

JORGE ALFREDO LUIZ FRANÇA

CARACTERIZAÇÃO DE GOTAS E RISCO POTENCIAL DE DERIVA DE  
APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

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

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

Co-orientador

Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

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

---

F814c      França, Jorge Alfredo Luiz, 1991-  
2016      Caracterização de gotas e risco potencial de deriva de aplicações de  
produtos fitossanitários / Jorge Alfredo Luiz França. - 2016.  
65 f. : il.

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

1. Agronomia - Teses. 2. Mecanização agrícola - Teses.  
3. Pulverização - Teses. 4. Defensivos vegetais - Teses. I. Cunha, João  
Paulo A. Rodrigues da, 1976-. II. Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

---

JORGE ALFREDO LUIZ FRANÇA

CARACTERIZAÇÃO DE GOTAS E RISCO POTENCIAL DE DERIVA DE  
APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

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

APROVADO em 27 de Agosto de 2016.

Prof. Dr. Wagner Santos Gonçalves

IF-GOIANO

Prof. Dr. Cleiton Gredson Sabin Benett

IF-GOIANO

Prof. Dra. Mariana Rodrigues Bueno

UNITRI

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

*Aos meus pais, Antônio e Luzimarcia  
França, irmãos Lincoln e David França e à  
minha companheira Fabiane Pereira, meus  
suportes nesta etapa de minha vida.*

***Dedico***

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a **Deus** por estar comigo em todos os momentos de minha vida, desde as dificuldades até os momentos de bençãos recebidas.

Aos meus pais **Antônio Luiz França** e **Luzimarcia Cândido e França**, por serem meu porto seguro nos momentos difíceis desde a infância até os dias atuais, por me mostrarem a importância da honestidade e humildade a partir de seus exemplos de vida, agradeço ainda pelo incentivo e apoio nas minhas escolhas.

Aos meus irmãos **Lincoln Luis França** e **David Luiz França**, meus melhores amigos e companheiros em todos os momentos.

À minha companheira **Fabiane Pereira da Silva Vieira**, por estar ao meu lado por diversos momentos de minha vida, sempre me apoiando e dando forças para enfrentar novos desafios.

Ao meu orientador **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha**, profissional admirável, exemplo de seriedade e conduta, a quem considero como exemplo de carreira a ser seguido, por ter acreditado que tudo isso seria possível, também pelas dicas e sugestões construtivas.

Ao meu co-orientador **Ulisses Rocha Antuniassi**, pelo apoio na elaboração do projeto e disponibilização da excelente equipe e das instalações do NEMPA para a execução dos experimentos.

Ao meu professor da graduação **Wagner Santos Gonçalves**, meu orientador em projetos de Iniciação Científica durante grande parte da graduação, por ter aberto as portas da Mecanização Agrícola.

Aos parceiros do LAMEC, que antes eram colegas de trabalho e agora se tornaram amigos, **Thales Cassemiro Alves**, **Sérgio Macedo Silva**, **César Henrique Souza Zandonadi**, **Rafael Marcão Tavares**, **Mariana Rodrigues Bueno**, **Guilherme Sousa Alves** e **João Eduardo Ribeiro da Silva** pelas experiências e conhecimentos trocados durante o mestrado.

Aos companheiros do NEMPA, da República Centro-Sul e alunos da pós-graduação da UNESP de Botucatu, **Alisson Augusto Barbieri Mota**, **Tito Manoel Rondon Alves Barbosa**, **Rodolfo Glauber Chechetto**, **Caio Alexandre Ferreira Moreira**, **Tiago Pereira da Silva Correia**, **Henrique Soares**, **Bruno Pavão de Assis** e **Marco André Grohskopf**, pelo apoio no período de execução dos experimentos.

A **Universidade Federal de Uberlândia**, pela infraestrutura disponibilizada e ao **CNPq** pelos recursos financeiros para condução do projeto.

A todos os colegas de pós-graduação, com quem vivenciei momentos felizes, trocas de experiências e conhecimentos e diversas madrugadas de estudo antes de provas, os levarei na lembrança para o resto de minha vida.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 OBJETIVO GERAL.....	5
2.1 Objetivos Específicos .....	5
REFERÊNCIAS .....	6
CAPÍTULO II: ESPECTRO E VELOCIDADE DE GOTAS DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO COM E SEM INDUÇÃO DE AR .....	9
RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
3.1 Hypro® .....	19
3.2 Magnojet® .....	25
3.3 Teejet® .....	30
4 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS .....	34
CAPÍTULO III: ESPECTRO, VELOCIDADE E DERIVA DE GOTAS PULVERIZADAS POR PONTAS COM E SEM INDUÇÃO DE AR COM ÓLEO MINERAL.....	37
RESUMO .....	38
ABSTRACT .....	39
1 INTRODUÇÃO.....	40
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49
3.1 Hypro® .....	49
3.2 Magnojet® .....	53
3.3 Teejet® .....	56

3.4 Correlação entre índice de deriva (%) e DMV ( $\mu\text{m}$ ) .....	59
4 CONCLUSÕES .....	61
REFERÊNCIAS .....	63

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

TABELA 1. Pontas de pulverização utilizadas nos experimentos.....	15
TABELA 2. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e velocidade das gotas, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Hypro <sup>®</sup> , com diferentes vazões e pressões de trabalho.....	20
TABELA 3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) e amplitude relativa (AR) resultantes da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro <sup>®</sup> com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes vazões e pressões de trabalho.....	21
TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) e amplitude relativa (AR) resultantes da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro <sup>®</sup> com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes vazões e pressões de trabalho.....	22
TABELA 5. Velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro <sup>®</sup> com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes vazões.....	24
TABELA 6. Velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro <sup>®</sup> , com diferentes vazões, submetidas a diferentes pressões de trabalho.....	25
TABELA 7. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e velocidade das gotas, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Magnojet <sup>®</sup> , com diferentes vazões e pressões de trabalho.....	26
TABELA 8. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) e velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet <sup>®</sup> com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes vazões.....	27
TABELA 9. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) e velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet <sup>®</sup> com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, submetidas a diferentes pressões de trabalho.....	28
TABELA 10. Amplitude relativa (AR) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet <sup>®</sup> com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes vazões, submetidas a diferentes pressões de trabalho.....	29
TABELA 11. Amplitude relativa (AR) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet <sup>®</sup> com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes vazões e pressões de trabalho.....	30
TABELA 12. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e velocidade das gotas, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Teejet <sup>®</sup> , com diferentes vazões e pressões de trabalho.....	30

TABELA 13. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) e amplitude relativa (AR), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet® com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes vazões.....	31
--	----

TABELA 14. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e velocidade média ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet® com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, submetidas a diferentes pressões de trabalho.....	32
---	----

TABELA 15. Velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet®, com diferentes vazões.....	33
---	----

### CAPÍTULO III

TABELA 1. Pontas de pulverização utilizadas nos experimentos.....	42
---	----

TABELA 2. Características físico-químicas das caldas de pulverização.....	49
---	----

TABELA 3. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), velocidade das gotas e índice de deriva, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Hypro®, com e sem óleo mineral.....	50
--	----

TABELA 4. Amplitude relativa (SPAN) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro® com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes tipos de calda de pulverização.....	50
---	----

TABELA 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro®, com (GA) e sem (VP) indução de ar.....	51
---	----

TABELA 6. Velocidade de gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro®, com diferentes tipos de calda de pulverização.....	52
---	----

TABELA 7. Índice de deriva (%) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro® com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.....	52
--	----

TABELA 8. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), velocidade das gotas e índice de deriva, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Magnojet®, com e sem óleo mineral.....	53
---	----

TABELA 9. Amplitude relativa (AR) e velocidade de gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização pontas de pulverização da fabricante Magnojet®, com (ADIA) e sem (AD) indução de ar e diferentes caldas de pulverização.....	54
---	----

TABELA 10. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização do fabricante Magnojet, com (ADIA) e sem (AD) indução de ar.....	55
--	----

TABELA 11. Índice de deriva (%) resultante da aplicação com pontas de pulverização pontas de pulverização da fabricante Magnojet, com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.....	55
TABELA 12. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), velocidade das gotas e índice de deriva, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Teejet®, com e sem óleo mineral.....	56
TABELA 13. Amplitude relativa (AR) e velocidade de gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet®, com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.....	57
TABELA 14. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet com (AIXR) e sem (XR) indução de ar.....	58
TABELA 15. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet® com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.....	58
TABELA 16. Índice de deriva (%) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet, com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.....	59

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

FIGURA 1. Ponta VP (HYPRO®, 2014).....	15
FIGURA 2. Ponta GA (HYPRO®, 2014).....	15
FIGURA 3. Ponta AD (MAGNOJET®, 2016A).....	15
FIGURA 4. Ponta ADIA (MAGNOJET®, 2016B).....	15
FIGURA 5. Ponta XR (TEEJET®, 2016).....	16
FIGURA 6. Ponta AIXR (TEEJET®, 2016).....	16
FIGURA 7. Equipamento VisiSize D30 (Oxford Lasers Imaging Division, England). Botucatu - SP.....	17
FIGURA 8. Bombas de pulverização Bomsistema® utilizadas para pressurização da calda de pulverização. Botucatu-SP.....	18
FIGURA 9. Laboratório de máquinas para pulverização da Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP.....	18

### CAPÍTULO III

FIGURA 1. Túnel de vento utilizado nos ensaios. Botucatu - SP.....	45
--	----

FIGURA 2. Distribuição dos fios de nylon no túnel de vento. Botucatu – SP.....	45
FIGURA 3. Espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV-2600. Botucatu – SP.....	47

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO III

GRÁFICO 1. Correlação entre o índice de deriva (ID, %) e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) para as pontas de pulverização GA e VP da fabricante Hypro®.....	60
GRÁFICO 2. Correlação entre o índice de deriva (ID, %) e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) para as pontas de pulverização AD e ADIA, da fabricante Magnojet®.....	60
GRÁFICO 3. Correlação entre o índice de deriva (ID, %) e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ) para as pontas de pulverização XR e AIXR, da fabricante Teejet®.....	61

## RESUMO GERAL

FRANÇA, JORGE ALFREDO LUIZ. **Caracterização de gotas e risco potencial de deriva de aplicações de produtos fitossanitários**. 2016. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

