**
200kpa	7,95 Aa	8,67 Aa	7,46 Aa
350kpa	8,30 Aa	7,64 Aa	9,32 Aa
500kpa	8,67 Aa	7,77 Aa	9,70 Aa

Letras maiúsculas iguais nas colunas (verticais) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas iguais nas linhas (horizontal) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro

Como não houve diferença significativa entre os tratamentos, pode-se dizer que a quantidade de traçador depositada no extrato superior da planta não tem influência do tipo de ponta e pressão hidráulica utilizada. Por produzir gotas grossas e muito grossas, a ponta GA 11002 poderia ter apresentado depósito foliar significativamente maior quando comparada as demais pontas, uma vez que isso reduz as perdas e melhora a penetração das gotas na planta.

Wolf et al. (2009) quando compararam a eficiência de diferentes pontas, entre elas as mesmas desse estudo, também não relataram diferenças significativa no depósito de pulverização. Entretanto, os resultados estão em desacordo com Zhu et al. (2004), que relataram maiores depósitos no estrato superior para pontas de jato plano convencional e jato duplo em relação a ponta com indução de ar.

Porém, ao produzir gotas maiores o traçador pode ser perdido por escorrimento para as partes inferiores da planta, ocasionando menores depósitos na parte superior. De qualquer forma, os resultados obtidos indicam que entre as três pontas estudadas qualquer uma delas pode ser utilizada sem acarretar problemas com a eficiência da aplicação.

4.5.2 Estrato inferior

A análise de variância com aplicação do teste de Bartlett com 5% de significância não constatou diferença estatística entre os tratamentos estudados conforme pode ser visto no quadro de análise de variância (Tabela 13).

Tabela 13 - Quadro de análise de variância do depósito foliar (µg cm^{-2}) para o estrato superior da planta

FATOR	G.L.	Q.M.	p- valor
Blocos	3	0.91493 ^{ns}	0.54968
Ponta	2	3.13894 ^{ns}	0.10572
Pressão	2	0.25529 ^{ns}	0.81930
Ponta x Pressão	4	0.93282 ^{ns}	0.57757
Resíduo	24	1.27026	
Total	35		
CV%	20,55%		

^{ns} Diferença não significativa

Assim como para o estrato superior, mesmo não constatando a existência de diferença significativa entre os tratamentos, procedeu-se o teste de comparações de médias pela diferença mínima significativa (LSD - *least significant difference*), apresentada na tabela 14.

Tabela 14 - Valores médios de depósito foliar (µg cm^{-2}) e teste de comparação de médias para o estrato inferior da planta

Pressão	Pontas		
	GA	**TT**	**TTJ**
200kpa	5,17 Aa	5,30 Aa	5,50 Aa
350kpa	6,07 Aa	4,78 Aa	5,72 Aa
500kpa	6,35 Aa	4,63 Aa	5,84 Aa

Letras maiúsculas iguais nas colunas (verticais) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas iguais nas linhas (horizontal) indicam médias iguais, pelo teste LSD à 5% de probabilidade de erro

Observa-se que as pontas estudadas seguiram o mesmo comportamento relatado na cobertura foliar do mesmo estrato da planta. Os valores de depósito e cobertura da ponta de jato plano (TT 11002) reduziram com o aumento da pressão hidráulica. O contrário pode ser observado com as pontas TTJ 60-11002 e GA 11002, que foram mais eficientes quando associadas a maiores pressões. Viana et al. (2008) relataram o oposto, aumentando-se a pressão hidráulica a ponta TT 11002 apresentou maior cobertura foliar, ao contrário da ponta de jato duplo que teve menor cobertura foliar nas maiores pressões.

Do mesmo modo que relatado para o estrato superior, a quantidade do traçador que atinge o baixeiro da planta não é influenciada e o depósito foliar não difere entre as diferentes pontas e pressões hidráulicas estudadas. Levando-se em consideração a aplicação de produtos sistêmicos, qualquer uma das pontas pode ser utilizada sem ocasionar perdas na aplicação.