O conhecimento do espectro e da velocidade de gotas é de fundamental importância para se obter sucesso numa aplicação de produtos fitossanitários por meio da pulverização hidráulica, para que haja boa deposição de calda no alvo e mínimas perdas para o ambiente. Técnica comum para redução de deriva tem sido o uso de pontas de indução de ar, no entanto, seu comportamento ainda não é totalmente conhecido em função da inclusão de bolhas de ar em seu interior. Dessa forma, o objetivo neste trabalho foi avaliar o espectro, a velocidade e o risco potencial de deriva de gotas geradas por diferentes pontas de pulverização com e sem indução de ar, adicionando-se ou não adjuvante à calda, em diferentes condições operacionais. Foram realizados dois experimentos: O primeiro foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, no esquema fatorial 2 x 3 x 3 (duas pontas de pulverização, três vazões e três pressões de operação); O segundo experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, no esquema fatorial 2 x 2 (duas pontas de pulverização e calda com e sem óleo mineral). O espectro da população de gotas e a velocidade de queda foram determinados de forma direta, utilizando-se, para tanto, um analisador de gotas em tempo real, baseado na análise de imagens de alta resolução. O equipamento VisiSize D30 (Oxford Lasers Imaging Division, England) foi empregado para tal fim. O risco potencial de deriva foi avaliado por meio de um túnel de vento. Pontas de pulverização com indução de ar dos fabricantes Teejet<sup>®</sup>, Hypro<sup>®</sup> e Magnojet<sup>®</sup> produziram gotas com diâmetro da mediana volumétrica (DMV) maior que pontas sem a indução de ar, os aumentos verificados foram de 56,66; 63,31 e 128,61%, respectivamente. Acréscimos de pressão proporcionaram redução do DMV e da amplitude relativa e aumento da velocidade média das gotas. A velocidade das gotas apresenta pouca variação entre as pontas com e sem indução de ar com mesma vazão e pressão, no entanto, pontas com maiores vazões produzem gotas com maiores velocidades. De forma geral, a adição de óleo mineral provocou aumento na velocidade das gotas, redução de deriva e espectro de gotas mais homogêneo. Verificou-se correlação inversa entre o potencial de deriva e o DMV das gotas geradas, fato que indica que este parâmetro pode ser usado para prever o comportamento do risco de deriva.

**PALAVRAS-CHAVE:** mecanização agrícola, tecnologia de aplicação, pulverização.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU (Orientador) e Ulisses Rocha Antuniassi – UNESP.

## GENERAL ABSTRACT

FRANÇA, JORGE ALFREDO LUIZ. **Characterization of drops and potential risk of drift of pesticides application.** 2016. 65 p. Dissertation (Master Program in Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia.<sup>2</sup>

The knowledge of the spectrum and drops speed is of paramount importance for a successful application of pesticides through a hydraulic spray, with good spray deposition on target and minimal damage to the environment. One of the most common technique for drift reduction has been the use of air induction nozzles, however, their behavior is not yet fully known due to the inclusion of air bubbles in its interior. Thus, the objective of this study was to evaluate the spectrum, the speed, the potential risk of drift and the amount of included air in drops generated by different spray nozzles with and without air induction, adding adjuvant to spray or not, on different operating conditions. Two experiments were conducted. The first experiment was conducted in a completely randomized design, with five replications, in a factorial 2 x 3 x 3 (two nozzles, three flow rates and three operating pressures). The second experiment was carried out in a completely randomized design, with five replications, in a factorial 2 x 2 (two spray nozzles and spray with and without mineral oil). The spectrum of the population of drops and the fall speed was determined directly, using a real time drops analyzer, which uses high resolution images for the analysis. The equipment VisiSize D30 (Oxford Lasers Imaging Division, England) was used in this study. The potential drift risk was evaluated by means of a wind tunnel. Spray nozzles with air induction by the manufacturers Teejet®, Hypro® and Magnojet® produced drops with a greater DMV than spray nozzles without air induction, and these increases ranged from 56.66; 63.31 to 128.61%, respectively. Pressure rise resulted in further reduction of the volumetric median diameter (DMV) as well as the relative amplitude and increase the average drops speed. The velocity of the drops presented little variation between the spray nozzles with and without air induction with the same pressure and flow rate, however, spray nozzles with larger flow rates produce drops with higher speeds. In general, the addition of mineral oil resulted in an increase in the drops velocity, reduced drift and a more homogeneous droplet spectrum. There is an inverse correlation between drift potential and the DMV of the drops generated, which indicates that it can be used to predict the behavior of potential drift.

**Keywords:** agricultural mechanization, application technology, spray.

---

<sup>2</sup> Guidance Committee: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU (Major Professor) and Ulisses Rocha Antuniassi – UNESP.

## **CAPÍTULO I**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

As lavouras estão propensas à ação de plantas daninhas, pragas e doenças, e seu controle requer atividades de considerável importância socioeconômica, para que o retorno do investimento realizado pelo produtor seja assegurado e as perdas minimizadas, e, finalmente, a qualidade dos produtos melhorada.

A utilização de produtos fitossanitários constitui em uma prática comum na maioria das culturas, representando, desta forma, parte significativa nos custos de produção. Portanto, a máxima efetividade e custos mínimos na aplicação destes produtos são de interesse para os agricultores (FRANÇA et al., 2015). É importante que esse método seja empregado de forma racional, dentro do contexto mais amplo do manejo integrado de pragas e doenças (MINGUELA; CUNHA, 2010).

À medida que as áreas cultivadas foram se tornando cada vez maiores e os métodos culturais foram se desenvolvendo, a quantidade de produtos fitossanitários utilizada no controle de pragas e doenças das plantas cultivadas aumentou (SILVA et al., 2014; FERREIRA LEITE; SERRA, 2013). A falta de treinamento de operadores e usuários desses produtos e o desconhecimento da ação destes últimos sobre o organismo humano e sobre o ambiente têm resultado no aumento dos riscos desnecessários para o controle de pragas e doenças, bem como na agressão ao ambiente, na forma de poluição (BALASTREIRE, 1990; CASALI et al., 2015).

Os danos ocasionados por pragas, doenças e plantas daninhas nas áreas de cultivo podem resultar na elevação de preço dos alimentos e na queda em sua qualidade (GODOY; OLIVEIRA, 2004), e o controle, desta forma, se torna preocupação constante para o agricultor (SILVA et al., 2014). Esse processo só pode ser feito de maneira correta e rentável com emprego de tecnologia adequada. Na maioria das vezes, dá-se muita importância ao produto fitossanitário e pouca atenção à técnica de aplicação (CUNHA, 2008). A consequência é a perda em eficácia, quando não o fracasso total do tratamento, devido às superdosagens ou subdosagens, que levam, por sua vez, à perda

em rentabilidade dos cultivos e a danos ao ambiente e à própria saúde das pessoas que realizam a aplicação (MION et al., 2011).

Cada vez mais se exige do produtor rural a utilização correta e criteriosa destes insumos, além disso, verifica-se a falta de informação no que tange à tecnologia de aplicação. As aplicações podem, muitas vezes, produzir o efeito desejado, porém de forma ineficiente, porque não se utilizou da melhor técnica ou do melhor equipamento, fato que resultaria no emprego de menor quantidade de ingrediente ativo na obtenção dos mesmos resultados (CUNHA et al., 2004). Na prática, a dose de produto empregada é muito superior à requerida (ERTHAL JUNIOR, 2011).

Em meio à diversidade de componentes no processo de produção agrícola, destaca-se a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários que é responsável pela colocação correta dos produtos no alvo (DURIGAN, 1989). Se o uso desta tecnologia for feito corretamente, é possível observar vantagens na preservação da saúde do trabalhador, na conservação do meio ambiente e na rentabilidade da produção (ROMEIRO et al., 2015).

Os produtos fitossanitários, embora desempenhem papel de fundamental importância dentro do sistema de produção agrícola vigente, têm sido alvo de crescente preocupação por parte dos diversos segmentos da sociedade, em virtude de seu potencial de risco ambiental, por meio da contaminação por deriva destes produtos em áreas fora da área-alvo de aplicação (CASALI et al. 2015).

Um dos possíveis resultados na aplicação dos produtos fitossanitários é perda para o ambiente, principalmente por deriva. Esta pode ser definida como o desvio da trajetória que impede que as gotas produzidas atinjam o alvo, e está relacionada, principalmente, ao tamanho de gotas e a velocidade do vento (SILVA, 1999).

Além do prejuízo resultante da perda de produto fitossanitário e dos danos que podem ser causados em culturas adjacentes, a deriva assume grande importância devido à conscientização da população em relação à qualidade de água, alimentos e outras questões ambientais (LUNKES, 1996; FERREIRA LEITE; SERRA, 2013; MATTHEWS, 2000; COSTA et al., 2012).

A deriva é considerada um dos maiores problemas da agricultura (SUMNER; SUMNER, 1999; MATTHEWS, 2000). De acordo com as condições ambientais, é preciso conhecer o espectro das gotas pulverizadas, de forma a adequar o seu tamanho,

garantindo, ao mesmo tempo, eficácia biológica e segurança ambiental. Vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  são facilmente carregadas pelo vento, e sofrem, desta forma, mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (SUMNER, 1997; MURPHY et al., 2000; WOLF, 2000; TERRA et al., 2014).

Uma aplicação eficiente também requer cobertura adequada da superfície-alvo com gotas de tamanho apropriado. Caso gotas muito grossas sejam produzidas, a superfície não será coberta satisfatoriamente, tampouco será uniforme a distribuição. Gotas muito grossas, devido ao peso, normalmente não se aderem à superfície da folha e terminam no solo. No caso 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 sofrerem deriva através de seu carregamento pela corrente de ar (VITÓRIA et al., 2014; BAESSO et al., 2014).

A avaliação do espectro de gotas na aplicação de produtos fitossanitários é importante, pois dependendo do alvo a ser atingido, exigirá gotas de maior ou menor diâmetro (CÂMARA et al., 2008). Os fatores que influenciam o espectro de gotas produzidas por determinada ponta de pulverização são: vazão nominal, ângulo de descarga, pressão de operação, propriedades da calda e tipo de ponta de pulverização (CUNHA et al., 2007).

Quando, em uma aplicação, gotas finas são usadas, verifica-se o risco de contaminação ambiental e humana em função da deriva e, por isso, têm-se buscado alternativas que visam minimizar tais problemas (STAINIERA et al., 2006; NUYTTENS et al., 2007). Uma das alternativas para reduzir esses riscos é a utilização de pontas que produzem gotas de maior tamanho, como pontas de jato plano com indução de ar.

As pontas de pulverização com indução de ar minimizam o problema da deriva, pois estas produzem, em geral, gotas maiores do que as gotas usualmente produzidas por pontas similares sem a indução (BAUER et al., 2006). Gotas extremamente grossas são indicadas para aplicação de herbicidas em pré e pós-emergência e dessecação em condições climáticas desfavoráveis, e não devem ser empregadas quando se requer elevada cobertura do alvo (VIANA et al., 2007).

A maioria das aplicações de produtos fitossanitários é feita por meio de pulverização, ou seja, pela geração e emissão de partículas líquidas (CUNHA; RUAS, 2006). A divisão do líquido em pequenas gotas ocorre nas pontas de pulverização. Tal divisão se dá nobico, que por sua vez é composto por suas estruturas de fixação na

barra, corpo, filtro, anel de vedação, ponta e capa, de maneira que a ponta é o componente responsável pela formação das gotas (ANDEF, 2004). As pontas podem ser consideradas um dos componentes mais importantes dos pulverizadores hidráulicos, por determinar as características do jato emitido e regular a vazão e determinar o tamanho das gotas. As pontas, além de fragmentar o líquido em pequenas gotas, têm como função distribuí-las sobre o alvo (SIDAHMEND, 1998).

Outra característica importante na geração das gotas refere-se às propriedades físico-químicas da calda. Fluidos com maior viscosidade e tensão superficial requerem maior quantidade de energia para a pulverização. Portanto, a pulverização de líquidos que tenham maior viscosidade e maior tensão superficial, em geral, produz gotas maiores (CHRISTOFOLETTI, 1999). Desta forma, uma opção economicamente viável encontrada para aumentar a viscosidade do líquido, e também aumentar a eficiência das pulverizações, tem sido a adição de adjuvantes às caldas de pulverização de herbicidas, fungicidas e inseticidas (MINGUELA; CUNHA, 2010). A utilização, por exemplo, de óleo vegetal como adjuvante tem indicação principal de espalhante adesivo, mas sua característica de viscosidade pode alterar também o espectro de gotas pulverizadas com consequente aumento no diâmetro das gotas de pulverização.

As especificações das pontas de pulverização são definidas em testes com água. O acréscimo de um adjuvante pode alterar o padrão de gotas e a vazão (AZEVEDO, 2001). Mudanças nas propriedades do líquido pulverizado podem influenciar tanto o processo de formação das gotas, como o comportamento destas em contato com o alvo, fato que altera o risco potencial de deriva da aplicação (MILLER; BUTLER ELLIS, 2000).

Embora bastante empregados em campo, o efeito do uso de adjuvantes e pontas de pulverização com indução de ar ainda não é totalmente conhecido, e necessita de estudos adicionais que levem em consideração não só tamanho de gota, como usualmente feito, mas também a velocidade das gotas. A pesquisa científica precisa fornecer subsídio para o entendimento do processo de geração da gota aerada, de forma a facilitar sua seleção e uso por parte dos agricultores.

Complementarmente, também se faz necessário compreender melhor a relação entre tamanho e velocidade das gotas, de forma a se ter uma melhor percepção da trajetória das gotas após o seu lançamento pela ponta de pulverização, o que permitirá maior eficiência das técnicas de redução de deriva das aplicações de produtos fitossanitários.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o espectro, a velocidade e o risco potencial de deriva de gotas geradas por pontas de pulverização com e sem indução de ar, com e sem a adição de adjuvante à calda, em diferentes condições operacionais.

### **2.1 Objetivos Específicos**

Avaliar a influência da vazão, da pressão e da ausência e presença de indução de ar sobre o espectro e a velocidade de gotas de pulverização.

Avaliar a influência da adição de óleo mineral à calda de pulverização de pontas com e sem indução de ar sobre o espectro, a velocidade e o risco potencial de deriva de gotas de pulverização.

## REFERÊNCIAS

- ANDEF, Associação Nacional de defesa vegetal, **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**, São Paulo: Linea Creativa, 2004.
- AZEVEDO, L.A.S. **Proteção integrada de plantas com fungicidas**. São Paulo, 2001. 230p.
- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 780-785, 2014.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 307p.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. de A. R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.546-551, 2006.
- CÂMARA, F. T. da; SANTOS, J. L.; SILVA, E. A.; FERREIRA, M. C. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida xr11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.740-749, 2008.
- CASALI, A. L.; SCHLOSSER, J. F.; GANDOLFO, M. A.; UHRY, D.; RODRIGUES, A. A. Nível de capacitação e informação dos operadores de máquinas para a aplicação de agrotóxicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 3, p.425-431, 2015.
- CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; SILVA, A. C. A.; VILELA, C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37-46, jan./fev. 2013.
- CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South América, 1999. 15p.
- COSTA, A. G. F.; CORDEIRO, J. G. F.; SILVA, J. R. M. Efeito de pontas e pressões de pulverização na deriva de glyphosate+ 2, 4-D em condições de campo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v.11, n. 1, p. 62-70, 2012.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURRY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulica de jato plano e jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 19, p. 977-985, 2004.
- 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.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.esp., p.10-15, 2007.
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.3, n. 5, p. 1616-1621, 2008.
- DURIGAN, J. C. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM

- REFLORESTAMENTO, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBS/ABRACAV/SIF, 1989.
- ERTHAL JUNIOR, M. Controle biológico de insetos pragas. In: SEMINÁRIO MOSAICO AMBIENTAL: OLHARES SOBRE O AMBIENTE, 1., 2011, Campos dos Goytacazes. **Anais...** Campos dos Goytacazes: UFRJ, 2011. p. 1-16.
- FERREIRA LEITE, M.; SERRA, J. C. V. Avaliação dos impactos ambientais na aplicação dos agrotóxicos. **Ambiência Guarapuava (PR)**, Guarapuáva, v. 9, n. 3, p. 675 – 682, 2013.
- FRANÇA, J. A. L.; GONÇALVES, W. S.; ROMEIRO, B. P.; BENETT, C. G. S.; SILVA, A. R. Desenvolvimento e avaliação de um pulverizador hidráulico de barras rígidas horizontais de baixo custo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 1, p. 17-23, jan./mar. 2015.
- GODOY, R. C. B. de; OLIVEIRA, M. I. de. **Agrotóxicos no Brasil: processo de registro, riscos à saúde e programas de monitoramento**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Documentos, 134, p. 30, 2004.
- LUNKES, J. A. **Efeito de subdoses de glyphosate e oxyfluorfen simulando deriva sobre a cultura do feijoeiro**. Lavras: UFLA, 1996. 138p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, 1996.
- MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell, 2000. 432p.
- MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, London, v.19, n. 8, p.609-615, 2000.
- MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. R. A. da **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2010. 588 p.
- MION, R. L.; SOMBRA, W. A.; DUARTE, J. M. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; VILIOTTI, C. A.; LUCAS, F. C. B.; MONTE, C. A. Uso de mesa vertical como parâmetro para regulagens de turboatomizadores. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 352-358, 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.
- NUYTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.
- ROMEIRO, B. P.; FRANÇA, J. A. L.; GONÇALVES, W. S.; BENETT, C. G. S. Distribuição de gotas de um pulverizador hidráulico de barras de baixo custo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 2, p. 19-25, abr./jun. 2015.
- SIDAHMED, M. M. Analytical comparison of force and energy balance methods for characterizing sprays from hydraulic nozzles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 33, p. 531-536, 1998.

- SILVA, O. C. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: Canteri, M.G.; Pria, M. D.; Silva, O. C. (Eds.). **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**. Ponta Grossa: UEPG, 1999. p.127-137.
- SILVA, B. M. da; RUAS, R. A. A.; SICHOKI, D.; DEZORDI, L. R.; CAIXETA, L. F. Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em diferentes partes da planta de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 17-24. 2014.
- STAINIERA, C.; DESTAINA, M. F.; SCHIFFERSB, B.; LEBEAUA, F. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop Protection**, London, v. 25, n. 12, p. 1.238-1.243, 2006.
- SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: University of Georgia, 1997. 11p. (ENG97-005).
- SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. **Comparison of new drift reduction nozzles**. St. Joseph: ASAE, 1999.17p. (ASAE Paper n.991156).
- TERRA, M. A.; MARTINS, D.; COSTA, N. V. da; MARCHI, S. R. de, Avaliação de pontas e taxas de aplicação na deposição de calda no milho e em plantas daninhas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1661-1670, 2014.
- VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; FREITAS, F. C. L.; QUIRINO, A.L.S.; SANTOS, M.V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 211-218, 2007.
- VITÓRIA, E. L. da; ROCHA NETO, F. de C.; CHAGAS, K.; TEIXEIRA, M. M.; QUIRINO, A. L. da S.; SANTIAGO, H. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio DDC2 novas e usadas. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista,v. 8, n. 3, p. 368-376, 2014.
- WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4p. (Application Technology Series).

## **CAPÍTULO II**

### **ESPECTRO E VELOCIDADE DE GOTAS DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO COM E SEM INDUÇÃO DE AR**

# **ESPECTRO E VELOCIDADE DE GOTAS DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO COM E SEM INDUÇÃO DE AR**

## **RESUMO**

O uso de pontas de indução de ar é uma estratégia muito utilizada para redução de deriva na aplicação de produtos fitossanitários. Contudo, o comportamento das gotas produzidas não é completamente conhecido, dada a existência de ar em seu interior. O objetivo deste trabalho foi avaliar o espectro e a velocidade de gotas produzidas por pontas com e sem indução de ar, submetidas a diferentes pressões e vazões. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, no esquema fatorial 2 x 3 x 3 (duas pontas de pulverização, três vazões e três pressões de operação). Foram avaliadas pontas de pulverização sem e com indução de ar das fabricantes Hypro<sup>®</sup> (VP e GA), Magnojet<sup>®</sup> (AD e ADIA) e Teejet<sup>®</sup> (XR e AIXR), com vazões nominais de 0,76; 1,14 e 1,51 L min<sup>-1</sup> e pressões de 200, 300 e 400 kPa. O espectro e a velocidade da população de gotas foram determinados de forma direta, utilizando-se, para tanto, um analisador de gotas em tempo real baseado na análise de imagens de alta resolução. O equipamento VisiSize D30 foi empregado neste estudo. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de médias. Pontas de pulverização com indução de ar dos fabricantes Teejet<sup>®</sup>, Hypro<sup>®</sup> e Magnojet<sup>®</sup> produziram gotas com diâmetro da mediana volumétrica (DMV) maior que pontas sem a indução de ar, os aumentos verificados foram de 56,66; 63,31 e 128,61%, respectivamente. Acréscimos de pressão proporcionaram redução do DMV e da amplitude relativa (AR) e aumento da velocidade média das gotas. Gotas geradas por pontas de pulverização sem indução de ar apresentaram amplitude relativa em média 1,35 vezes menor do que a das gotas geradas por pontas com indução de ar. A velocidade das gotas apresenta pouca variação entre as pontas com e sem indução de ar com mesma vazão e pressão, no entanto, pontas com maiores vazões produzem gotas com maiores velocidades.