A relação destacada anteriormente entre a cobertura e depósito foliar para ambos os estratos foi analisada por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson e classificada conforme interpretação de Dos Santos et al. (2012). Os coeficientes de correlação estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Quadro de correlação linear entre os parâmetros de cobertura e depósito foliar para os estratos superior e inferior da planta

	Cob. Sup.	**Cob. Inf.**	**Dep. Sup.**	**Dep. Inf.**
Cob. Sup.	-			
Cob. Inf.	0,21	-		
Dep. Sup.	**0,42****	0,04	-	
Dep. Inf.	0,15	**0,74****	0,12	-

Correlação significativa, ao nível de 0,05 (*) ou 0,01 (**) de probabilidade de erro

Observa-se uma correlação positiva e significativa tanto para estrato inferior com superior. Porém, a correlação entre depósito e cobertura para o estrato superior é moderada (0,42) e forte (0,74) para o estrato superior. Ou seja, à medida que se aumenta a cobertura foliar melhora-se o depósito, e vice-versa.

4.6 Relação entre cobertura e depósito

As Figuras 26 a 28 mostram os valores relativos percentuais de cobertura e depósito foliar para cada estrato da planta e pressão hidráulica utilizada. Observa-se que houve um comportamento distinto tanto entre as pontas como também para os estratos da planta.

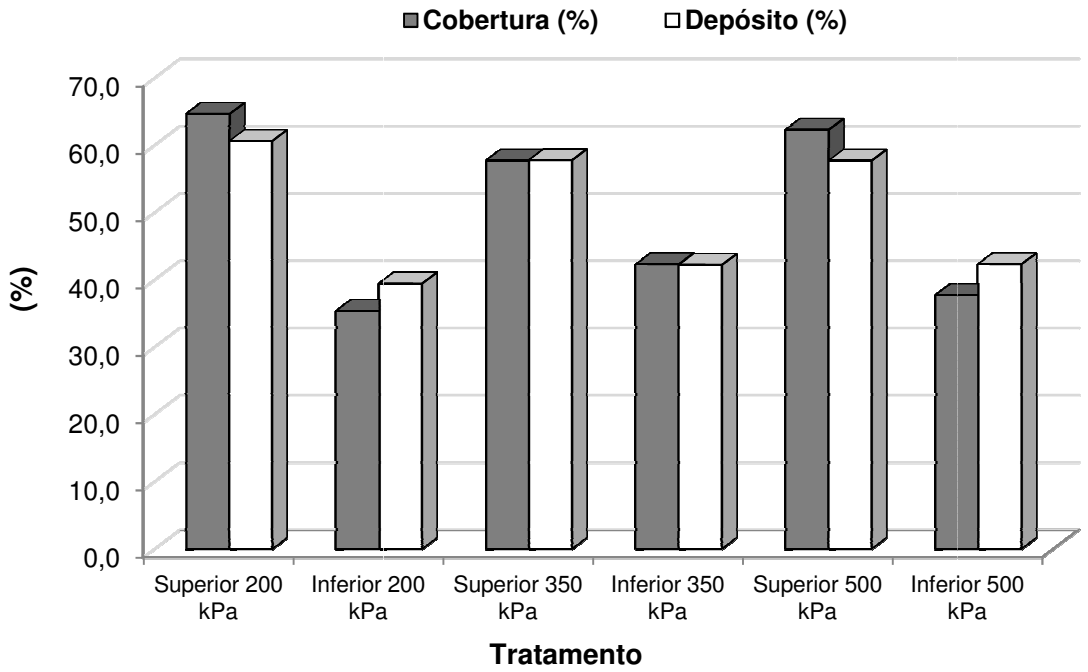

Figura 26 - Valores relativos percentuais de cobertura e depósito foliar para todos os tratamentos da ponta GA 11002