**PALAVRAS-CHAVE:** bicos de pulverização, tamanho de gotas, tecnologia de aplicação.

# **SPECTRUM AND VELOCITY OF DROPS OF SPRAY NOZZLES WITH AND WITHOUT AIR INDUCTION**

## **ABSTRACT**

The use of nozzles of air induction is a widely used strategy to reduce drift in the pesticides application. However, the behavior of the drops produced is not fully understood, given the existence of air inside those. The objective in this study was to evaluate the spectrum and the speed of drops produced by nozzles with and without air induction, under different pressures and flow rates. The experiment was conducted in a completely randomized design with five replications, in a factorial 2 x 3 x 3 (two spray nozzles, three flow rates and three operating pressures). Spray nozzles with and without air induction by manufacturers were evaluated: Hypro<sup>®</sup> (VP and GA), Magnojet<sup>®</sup> (AD and ADIA) and Teejet<sup>®</sup> (XR and AIXR) with nominal flow rates of 0.76; 1.14 and 1.51 L min<sup>-1</sup> and pressures of 200, 300 and 400 kPa. The spectrum and speed of the population of drops was determined directly, using a real time drops analyzer based on high resolution image analysis. It was employed VisiSize D30 was employed in this study. The data were submitted to analysis of variance and mean test. Spray nozzles with air induction of manufacturers Teejet<sup>®</sup>, Hypro<sup>®</sup> and Magnojet<sup>®</sup> produced drops with volumetric median diameter (DMV) greater than spray nozzles without air induction, and these increases ranged from 56.66; 63.31 to 128.61%, respectively. Pressure increases resulted in further reduction of the DMV and the relative amplitude (SPAN) and increase the average speed drops. Drops generated by spray nozzles without air induction showed on average amplitude 1.35 times smaller than the drops generated by air induction spray nozzles. The velocity of the drops shows little variation between the spray nozzles with and without air induction with the same pressure and flow rate, however, spray nozzles with larger flows rates produce drops with higher speeds.

**Keywords:** spray noozles, droplet size, application technology.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de pontas de pulverização com indução de ar é uma estratégia amplamente empregada para minimizar perdas de produtos fitossanitários por deriva.

O mecanismo existente nessas pontas segue o princípio de funcionamento de um tubo de Venturi (BUTLER ELLIS et al., 2002). O fluxo de líquido e ar é misturado dentro da câmara de mistura e, ao passar sob alta pressão pela ponta e entrar em contato com a atmosfera, forma gotas com bolhas de ar em seu interior (FAGGION, 2002). O diâmetro do orifício de entrada de líquido controla o fluxo, e, o do orifício da ponta, o tamanho das gotas (BUTLER ELLIS et al., 2001).

Essas pontas com indução de ar reduzem o problema da deriva, pois produzem, em geral, gotas maiores do que as gotas usualmente produzidas por pontas similares sem a indução, muitas destas gotas contêm uma ou mais bolhas de ar (MATTHEWS, 2000; BAUER et al., 2006). Chechetto et al. (2013), em experimento em que a influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento foi avaliada, verificaram que menores valores de percentual de deriva foram obtidos com as pontas com indução de ar em todos os tratamentos, em comparação com pontas com pré-orifício. Resultados semelhantes foram obtidos por Derksen et al. (1999), Lund (2000) e Nuyttens et al. (2006).

As bolhas de ar no interior da gota interferem no seu transporte e padrão de deposição. Quando se trabalha com esta classe de pontas, a presença de bolhas de ar ajuda na diminuição da perda das gotas quando impactam com uma superfície (MATTHEWS, 2000; FAGGION; ANTUNIASSI, 2004), ou seja, as bolhas de ar amortecem o impacto da gota com a superfície.

As bolhas de ar também interferem na massa das gotas (MATTHEWS, 2000). Embora a gota tenha maior diâmetro, ela possui ar em seu interior, o que a torna mais leve, diminuindo, assim, o potencial de redução da deriva. Contudo, este processo não está bem explicado na literatura. Nem sempre se consegue estabelecer uma correlação forte entre o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) de uma ponta de indução de ar e a deriva. Possivelmente, isso ocorra em virtude da influência da velocidade da gota que interfere no seu transporte até o alvo, mas dados desse parâmetro são escassos na literatura, dada a dificuldade em mensurá-la.

A inclusão de bolhas de ar no interior das gotas pode alterar seu diâmetro e a velocidade, além de alterar a estrutura do espectro de gotas (BUTLER ELLIS et al., 1997). O tamanho e a velocidade das gotas influenciam a eficiência do processo de pulverização (MILLER; BUTLER ELLIS, 2000). A velocidade de queda de uma gota quando liberada no ar, chamada de velocidade de sedimentação, está fortemente relacionada com o seu diâmetro (BACHE; JOHNSTONE, 1992).

A velocidade das gotas é menor para as pontas com indução de ar em relação às convencionais (FAGGION, 2008). A velocidade aumenta com a diminuição da porcentagem de ar capturado. Segundo o autor, este resultado é esperado pois a presença de ar dentro das gotas aumenta seu diâmetro e diminui sua densidade, consequentemente, a velocidade de deslocamento é reduzida pela força de resistência à passagem oferecida pelo ar. Contudo, o autor ainda menciona que as gotas com menor densidade devido à presença de ar em seu interior podem sofrer menor efeito da deriva provavelmente por serem de tamanho maior e possuírem maior massa.

No entanto, Nuyttens et al. (2009) mostraram que pontas com indução de ar produzem gotas com maiores velocidades para a mesma vazão nominal e pressão de trabalho, embora produzam gotas mais lentas para um mesmo tamanho, demonstrando que o efeito do tamanho se sobrepõe ao efeito da velocidade de ejeção da gota. Segundo os autores, gotas de maior tamanho, em geral, estão associadas a maiores velocidades de queda. Além disso, aumentando-se a pressão de trabalho na maioria das pontas, tem-se gotas mais finas e também com maior velocidade. Como o efeito da redução da gota é predominante, o risco de deriva aumenta. Contudo, para algumas pontas, como mostrado por Miller e Smith (1997), o aumento de pressão não eleva o risco de deriva, visto que há a predominância do efeito da velocidade da gota.

Desta forma, percebe-se que o mecanismo de movimentação de uma gota após o seu lançamento pela ponta é complexo, confirmando a necessidade de estudos mais acurados, visto que estas informações podem ser úteis para a compreensão da penetração do jato no dossel de plantas e do risco de deriva. O aumento da velocidade de queda das gotas diminui a distância de deriva (ZHU et al., 1994). Além disso, estes estudos servem como informações de entrada para modelos de simulação de deriva e formação de jato.

A maioria dos equipamentos de avaliação de tamanho de gotas em tempo real se valem da técnica de difração por raio laser, contudo, essa técnica pode apresentar problemas de acurácia quando empregada com líquidos de composição físico-química diferentes (MURPHY et al, 2004). Além disso, muitos equipamentos não têm capacidade de mensurar a velocidade das gotas. Por isso, surgiu interesse muito grande nos equipamentos de análise de imagens, que não apresentam os problemas citados para os equipamentos de difração de raio laser (KASHDAN et al., 2007).

Wang et al (2015), estudando o desempenho de pontas de pulverização por análise de imagens, afirmam que a relação entre tamanho de gota e velocidade ainda precisa de mais estudos científicos para sua compreensão. Sayinci (2015) também mostra que esta relação não é clara e atribui isto à elevada variação de velocidade para gotas de mesmo tamanho em um jato pulverizado.

Desse modo, o objetivo neste trabalho foi avaliar o espectro e a velocidade de gotas produzidas por pontas com e sem indução de ar de diferentes fabricantes, submetidas a diferentes pressões e vazões.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA), na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, em Botucatu – SP.

Foram avaliados o espectro e a velocidade de gotas geradas por diferentes pontas de pulverização com e sem indução de ar, em diferentes condições operacionais. Com o intuito de se conhecer melhor o efeito da geometria da ponta, foram utilizadas pontas de três fabricantes distintos, cumpre salientar que não foram comparados os resultados entre os mesmos, mas sim entre pontas com e sem sistema venturi de mesmo fabricante.

As pontas de pulverização utilizadas no experimento estão descritas na Tabela 1.

TABELA 1. Pontas de pulverização utilizadas nos experimentos.

Fabricante	Modelo	Vazão nominal (L min <sup>-1</sup> )	Característica
Hypro <sup>®</sup>	VP 110-02	0,76	Sem indução de ar (Figura 1)
	VP 110-03	1,14	
	VP 110-04	1,51	
	GA 110-02	0,76	Com indução de ar (Figura 2)
	GA 110-03	1,14	
	GA 110-04	1,51	
Magnojet <sup>®</sup>	AD 110-02	0,76	Sem indução de ar (Figura 3)
	AD 110-03	1,14	
	AD 110-04	1,51	
	ADIA 110-02	0,76	Com indução de ar (Figura 4)
	ADIA 110-03	1,14	
	ADIA 110-04	1,51	
Teejet <sup>®</sup>	XR 110-02	0,76	Sem indução de ar (Figura 5)
	XR 110-03	1,14	
	XR 110-04	1,51	
	AIXR 110-02	0,76	Com indução de ar (Figura 6)
	AIXR 110-03	1,14	
	AIXR 110-04	1,51	

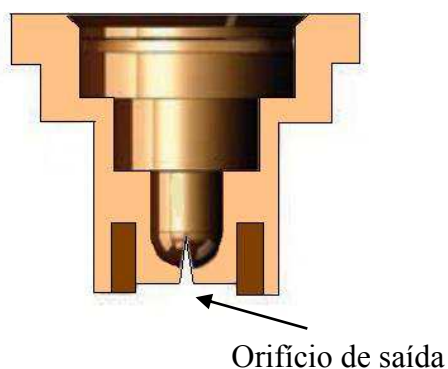


FIGURA 1. Ponta VP (HYPRO<sup>®</sup>, 2014).

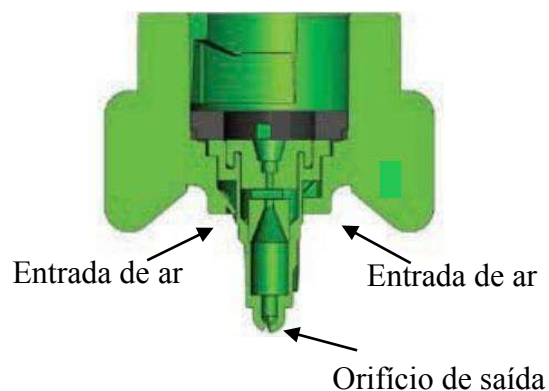


FIGURA 2. Ponta GA (HYPRO<sup>®</sup>, 2014).

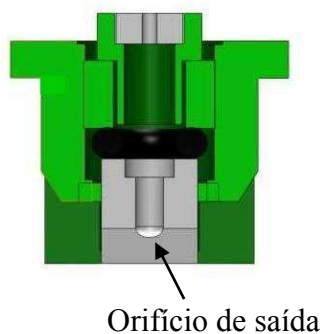


FIGURA 3. Ponta AD (MAGNOJET<sup>®</sup>, 2016a).

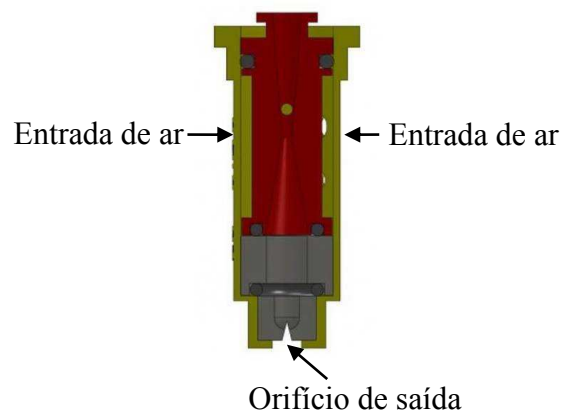


FIGURA 4. Ponta ADIA (MAGNOJET<sup>®</sup>, 2016b).

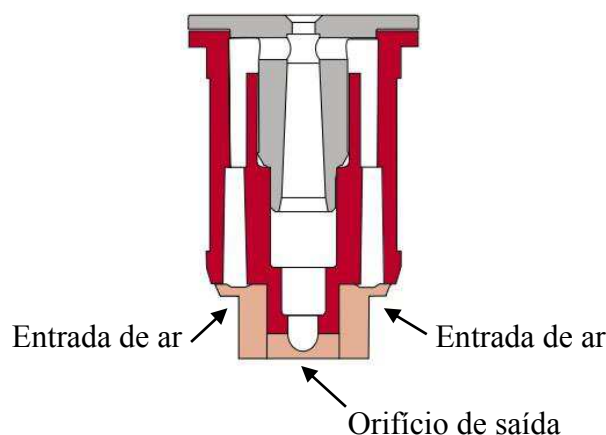
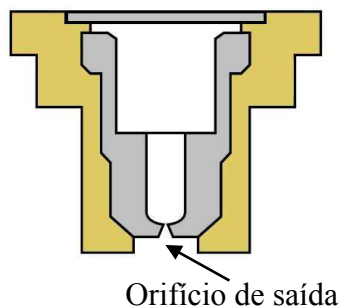


FIGURA 5. Ponta XR (TEEJET®, 2016). FIGURA 6. Ponta AIXR (TEEJET®, 2016).

Três experimentos foram realizados, sendo cada experimento realizado com as pontas de pulverização de cada fabricante separadamente. Os experimentos foram executados em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, no esquema fatorial  $2 \times 3 \times 3$  (duas pontas de pulverização, três vazões e três pressões de operação). Cada repetição utilizou uma ponta de pulverização, ou seja, para montar as cinco repetições foram utilizadas cinco pontas de pulverização iguais. Foram avaliadas pontas de pulverização com e sem indução de ar, com vazões nominais de 0,76; 1,14 e 1,51 L min<sup>-1</sup> e nas pressões de 200, 300 e 400 kPa.

Com o intuito de reduzir a tensão superficial da calda a níveis mais próximos daqueles empregados em campo, foi adicionado o adjuvante Agral da fabricante Syngenta®, caracterizado como espalhante adesivo do grupo químico Nonil Fenoxi Poli Etanol. A tensão superficial da água com temperatura de 25° C é de 72 mN m<sup>-1</sup>, e após a adição de adjuvante na concentração de 0,0005% V V<sup>-1</sup>, foi reduzida para 32 mN m<sup>-1</sup>. Todos os ensaios foram realizados com o mesmo tipo de calda. Este adjuvante foi empregado devido a sua característica de alteração da calda de pulverização apenas por meio da redução da tensão superficial, sem influenciar significativamente as demais propriedades físico-químicas.

A pulverização foi avaliada levando-se em conta o espectro e a velocidade de gotas produzidas por pontas de pulverização em diferentes condições operacionais. Os parâmetros seguintes foram tomados: Dv0,5 (diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica – DMV), velocidade de queda das gotas e amplitude relativa (AR) (Equação 1).

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

onde:

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

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

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

As determinações foram realizadas de forma direta, utilizando-se um analisador de gotas em tempo real, baseado na análise de imagens de alta resolução. Foi empregado o equipamento VisiSize D30, da fabricante Oxford Lasers Imaging Division (Figura 7), com taxa de captura de 30 imagens por segundo e diâmetro do feixe do laser de 805 nm para iluminação do jato. O sistema é capaz de medir gotas com diâmetro acima de 5 µm. Além de medir a distribuição do diâmetro das partículas, o equipamento VisiSize D30 disponibiliza a velocidade das partículas em tempo real e análise de formas.



FIGURA 7. Equipamento VisiSize D30 (Oxford Lasers Imaging Division, England).

FONTE: FRANÇA (2015).

Para fornecer as médias dos parâmetros de pulverização, o equipamento contabiliza dez mil gotas em cada repetição. Com isso, como foram realizadas cinco

repetições neste experimento, cada dado apresentado provém da medição de cinquenta mil gotas de pulverização.

O tempo despendido para completar cada repetição variou de acordo com as pontas utilizadas, pontas de pulverização que produziram gotas com maior diâmetro requereram maior tempo de medição, pois a quantidade de gotas capturadas em cada imagem foi menor que a quantidade de gotas capturadas quando se utilizaram pontas que produziram gotas de menor diâmetro.

Antes da realização de cada ensaio, foi realizada a calibração do equipamento VisiSize D30, por meio da utilização de uma ponta de pulverização do fabricante TeeJet®, modelo XR8003, e calda contendo apenas água, que deveria produzir gotas com DMV de 150  $\mu\text{m}$ .

Na determinação do espectro de gotas, foi utilizado um equipamento de pulverização montado de tal forma que todo o jato pulverizado passou transversalmente através do feixe luminoso do analisador, permitindo a obtenção direta do espectro de gotas médio para cada condição desejada. O bico de pulverização ficou situado a 0,5 m acima do feixe óptico (ASAE, 2000).

Foram utilizadas duas bombas para pressurização do líquido, ambas da fabricante Bomistema®, com capacidade do reservatório de 20 litros, uma com reservatório contendo apenas água para calibração do equipamento e outra com reservatório contendo a calda com adjuvante utilizada nos ensaios (Figura 8).

Os ensaios foram realizados em ambiente controlado (Figura 9) com o intento de minimizar o efeito das condições ambientais (temperatura do ar inferior a 28°C, umidade relativa do ar superior a 60% e ausência de ventos).

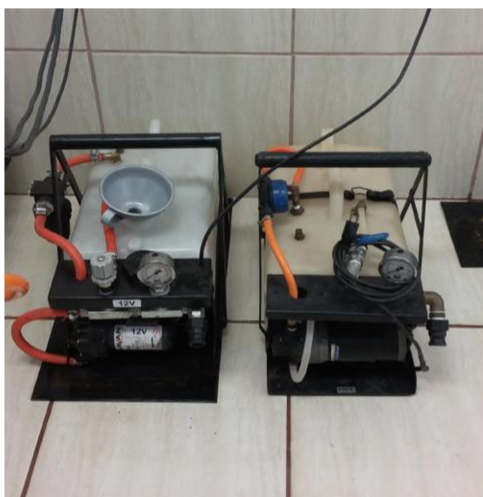


FIGURA 8



FIGURA 9

**FIGURA 8.** Bombas de pulverização Bomsistema® utilizadas para pressurização da calda de pulverização. FONTE: FRANÇA (2015). **FIGURA 9.** Laboratório de máquinas para pulverização da Universidade Estadual Paulista, campus de Botucatu-SP. FONTE: FRANÇA (2015).

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

Em todos os experimentos, após a análise das pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008). Quando pertinente, os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Hypro®

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados estão apresentados na Tabela 2. Como os ensaios foram conduzidos em laboratório, percebe-

se que os coeficientes de variação obtidos no experimento apresentaram valores baixos, variando de 3,40% para a AR até 7,88% para a velocidade média das gotas.

Para experimentos desenvolvidos em condições de laboratório, os coeficientes de variação aceitáveis devem ser até 10%, visto que, em aplicações realizadas em campo, o valor do coeficiente de variação tende a aumentar, devido as condições climáticas inerentes por ocasião da aplicação e/ou movimentos desordenados da barra de pulverização ocasionados pelo deslocamento do trator sobre o solo (VOLPE et al., 2012).

TABELA 2. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e velocidade das gotas, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Hypro<sup>®</sup>, com diferentes vazões e pressões de trabalho.

Fonte de variação	Valor do F calculado		
	DMV	AR	Velocidade das gotas
Ponta	3811,202**	3562,219**	0,000 <sup>ns</sup>
Vazão	170,030**	39,007**	186,624**
Pressão	703,680**	382,762**	48,472**
Ponta x Vazão	91,242**	39,996**	5,843**
Ponta x Pressão	333,119**	75,754**	0,883 <sup>ns</sup>
Vazão x Pressão	63,253**	36,938**	2,747*
Ponta x Vazão x Pressão	39,494**	15,506**	0,613 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	3,69	3,40	7,88

C.V.: Coeficiente de variação; \* significativo a 0,05; \*\* significativo a 0,01, <sup>ns</sup> não significativo a 0,05.

As pontas de pulverização com indução de ar produziram gotas com maior DMV, bem como de AR, independente da vazão e pressão avaliados (Tabela 3). A existência do sistema venturi atrelado ao pré-orifício leva ao aumento do tamanho das gotas, em função da mistura de ar às gotas. Esse comportamento já é conhecido (DERKSEN et al., 1999; MCGINTY et al., 2016), no entanto, a magnitude do incremento no tamanho das gotas em virtude das diferentes geometrias de construção, ainda não.

Quanto maior a AR, maior é a variação de tamanhos de gotas pulverizadas, e um espectro de gotas homogêneo tem valor de AR que tende a zero. A AR indica a homogeneidade do tamanho das gotas (CUNHA et al., 2004). As pontas de pulverização

com indução de ar, apesar de produzirem gotas de maiores diâmetros, apresentaram maior variação de diâmetro que as gotas geradas pelas pontas sem indução de ar.