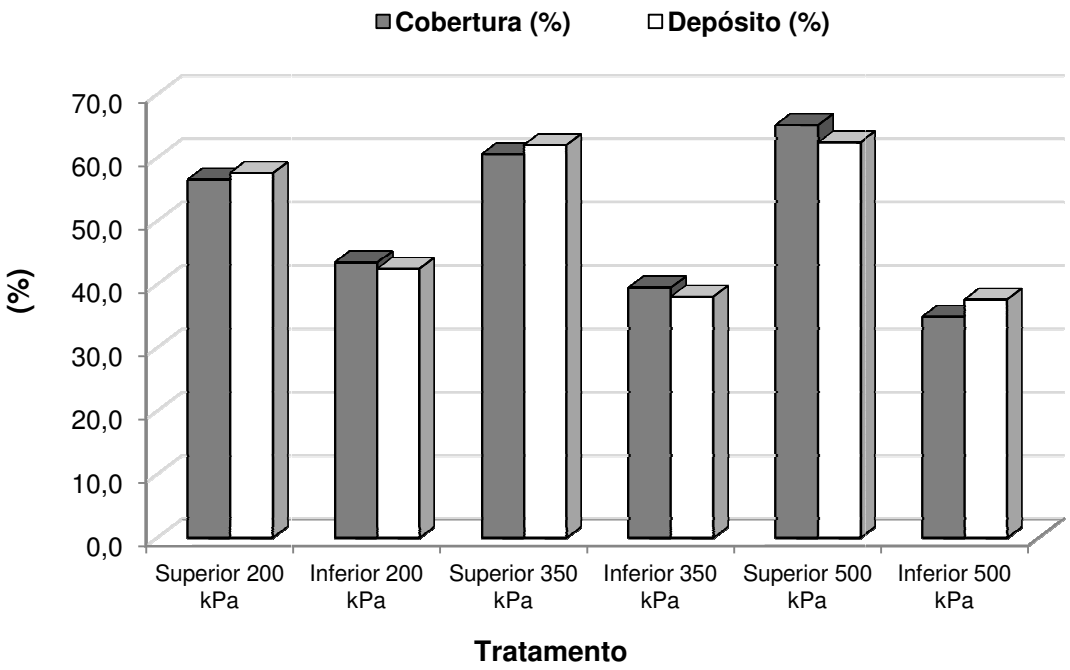

Figura 27 - Valores relativos percentuais de cobertura e depósito foliar para todos os tratamentos da ponta TTJ 60-11002

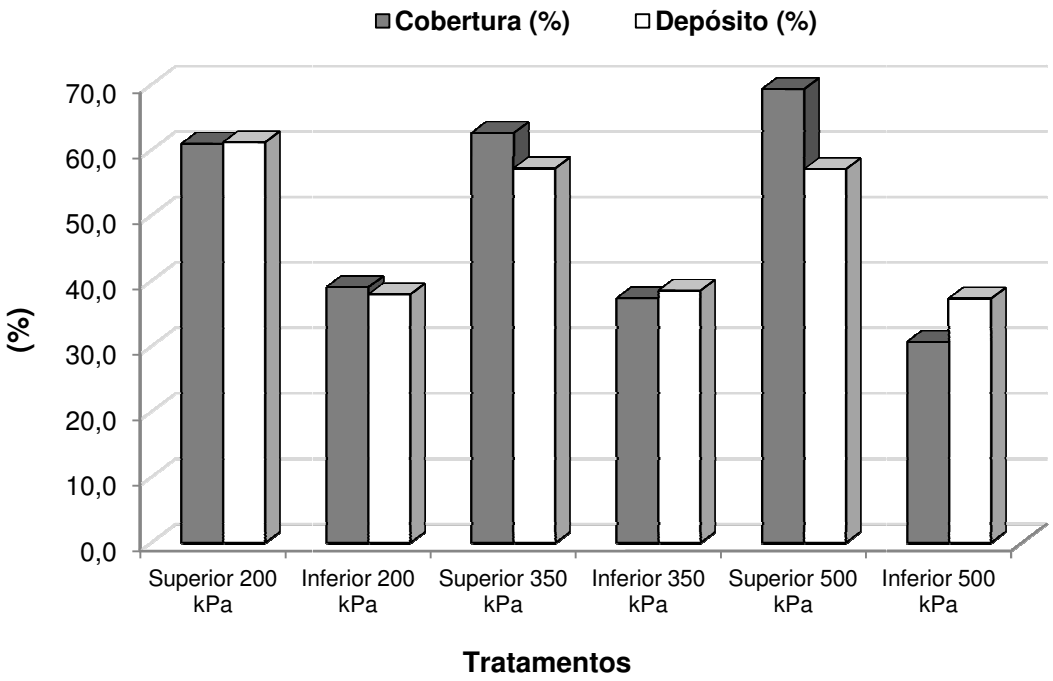

Figura 28 - Valores relativos percentuais de cobertura e depósito foliar para todos os tratamentos da ponta TT 11002