TABELA 3. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e amplitude relativa (AR) resultantes da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro® com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes vazões e pressões de trabalho.

Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )	Pressão (kPa)	DMV ( $\mu\text{m}$ )	
		Ponta	
		VP	GA
0,76	200	153,74 b	277,86 a
	300	142,46 b	228,74 a
	400	134,42 b	203,00 a
1,14	200	142,48 b	241,84 a
	300	134,06 b	184,66 a
	400	128,58 b	168,56 a
1,51	200	158,82 b	355,32 a
	300	138,76 b	224,42 a
	400	130,72 b	179,90 a
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / K-S		3,69/4,211/ <b>0,079</b>	
Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )	Pressão (kPa)	AR	
		Ponta	
		VP	GA
0,76	200	1,05 a	1,55 b
	300	0,96 a	1,63 b
	400	0,92 a	1,42 b
1,14	200	1,11 a	1,87 b
	300	0,92 a	1,64 b
	400	0,88 a	1,24 b
1,51	200	1,11 a	1,62 b
	300	0,93 a	1,41 b
	400	0,88 a	1,15 b
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / K-S		3,40/ <b>2,208/0,100</b>	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados obtidos de DMV e AR para o desdobramento da interação entre pressão e vazão.

TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e amplitude relativa (AR) resultantes da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro® com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes vazões e pressões de trabalho.

Ponta	Pressão (kPa)	DMV ( $\mu\text{m}$ )		
		Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )		
		0,76	1,14	1,51
GA	200	277,86 b A	241,84 c A	355,32 a A
	300	228,74 a B	184,66 b B	224,42 a B
	400	203,00 a C	168,56 c C	179,90 b C
VP	200	153,74 a A	142,48 b A	158,82 a A
	300	142,46 a B	134,06 a AB	138,76 a B
	400	134,42 a B	128,58 a B	130,72 a B
C.V./F <sub>LEVENE</sub> /K-S		3,69/4,211/ <b>0,079</b>		
Ponta	Pressão (kPa)	AR		
		Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )		
		0,76	1,14	1,51
GA	200	1,55 a B	1,87 c C	1,62 b C
	300	1,63 b C	1,64 b B	1,41 a B
	400	1,42 c A	1,24 b A	1,15 a A
VP	200	1,05 a B	1,11 a B	1,11 a B
	300	0,96 a A	0,92 a A	0,93 a A
	400	0,92 a A	0,88 a A	0,88 a A
C.V./F <sub>LEVENE</sub> /K-S		3,40/ <b>2,208/0,100</b>		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Houve inversão dos resultados do DMV entre as pontas de pulverização com vazão de 0,76 e 1,51  $\text{L min}^{-1}$  quando a pressão passou de 200 para 400 kPa. O DMV da ponta com indução de ar e vazão de 1,14  $\text{L min}^{-1}$  foi inferior aos das demais vazões avaliadas. Em geral, espera-se uma relação linear, no qual o aumento da vazão leva ao aumento do DMV, em virtude do aumento do orifício de saída. Contudo, esta relação, principalmente nas pontas de indução de ar, pode ser alterada pela existência de um pré-orifício que controla a vazão e do orifício de saída, que controla o tamanho das gotas. Resultados inesperados desta natureza também foram encontrados por Etheridge et al. (1999). Os autores atribuíram a isto a turbulência gerada internamente à ponta de indução de ar.

As pontas sem indução de ar na pressão de 200 kPa com vazão de 0,76 e 1,51 L min<sup>-1</sup> não apresentaram diferença estatística entre o DMV, todavia estes foram superiores ao DMV da ponta com vazão de 1,14 L min<sup>-1</sup>. Quando submetidas às pressões de 300 e 400 kPa, não se observou diferença para o DMV entre as diferentes vazões.

Acréscimos de pressão provocaram redução do DMV, os maiores valores foram obtidos com a pressão de 200 kPa e, os menores valores, com a pressão de 400 kPa.

As pontas de pulverização com indução de ar e vazão de 0,76 L min<sup>-1</sup>, apresentaram menor AR quando submetidas à pressão de 200 kPa (1,55). Todavia, quando a pressão foi elevada para 300 e 400 kPa, os menores valores de AR foram obtidos com as pontas com vazão de 1,51 L min<sup>-1</sup>. Cunha et al. (2007) verificaram que acréscimos na pressão corroboram AR maiores. Neste mesmo estudo, quando utilizadas pontas de jato plano antideriva ADI 110-02, os menores valores de AR foram encontrados na pressão de 200 kPa (1,00), enquanto que na pressão de 400 kPa a AR foi de 1,27.

Acréscimos de pressão provocaram redução da AR nas pontas de pulverização com indução de ar com vazões de 1,14 e 1,51 L min<sup>-1</sup>. Para a ponta com vazão de 0,76 L min<sup>-1</sup>, o maior valor de AR foi obtido na pressão de 300 kPa.

Os valores de AR das pontas de pulverização sem indução de ar não apresentaram diferenças significativas entre as vazões. Todavia, quando as pontas sem indução de ar foram submetidas à pressão de 200 kPa, observaram-se os maiores valores de AR. Essa relação possivelmente se deve à própria geometria construtiva deste modelo de ponta.

A velocidade das gotas foi igual entre as pontas de pulverização com e sem indução de ar para as vazões de 0,76 e 1,51 L min<sup>-1</sup> (Tabela 5). Todavia, pontas de pulverização sem indução de ar, com vazão de 1,14 L min<sup>-1</sup>, apresentaram maior velocidade das gotas (2,74 m s<sup>-1</sup>) que pontas de mesma vazão com indução de ar (2,55 m s<sup>-1</sup>). Faggion (2008) afirma que a velocidade das gotas é menor para as pontas com indução de ar em relação às convencionais, no entanto, isto não foi observado em todas as vazões. Já Nuyttens et al. (2009), afirmam que a velocidade das gotas está ligada ao seu tamanho e que gotas de maiores diâmetros resultam em velocidades mais altas.

TABELA 5. Velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro® com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes vazões.

Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	
	Ponta	
	VP	GA
0,76	1,88 a B	1,94 a C
1,14	2,74 a A	2,55 b B
1,51	2,76 a A	2,86 a A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / K-S	7,880/3,342/0,137	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas entre as pontas e maiúsculas entre as vazões, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que a velocidade não está somente ligada ao tamanho das gotas, mas também à energia cinética de lançamento da gota e à sua densidade. Dependendo das condições operacionais, um desses fatores pode ser mais pronunciado do que outro, fato que leva à variação do comportamento, conforme debatido neste trabalho. Gotas produzidas pelas pontas com indução de ar são maiores, no entanto, sua velocidade de ejeção da ponta pode ser menor, dada a queda de pressão promovida pela câmara de turbulência responsável pela mistura do ar e líquido.

Pontas com e sem indução de ar com maiores vazões produziram gotas com maiores velocidades. Em trabalho conduzido por Nuyttens et al. (2009), utilizando pontas de pulverização com e sem indução de ar, com vazões de 0,76; 1,14; 1,51 e 2,27  $\text{L min}^{-1}$ , também foi verificado que as gotas geradas por pontas com maiores vazões apresentaram velocidades mais altas. Os autores atribuem isto principalmente ao maior diâmetro de gotas gerado nas pontas de maior vazão.

Pontas de pulverização com maiores vazões produziram gotas com maiores velocidades (Tabela 6), exceto para a pressão de 200 kPa, onde as velocidades das gotas foram estatisticamente iguais para as pontas com vazão de 1,14  $\text{L min}^{-1}$  e 1,51  $\text{L min}^{-1}$  (2,42 e 2,43  $\text{m s}^{-1}$ , respectivamente). Pontas com maiores vazões possuem orifício de saída maior, o que promove menor restrição à passagem do líquido, contribuindo, possivelmente, com o aumento da velocidade das gotas.

TABELA 6. Velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro<sup>®</sup>, com diferentes vazões, submetidas a diferentes pressões de trabalho.

Pressão (kPa)	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )		
	Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )		
	0,76	1,14	1,51
200	1,73 b B	2,42 a B	2,43 a C
300	1,93 c AB	2,69 b A	2,90 a B
400	2,07 c A	2,83 b A	3,13 a A
C.V./F <sub>LEVENE</sub> /K-S	7,880/3,342/0,137		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Incrementos de pressão provocaram aumento da velocidade das gotas em todas as vazões. Com 1,51  $\text{L min}^{-1}$ , a maior velocidade foi obtida na pressão de 400 kPa (3,13  $\text{m s}^{-1}$ ). Resultados semelhantes foram encontrados por Kun et al. (2015) e Miller e Smith (1997), em seu estudo, os autores verificaram que o aumento de pressão provocou um aumento na velocidade da gota. Utilizando pontas de pulverização de jato plano padrão, submetidas a diferentes pressões, com vazão de 1,14  $\text{L min}^{-1}$ , Nuyttens et al. (2009) também verificaram um aumento de 25,8% na velocidade das gotas quando a pressão foi elevada de 200 para 400 kPa.

O incremento da pressão aumenta a energia cinética das gotas, fato que resulta em aumento de velocidade. Maiores velocidades fazem com que o trajeto entre o momento de lançamento da gota e o alvo seja percorrido em menor tempo, o que faz com que a gota de pulverização fique um menor intervalo de tempo suscetível a ter sua trajetória desviada do alvo a ser aplicado, o que contribui para a redução da deriva (OZKAN, 1998). No entanto, ao aumentar a pressão, a redução do DMV também ocorre, interferindo, consequentemente, de forma contrária na deriva. Neste sentido, Nuyttens (2009) mostra que em algumas pontas podeprevalecer o efeito da velocidade, enquanto em outras, o efeito do tamanho de gotas.

### 3.2 Magnojet<sup>®</sup>

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados mostram que os parâmetros avaliados tiveram comportamentos distintos em relação à fonte de variação (Tabela 7).

TABELA 7. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e velocidade das gotas, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Magnojet®, com diferentes vazões e pressões de trabalho.

Fonte de variação	Valor do F calculado		
	DMV	AR	Velocidade das gotas
Ponta	1159,760**	51,903**	0,616 <sup>ns</sup>
Vazão	30,185**	126,308**	73,845**
Pressão	168,167**	155,219**	30,454**
Ponta x Vazão	5,935**	77,498**	5,423**
Ponta x Pressão	89,921**	59,147**	6,342**
Vazão x Pressão	1,653 <sup>ns</sup>	2,830*	1,084 <sup>ns</sup>
Ponta x Vazão x Pressão	2,467 <sup>ns</sup>	8,962**	0,940 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	5,50	5,26	8,20

C.V.: coeficiente de variação; \* significativo a 0,05; \*\* significativo a 0,01, <sup>ns</sup> não significativo a 0,05.

Gotas geradas por pontas de pulverização com indução de ar apresentaram maior DMV que as produzidas por pontas sem o sistema de indução de ar em todas as vazões nominais (Tabela 8). Maiores vazões proporcionaram menor DMV.

De maneira geral, espera-se maiores valores de DMV em pontas de pulverização com maiores vazões, no entanto nas pontas com indução de ar o DMV foi reduzido de 388,11 µm para 304,39 µm entre as vazões de 0,76 e 1,51 L min<sup>-1</sup>. Contudo essa redução de DMV com aumento de vazão já foi relatada na literatura, o que demonstra que a relação entre DMV e vazão nominal não pode ser generalizada para todos os tipos de pontas.

Em trabalho conduzido por Czaczyk et al. (2012), em que os autores avaliaram o espectro de gotas de pontas de jato plano, o DMV das gotas produzidas pelas pontas com vazão de 0,95 L min<sup>-1</sup> foi maior que o obtido nas pontas com vazão de 1,51 L min<sup>-1</sup>, nas pressões de operação de 250, 350 e 450 kPa. Contudo, Viana et al. (2010) afirmam que uma menor vazão nominal acarreta maior fragmentação do líquido em gotas. Possivelmente, o formato do orifício de saída explique esse comportamento. O

aumento da vazão pode ser obtido pelo aumento do comprimento do furo oblongo, mas com redução da largura, o que poderia levar à redução de DMV. A turbulência interna na ponta também pode ter contribuído para esse comportamento (ETHERIDGE et al., 1999).

TABELA 8. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet<sup>®</sup> com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes vazões.

Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )	DMV ( $\mu\text{m}$ )		Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	
	Ponta		Ponta	
	AD	ADIA	AD	ADIA
0,76	164,60 b A	388,11 a A	2,04 b C	2,18 a C
1,14	151,69 b AB	352,64 a B	2,52 a B	2,46 a B
1,51	140,89 b B	304,39 a C	2,83 a A	2,64 b A
C.V.	5,50		8,20	
F <sub>LEvene</sub>	7,436		<b>2,078</b>	
K-S	<b>0,088</b>		<b>0,054</b>	
Transformação	$\sqrt{x}$		-	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Acréscimos de vazão provocaram redução do DMV das gotas geradas por pontas com e sem indução de ar. Entretanto, a velocidade das gotas aumentou quando a vazão foi de 0,76  $\text{L min}^{-1}$  para 1,51  $\text{L min}^{-1}$ , o que indica que gotas menores apresentaram maior velocidade.

Para pontas com e sem indução de ar de mesma vazão nominal, a velocidade das gotas geradas pode ser maior ou menor. Novamente, cabe salientar que a velocidade não está somente ligada ao tamanho das gotas, mas também à energia cinética de lançamento da gota e à sua densidade. Dependendo das condições operacionais, um desses fatores pode ser mais pronunciado do que outro.

Independente da pressão de operação, pontas de pulverização com indução de ar produziram gotas com maior DMV que pontas sem o sistema de indução de ar (Tabela 9). Acréscimos de pressão provocaram redução do DMV, destacando que nas pontas

com indução de ar, o DMV reduziu 2,11 vezes quando a pressão foi elevada de 200 para 400 kPa.

TABELA 9. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet<sup>®</sup> com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, submetidas a diferentes pressões de trabalho.

Pressão (kPa)	DMV ( $\mu\text{m}$ )		Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	
	Ponta		Ponta	
	AD	ADIA	AD	ADIA
200	166,35 b A	482,73 a A	2,21 a C	2,27 a B
300	150,96 b AB	333,95 a B	2,42 a B	2,51 a A
400	139,87 b B	228,46 a C	2,76 a A	2,51 b A
C.V.	5,50		8,20	
F <sub>LEvene</sub>	7,436		<b>2,078</b>	
K-S	<b>0,088</b>		<b>0,054</b>	
Transformação	$\sqrt{x}$		-	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Nas pressões de 200 e 300 kPa, não foram observadas diferenças significativas entre as velocidades de gotas das pontas com e sem indução de ar. Todavia, quando a pressão foi elevada para 400 kPa, a velocidade de gotas geradas por pontas sem indução de ar ( $2,76 \text{ m s}^{-1}$ ) foi superior à das gotas geradas por pontas com indução de ar ( $2,51 \text{ m s}^{-1}$ ).

Pontas com e sem indução de ar, quando submetidas a maiores pressões de operação, produziram gotas com maiores velocidades. Não foi verificada diferença significativa entre as velocidades das gotas geradas por pontas de pulverização com indução de ar, entre as pressões de 300 e 400 kPa.

De maneira geral, pontas de pulverização sem a indução de ar produziram espectro de gotas mais homogêneo (Tabela 10) para todas as vazões avaliadas, exceto para as pontas com vazões de 0,76 e  $1,14 \text{ L min}^{-1}$  na pressão de 200 kPa, onde a AR das gotas geradas por pontas com indução de ar foi menor. Quando submetidas à pressão de

300 kPa, não foi observada diferença significativa na AR das gotas geradas por pontas com e sem indução de ar e vazão nominal de 0,76 L min<sup>-1</sup>.

TABELA 10. Amplitude relativa (AR) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet® com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes vazões, submetidas a diferentes pressões de trabalho.

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Pressão (kPa)	AR	
		Ponta	
		AD	ADIA
0,76	200	1,77 b	1,33 a
	300	1,44 a	1,37 a
	400	1,24 a	1,33 b
1,14	200	1,53 b	1,40 a
	300	1,10 a	1,44 b
	400	0,95 a	1,27 b
1,51	200	1,19 a	1,40 b
	300	0,94 a	1,25 b
	400	0,86 a	1,18 b
C.V.		5,26	
F <sub>LEvene</sub>		2,863	
K-S		<b>0,101</b>	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Na Tabela 11, temos o desdobramento da interação entre pressão e vazão para a AR. Pontas de pulverização sem indução de ar e vazão de 1,51 L min<sup>-1</sup> apresentaram menor AR que as pontas com vazão de 0,76 e 1,14 L min<sup>-1</sup>, exceto para a pressão de 400 kPa, onde a AR das gotas geradas por pontas com vazão de 1,51 L min<sup>-1</sup> foi estatisticamente igual a das gotas geradas por pontas com vazão de 1,14 L min<sup>-1</sup>.

À medida que se aumentou a pressão, em geral, houve uma redução na AR para as duas pontas em todas as vazões. Não foram observadas diferenças significativas entre a AR das gotas geradas por pontas de pulverização com indução de ar e diferentes vazões submetidas à pressão de 200 kPa. Na pressão de 300 kPa, a AR obtido com a ponta com vazão de 1,51 L min<sup>-1</sup> foi inferior aos demais.

TABELA 11. Amplitude relativa (AR) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Magnojet® com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes vazões e pressões de trabalho.

Ponta	Pressão (kPa)	AR		
		Vazão (L min <sup>-1</sup> )		
		0,76	1,14	1,51
AD	200	1,76 c C	1,53 b C	1,19 a B
	300	1,44 c B	1,10 b B	0,94 a A
	400	1,24 b A	0,95 a A	0,86 a A
ADIA	200	1,33 a A	1,40 a B	1,40 a B
	300	1,37 b A	1,44 b B	1,25 a A
	400	1,33 b A	1,23 a A	1,18 a A
C.V./F <sub>LEvene</sub> /K-S		5,26/2,863/0,101		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

### 3.3 Teejet®

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados estão apresentados na Tabela 12.

TABELA 12. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e velocidade das gotas, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Teejet®, com diferentes vazões e pressões de trabalho.

Fonte de variação	Valor do F calculado		
	DMV	AR	Velocidade das gotas
Ponta	540,035**	1391,157**	3,803 <sup>ns</sup>
Vazão	1,644 <sup>ns</sup>	38,886**	57,641**
Pressão	93,368**	375,631**	33,028**
Ponta x Vazão	3,843*	30,324**	1,701 <sup>ns</sup>
Ponta x Pressão	38,249**	116,674**	4,152*
Vazão x Pressão	0,546 <sup>ns</sup>	1,123 <sup>ns</sup>	0,473 <sup>ns</sup>
Ponta x Vazão x Pressão	0,897 <sup>ns</sup>	2,262 <sup>ns</sup>	1,240 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	9,01	4,30	9,74

C.V.: Coeficiente de variação; \* significativo a 0,05; \*\* significativo a 0,01, <sup>ns</sup> não significativo a 0,05.

Independente da vazão, pontas de pulverização com indução de ar produziram gotas com maior DMV que pontas sem indução de ar (Tabela 13). Nas pontas sem indução de ar não foi observada diferença significativa no DMV das gotas entre as três vazões avaliadas.

De maneira geral, a AR das gotas produzidas por pontas de pulverização sem indução de ar foi menor que os observados nas pontas com indução de ar. Todavia, nas pontas com indução de ar a menor AR foi obtida com a vazão de 1,51 L min<sup>-1</sup> (1,21).

TABELA 13. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e amplitude relativa (AR), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet® com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes vazões.

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	DMV ( $\mu\text{m}$ )		AR	
	Ponta		Ponta	
	XR	AIXR	XR	AIXR
0,76	129,22 b A	212,27 a A	0,95 a A	1,40 b B
1,14	130,47 b A	202,78 a AB	0,94 a A	1,36 b B
1,51	132,92 b A	195,00 a B	0,93 a A	1,21 b A
C.V.	9,01		4,30	
F <sub>LEVENE</sub>	4,257		3,679	
K-S	<b>0,098</b>		0,121	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Independente da pressão de operação, gotas com maior DMV foram obtidas com pontas de indução de ar (Tabela 14). Acréscimos de pressão provocaram redução do DMV das gotas geradas por pontas com indução de ar. Nas pontas sem indução de ar esse efeito não ocorreu na mesma intensidade.

De maneira geral, pontas de pulverização sem indução de ar produziram gotas com menor AR. Incrementos de pressão provocaram redução da AR das gotas geradas por pontas de pulverização com e sem indução de ar.

Não foram observadas diferenças significativas nas velocidades das gotas produzidas por pontas de pulverização com e sem indução de ar entre as pressões de

200 e 300 kPa. Na pressão de 400 kPa, pontas de pulverização sem indução de ar apresentaram gotas com velocidade média 11,45% superior à das gotas geradas por pontas com indução de ar.