Com relação a ponta TTJ 60-11002 nas três pressões estudadas (Figura 27), os valores percentuais de depósito e cobertura foliar em cada estrato da planta permaneceram praticamente iguais. A diferença na porcentagem de depósito e cobertura foliar para a ponta TT 11002 (Figura 28) foi mais evidente nas maiores pressões (350 e 500 kPa), com o maiores valores percentuais de depósito no estrato superior, enquanto que no estrato superior o percentual de cobertura foliar foi maior.

De modo geral essa inversão da predominância do depósito no estrato superior para a cobertura foliar no estrato inferior pode ser em decorrência do efeito da estratificação vertical das gotas ao longo do dossel da planta, sendo que gotas mais grossas ocasionam maior depósito e baixa cobertura foliar no estrato superior da planta e as gotas mais finas geram menor depósito e elevada cobertura foliar na parte inferior da planta (CUNHA et al., 2011; NASCIMENTO et al., 2009; ZAIDAN et al., 2012).

Em alguns casos a relação entre depósito e cobertura foliar foi muito semelhante em ambos os estratos. Antuniassi (2005) ressalta que mesmo quando é utilizada uma ponta que produz gotas predominantemente grossas, existe uma pequena parte do volume aplicado que é formado por gotas finas. Dessa forma pode-se dizer que uma determinada ponta não produz todas as gotas do mesmo tamanho, mas sim uma faixa de tamanhos de gotas (espectro da pulverização), o que pode ter ocasionado semelhança entre os parâmetros avaliados.

5 CONCLUSÕES

A ponta TTJ 60-11002 apresentou menos eficiência na menor pressão para a cobertura foliar no estrato superior da planta.

Nas maiores pressões houve um aumento da cobertura foliar favorecido pela formação de gotas médias e finas pelas pontas avaliadas.

Não houve influência dos três modelos de pontas de pulverização e das diferentes pressões no depósito foliar da pulverização.

O aumento do depósito foliar proporciona uma melhor cobertura foliar, e vice-versa.

REFERÊNCIAS

ANTUNIASSI, U.R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA, CNPA, 2005. Disponível em: <www.cnpa.embrapa.br>. Acesso em: 10 abr. 2013.

_____. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja 2009**, Rondonópolis, n. 13, p. 299-315, 2009.

ANTUNIASSI, U.R.; CAMARGO, T.V.; BONELLI, A.P.O.; ROMAGNOLE, H.W.C. Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicações terrestre com diferentes tipos de pontas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais**... Botucatu: FEPAF, 2004. p. 48-51.

ALVARENGA, M.A.R.; TEIXEIRA, A.S.; CHALFUN, N.M.J. **Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia.** Lavras: UFLA, 2004. 400 p.

ARIKITA, F.N. **Bases genéticas e fisiológicas da capacidade de regeneração *in vitro* apresentada por espécies selvagens relacionadas ao tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.).** 2011. 99 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING. **ASABE S572.1:** spray nozzle classification by droplet spectra. St Joseph, 2009. 4 p.

BAESSO, M.M.; GOULART JUNIOR, R.; R.G.; TEIXEIRA, M.M.; RODRIGUES JUNIOR, F.A.; F.A.R.; RUAS, R. A. A. Avaliação da uniformidade de distribuição volumétrica de bicos hidráulicos. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 120-127, 2009.

BAUER, F.C.; RAETANO, C.G. Distribuição volumétrica de calda produzida pelas pontas de pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-284, 2004.

BAUER, F.C.; RAETANO, C.G.; PEREIRA, F.A.R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de Jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 646-661, 2006.

BAYAT, A.; BOZDOGAN, N.Y. An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 24, n. 11, p. 951-960, 2005.

BRAEKMAN, P.; FOQUE, D.; MESSENS, W.; VAN LABEKE, M.; PIETERSD, J.G.; NUYTTENS, D. Effect of spray application technique on spray deposition in greenhouse strawberries and tomatoes. **Pest Management Science**, London, v. 66, n. 2, p. 203–212, 2010.

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

CHAPPLE, A.C.; HALL, F.R.; BISHOP, B.L. Assessment of single-nozzle patternation and extrapolation to moving booms. **Crop Protection**, Guildford, v. 12, p. 207-213, 1993.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Bicos de pulverização:** seleção e uso. Diadema: Spraying Systems do Brasil, 1997. 8 p.

_____. **Considerações sobre tecnologia de aplicação de agroquímicos agrícolas**. São Paulo: Teejet, 1999. 15 p.

CUNHA, J.P.A.R.; RUAS, R.A.A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 61-66, 2006.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M. Escolha a dedo. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 18, p. 8-11, 2003.

CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R.; FERREIRA, M.C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, p. 1153-1158, 2010. Número Especial.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1069-1074, 2005.

CUNHA, J.P.A.R., FARNECE, A.C., OLIVET, J.J., VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre, **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.

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

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F.; FERNANDES, H.C.; COURY, J.R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 39, n. 10, p. 977-985, 2004.

CUNHA, M.; CARVALHO, C.; MARCAL, A.R.S. Assessing the ability of image processing software to analyze spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 111, n. 1, p. 11-23, 2012.

DE CERQUEIRA, D.T.R.; RAETANO, C.G.; DAL POGETTO, M.H.A.; PRADO, E.P.; CHRISTOVAN, M.E.; SERRA, M.E.; COSTA, S.I.A. Agricultural spray deposit quantification methods. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 28, n. 6, p. 825-831, 2012.

DE SCHAMPHELEIRE, M.; NUYTTENS, D.; DERKEYSER, D.; VERBOVEN, P.; SPANOGHE, P.; CORNELIS, W.; GABRIELS, D.; STEURBAUT, W. Deposition of spray drift behind border structures**. Crop Protection**, Amsterdam, v. 28, n. 12, p. 1061-1075, 2009

DERKSEN, R.C.; MILLER, S.A.; OZKAN, H.E.; FOX, R.D. **Spray deposition characteristics on tomatoes and disease management as influenced by droplet size, spray volume, and air-assistance.** St. Joseph: ASAE, 2001. 16 p. (ASAE Paper, 01-1120).

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

DERKSEN, R.C.; FRANTZ, J.; RANGER, C.M.; LOCKE, J.C.; ZHU, H.; KRAUSE, C.R. Comparing greenhouse handgun delivery to poinsettias by spray volume and quality. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 51, n. 1, p. 27-33, 2008.

DI OLIVEIRA, J.R.G. **Cobertura da cultura da soja e deposição de inseticida aplicado com e sem adjuvante e diferentes equipamentos e volumes de calda.** 2008. 84 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

DOS SANTOS, D.; DE SOUZA, E.G.; NÓBREGA, L.H.P.; BAZZI, C.L.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 843–848, 2012.

DOS SANTOS, J.M.F. Aspectos críticos na aplicação de defensivos agrícolas. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 8., 2005, Registro. **Anais...** São Paulo: Instituto Biológico, 2005. p. 108-128.

ESHED, Y.; ZAMIR, D. An introgression line population of *Lycopersicon pennellii* in the cultivated tomato enables the identification and fine mapping of yield-associated QTL. **Genetics**, Bethesda, v. 141, n. 3, p. 1147-1162, 1995.

FAGGION, F. **Desenvolvimento de métodos para estimar a quantidade de ar incluído às gotas por pontas de pulverização com indução de ar.** 2002. 81 p. Tese (Doutorado em Energia da Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

FAO. The Statistics Division. 2009. Disponível em: <http://www.faostat.fao.org>. Acesso em: 16 jun. 2012.

FERREIRA, M.C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba-SP: Prol-Editora Gráfica, 2006. v. 1, p. 293-303.

FERREIRA, M.C.; LOHMANN, T.R.; CAMPOS, A.P.; VIEL, S.R.; FIGUEIREDO, A. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de Corda-de-viola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 697-705, 2011.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura:** agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 412 p.

FREITAS, F.C.L.; TEIXEIRA, M.M.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; MACHADO, A.F.L.; VIANA, R.G. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 161-167, 2005.

FREITAS JR., G. **Venda de defensivos segue em alta no Brasil**. Disponível em: <http://www.sindag.com.br/noticia.php?News_ID=2337>. Acesso em: 25 jul. 2013.

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

HALLEY, S.; VAN EE, G.; HOFMAN, V.; PANIGRAHI, S.; GU, H. Fungicide deposition measurement by spray volume, drop size, and sprayer system in cereal grains. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 24, n. 1, p. 15–21, 2008.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Berkeley: University of California, Agricultural Experiment Station, 1950. 32 p.

HOLTAN, H.E.E.; HAKE, S. Quantitative trait locus analysis of leaf dissection in tomato using *Lycopersicon pennellii* segmental introgression lines. **Genetics,** Bethesda, v. 165, n. 3, p. 1541-1550, 2003.

HUYGHEBAERT, B.; DEBOUCHE, C.; MOSTADE, O. Flow rate quality of new flat fan nozzles. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 44, n. 4, p. 769-773, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Previsão de safra.** 2012. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2013.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO5682-1:** equipment for crop protection. Spraying equipment. Pt. 1: Test methods for sprayer nozzles. Geneva, 1996. 17 p.

JACTO. **Manual técnico sobre orientação de pulverização.** 2001. Disponível em: <http://www.jacto.com.br>. Acesso em: 14 abr. 2011.

JIANG, C.; DERKSEN, R.C. Morphological image processing for spray deposit analysis. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 5, p. 1581-1591, 1995.

LANGENAKENS, J. **Spraying nozzles:** usability limits. St. Joseph: ASAE, 1999. 9 p. (ASAE Paper, 99-1027).

MACINTYRE-ALLEN, J.K.; TOLMANB, J.H.; SCOTT-DUPREEA, C.D.; RON HARRIS, C. Confirmation by fluorescent tracer of coverage of onion leaves for control of onion trips using selected nozzles, surfactants and spray volumes. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 26, n. 11, p. 1625-1633, 2007.

MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of charging voltage, application speed, target height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 134–141, 2010.

MATTHEWS, G.A. **Application of pesticide to crops.** London: Imperial College Press, 1999. 325 p.

_____. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell Science, 2000. 432 p.

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

MATUO, T.; PIO, L.C; RAMOS, H.H.; FERREIRA, L.R. Tecnologia de aplicação e equipamentos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR. **Curso de proteção de plantas**. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV, 2001. Módulo 2, 85 p.

MILTON, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, Abingdon, v. 8, n. 12, p. 1807-1827, 1987.

MENDA, N.; SEMEL, Y.; PELED, D.; ESHED, Y.; ZAMIR, D. In silicon screening of a saturated mutation library of tomato. **The Plant Journal**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 861-872, 2004.

MOTA, A.A.B. **Quantificação do ar incluído e espectro de gotas de pontas de pulverização em aplicações com adjuvante.** 2011. 63 p. Dissertação (Mestre em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2011.

MURPHY, S.D.; MILLER, P.C.H.; PARKIN, C.S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 75, n. 2, p. 127-137, 2000.

NASCIMENTO, J.M.; SOUZA, C.M.A.; GAVASSONI, W.L.; BACCHI, L.M.A.; FENGLER, G.W. Controle de ferrugem asiática da soja utilizando-se diferentes pontas de pulverização em Maracajú - MS. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, San José de las Lajas**,** v. 18, n. 1, p. 17-22, 2009.

NUYTTENS, D.; WINDEY, S.; SONCK, B. Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spray applications. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 89, n. 4, p. 417-423, 2004.

NUYTENS, G.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIREC, M.; SONCKA, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.

OERKE, E.C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

PALLADINI, L.A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 p. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2000.

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

PAULSRUD, B.E.; MONTGOMERY, M. **Characteristics of fungicides used in field crops.** Champaign: University of Illinois at Urbana, 2005. 18 p. (Report on Plant Disease, 1002).

PERECIN, D.; PERESSIN, V.A.; MATUO, T.; BRAZ, B.A.; PIO, L.C. Padrões de distribuição de líquidos obtidos com bicos TF-VS4, TJ60-11006 e TQ 15006 em mesa de prova. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 175-182, 1998.

PROKOP, M.; KEJKLICEK, R. Effect of adjuvants on spray droplet size of water. **Research in Agricultural Engineering**, Prague, v. 48, n. 4, p. 144-148, 2002.

PROKOP, M.; VEVERKA, K. Influence of droplet spectra on the efficiency of contact fungicides and mixtures of contact and systemic fungicides. **Plant Protection Science**, Prague, v. 42, n. 1, p. 26-33, 2006.

ROMAN, R.A. **Estudo das características de tamanho de gotas de bicos de pulverização de energia centrífuga e hidráulica na cultura do algodoeiro**. 2010. 121 p. Tese (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2010.

SALYANI, M.; WHITNEY, J.D. Evaluation of methodologies for field studies of spray deposition. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 31, n. 2, p. 390-395, 1988.

SÁNCHES-HERMOSILLA, J.; MEDINA, R.; RODRIGUEZ, F.; CALLEJON, A. Use of food dyes as tracers to measure multiple Spray deposits by ultraviolet visible Absorption spectrophotometry. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 4, p. 1177-1186, 2008.

SHARDA, A.; FULTON, J.P.; MCDONALD, T.P.; BRODBECK, C.J. Real-time nozzle flow uniformity when using automatic section control on agricultural sprayers. **Computers and Electronic in Agriculture**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 169-179, 2011.

SPRAYING SYSTEMS. **Produtos de pulverização para agricultura:** catálogo 50A-P. Wheaton, 2008. 192 p.

STANILAND, L.N. Fluorescent tracer techniques for the study of spray and dust deposit. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 4, n. 2, p. 100-125, 1959.

TAYLOR, W.A.; WOMAC, A.R.; MILLER, P.C.H.; TAYLOR, B.P. An attempt to relate drop size to drift risk. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PESTICIDE APPLICATION FOR DRIFT MANAGEMENT, 1, 2004, Waikoloa. **Proceedings…** Pullman: Washington State University, 2004. p. 210-223.

TORMEN, N.R.; DA SILVA, F.D.L.; DEBORTOLI, M.P.; UEBEL, J.D.; FÁVERA, D.D.; BALARDIN, R.S. Deposição de gotas no dossel e controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* na soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 802-808, 2012.

VALE, F.X.R.; FERNADES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R. QUANT: A software plant disease severity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 8., 2003, Christchurch. **Proceedings...** Christchurch: International Society for Plant Pathology, 2003. p. 105.1 CD-ROM.

VAN OS, E.A.; MICHIELSEN, J.M.G.P.; VAN DEN BERG, J.V.; PORSKAMP, H.A.J.; VAN DE ZANDE, J.C. Reduction of spray pressure leads to less emission and better deposition of spray liquid at high-volume spraying in greenhouse tomato. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 691, n. 2, p. 187-194, 2005.

VÁSQUEZ-CASTRO, J.A. **Resíduos de fenitrotion e esfenvalerato em grãos de milho e trigo, em alguns de seus produtos processados e sua ação residual sobre *Sitophilus oryzae* (L., 1973), *Sitophilus zeamais* Motscha., 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e *Rhyzoperha dominica* (Fabr., 1792) (Coleoptera: Bostrichidae).** 2006. 214 p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECONS, P.R.; SOUZA, G.V.R. Deposição de gotas no dossel da soja por diferentes pontas de pulverização hidráulica e pressões de trabalho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 428-435, 2008.

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

WOLF. R.E. Comparing downwind spray droplet deposits of fourflat–fan nozzle types measured in a wind tunnel and analyzed using dropletscan software. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 21, n. 2, p. 173-177, 2005.

WOLF, R.E.; FRIEDLI, C.; LAUER, B. **Comparison of spray droplet size and coverage for nozzles used for agronomic weed control.** St. Joseph: ASABE, 2009. 8 p. (ASABE Paper, MC09-207).

ZAIDAN, S.E.; GADANHA JR., D.; GANDOLFO, M.A; PONTELLI, C.O.; MOSQUINI, W.W. Performance of spray nozzles in land applications with high speed. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1126-1132, 2012.

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R.D. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 38-43, 2011.

ZHU, H.; DORNER, J.W.; ROWLAND, D.L.; DERKSEN, R.C.; OZKAN, H.E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 87, n. 3, p. 275-283, 2004.