TABELA 14. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e velocidade média ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet® com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, submetidas a diferentes pressões de trabalho.

Pressão (kPa)	DMV ( $\mu\text{m}$ )	
	Ponta	
	XR	AIXR
200	140,82 b A	253,81 a A
300	130,99 b AB	191,77 a B
400	120,80 b B	169,48 a C
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}/S$	9,01/4,257/ <b>0,098</b>	
Pressão (kPa)	AR	
	Ponta	
	XR	AIXR
200	1,02 a C	1,62 b C
300	0,92 a B	1,26 b B
400	0,87 a A	1,09 b A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}/S$	4,30/3,679/0,121	
Pressão (kPa)	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	
	Ponta	
	XR	AIXR
200	2,23 a C	2,29 a B
300	2,52 a B	2,47 a AB
400	2,92 a A	2,62 b A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}/S$	9,74/2,817/ <b>0,057</b>	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Maiores vazões produziram gotas com maiores velocidades (Tabela 15), foram obtidas gotas com velocidade média de  $2,18 \text{ m s}^{-1}$  nas pontas com vazão de  $0,76 \text{ L min}^{-1}$  e  $2,86 \text{ m s}^{-1}$  nas pontas com vazão de  $1,51 \text{ L min}^{-1}$ .

TABELA 15. Velocidade das gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ), resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet®, com diferentes vazões.

Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )
0,76	2,18 C
1,14	2,47 B
1,51	2,86 A
C.V.	9,74
F <sub>LEVENE</sub>	2,817
K-S	<b>0,057</b>

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, K-S: estatísticas dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

#### 4 CONCLUSÕES

Pontas de pulverização de jato plano com indução de ar das fabricantes Teejet®, Hypro® e Magnojet® produzem gotas com DMV maior que pontas correspondentes sem a indução de ar, sendo estes aumentos de 56,66; 63,31 e 128,61%, respectivamente, o que demonstra que a geometria adotada por cada fabricante na construção do sistema venturi influencia na magnitude do aumento das gotas.

Acréscimos de pressão proporcionam redução do DMV e da AR e aumento da velocidade média das gotas.

Conclui-se, ainda que pontas com indução de ar promovem espectro de gotas menos homogêneo do que as pontas sem indução.

A velocidade das gotas apresenta pouca variação entre pontas com e sem indução de ar, com mesma vazão e pressão, no entanto, pontas com maiores vazões produzem gotas com maiores velocidades.

Não há uma relação entre a vazão da ponta e o DMV das gotas geradas.

## REFERÊNCIAS

- ASAE - American Society of Agricultural Engineering. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph: ASAE, 2000. p.389-391. (ASAE Standard S572 AUG99).
- BACHE, D. H.; JOHNSTONE, D. R. **Microclimate and Spray Dispersion**. West Sussex, U.K.: Ellis Horwood. 1992.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. de A. R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.546-551, 2006.
- BUTLER ELLIS, M. C., TUCK, C. R., MILLER, P. C. H. The effect of same adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. **Crop Protection**, London, v.16, p.41-50, 1997.
- BUTLER ELLIS, M. C., BRADLEY, A., TUCK, C. R. The characteristics of sprays produced by air induction nozzles. In: THE BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL CONFERENCE WEEDS, 2001, Brighton. **Proceedings...** Surrey: The British Crop Protection Council, 2001. p.665-70.
- BUTLER ELLIS, M. C.; SWANB, T.; MILLER, P. C. H.; WADDELOWB, S.; BRADLEY, A.; TUCK, C. R. Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. **Biosystems Engineering**, London, v. 82, n. 3, p. 289-296, 2002.
- CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; SILVA, A. C. A. e; VILELA, C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37-46, jan./fev. 2013.
- CUNHA, J. P. A. R. da; 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. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.10, p.977-985, out. 2004.
- CUNHA, J. P. A. R. da; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.esp., p.10-15, jan. 2007.
- CZACZYK, Z; KRUGER, G.; HEWITT, A. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. **Journal of plant protection research**, Varsóvia, v.52, n. 4, 2012.
- DERKSEN, R. C. R. C.; OZKAN, H. E.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D. Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v. 42, n. 6, p. 1573-1580, 1999.
- ETHERIDGE, R. E.; WOMAC, A. R.; MUELLER, T. C. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. **Weed Technology**, Lawrence, v. 13, n. 4, p. 765-770, 1999.

FAGGION, F. **Desenvolvimento de métodos para estimar a quantidade de ar incluído às gotas por pontas de pulverização com indução de ar**. 2002. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

FAGGION, F. Estimativa da velocidade das gotas através das forças de impacto. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 163-170, 2008.

FAGGION, F.; ANTUNIASSI, U. R. Ar na aplicação. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, Ano IV, n. 26, p.12-15, 2004.

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

HYPRO, **Spray Tips, HYP01-2014 Hypro-SHURflo Catalog-05.14.pdf**, 2014. Disponível em: <http://www.hypropumps.com/resources/images/197.pdf>. Acesso em: 05 de Abril de 2016.

KASHDAN, J.T.; SHRIMPTON, J.S.; WHYBREW, A. A digital image analysis technique for quantitative characterisation of high-speed sprays. **Optics and Lasers in Engineering**, London, v. 45, n. 1, p. 106–115, 2007.

KUN, L.; YU, Y. G.; ZHAO, N. Experimental Study on Spray Characteristic of Air-assist Swirl Nozzle in Confined Space. **Acta Armamentary**, v. 36, n 10, Oct. 2015.

LUND, I. Nozzles for drift reduction. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 57, n. 1, p. 97-102, 2000.

MAGNOJET, **Bicos Cerâmicos para Pulverização – Bico Leque Série AD**, 2016a. Disponível em: [http://www.magnojet.com.br/magnojet/pt/produtos.php?Catalogo=detalhar\\_produto&idProduto=125&categoria=&nomeProd=bico\\_leque\\_serie\\_ad&OpAcao=MudarFotoProduto&FotoProduto=bico\\_leque\\_serie\\_ad54657734-img2.jpg&TipoMidiaProduto=Imagem](http://www.magnojet.com.br/magnojet/pt/produtos.php?Catalogo=detalhar_produto&idProduto=125&categoria=&nomeProd=bico_leque_serie_ad&OpAcao=MudarFotoProduto&FotoProduto=bico_leque_serie_ad54657734-img2.jpg&TipoMidiaProduto=Imagem). Acesso em: 05 ab 2016.

MAGNOJET, **Bicos Cerâmicos para Pulverização – Bico Leque Série ADIA**, 2016b. Disponível em: [http://www.magnojet.com.br/magnojet/pt/produtos.php?Catalogo=detalhar\\_produto&idProduto=127&categoria=&nomeProd=bico\\_leque\\_serie\\_adia\\_&OpAcao=MudarFotoProduto&FotoProduto=bico\\_leque\\_serie\\_adia\\_7033490-img2.jpg&TipoMidiaProduto=Imagem](http://www.magnojet.com.br/magnojet/pt/produtos.php?Catalogo=detalhar_produto&idProduto=127&categoria=&nomeProd=bico_leque_serie_adia_&OpAcao=MudarFotoProduto&FotoProduto=bico_leque_serie_adia_7033490-img2.jpg&TipoMidiaProduto=Imagem). Acesso em: 05 ab 2016.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell, 2000. 432p.

MCGINTY, J. A.; BAUMANN, P. A.; HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K. Evaluation of the spray droplet size spectra of drift-reducing agricultural spray nozzle designs. **American Journal of Experimental Agriculture**, Wilmington, v. 11, n. 3, p. 1-5, 2016.

MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, London, v.19, n. 8, p.609-615, 2000.

MILLER, P. C. H.; SMITH, R. W. The effect of forward speed on the drift from boom sprayers. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE, 1997, **Proceedings...** Brightonp: BCPC, 1997. p. 399-406.

MURPHY, S.D.; MORTIMER, V.; LYDON, M. Droplet Sizing and Imaging of Agricultural Sprays Using Particle/Droplet Image Analyses. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PESTICIDE APPLICATION FOR DRIFT MANAGEMENT, 2004, Waikoloa. **Proceedings...** Pullman: WSU, 2004. p.324-329.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M. de; STEURBAUT, W.; BAETENS, K.; VERBOVEN, P.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H.; SONCK, B. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, Part 1: Meteorological conditions. **Aspects Applied Biology**, Wellesbourne, v. 77, n. 2, p. 321-329, 2006.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. **Transactions of the Asabe**, St. Joseph, v. 52, n. 5, 1471-1480, 2009.

OZKAN, H. E. 1998. Effects of major variables on drift distances of spray droplets. FactSheet AEX 525-98. Columbus, Ohio: Ohio State University Extension, 1998. 16 p.

SAYINCI, B. The influence of strainer types on the flow and droplet velocity characteristics of ceramic flat-fan nozzles. **Turkish Journal of Agricultural and Forestry**, Tubitak, v. 39, p. 1-14, 2015.

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

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

TEEJET, **Informações técnicas**, 2016. Disponível em: [http://www.lh-agro.de/media/102542/173-192\\_cat50\\_port\\_lr.pdf](http://www.lh-agro.de/media/102542/173-192_cat50_port_lr.pdf). Acesso em: 05 ab 2016.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; SANTOS, L. D. T.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.

VOLPE, H. X. L.; DUARTE, R. T.; SILVA, A. G.; BALDAN JÚNIOR, E.; LEITE, G. J.; FERREIRA, M. C. Distribuição volumétrica de calda contendo *Metarhizium anisopliae*. **Ciência Rural**, Santa Maris-RS, v. 42, n. 11, p. 1909-1915, 2012.

WANG, S.; DORR, G.J.; KHASHEHCHI, M.; HE, X. Performance of selected agricultural spray nozzles using particle image velocimetry. **Journal of Agriculture and Science Technology**, Tehran, v.17, n. 3, p. 601-613, 2015.

ZHU, H.; REICHARD, D. L.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; OZKAN, H. E. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 5, p. 1401-1407, 1994.

### **CAPÍTULO III**

#### **ESPECTRO, VELOCIDADE E DERIVA DE GOTAS PULVERIZADAS POR PONTAS COM E SEM INDUÇÃO DE AR COM ÓLEO MINERAL**

## **ESPECTRO, VELOCIDADE E DERIVA DE GOTAS PULVERIZADAS POR PONTAS COM E SEM INDUÇÃO DE AR COM ÓLEO MINERAL**

### **RESUMO**

O mecanismo de formação e movimentação de uma gota após o seu lançamento pela ponta de pulverização é complexo, e estas informações podem ser úteis para a compreensão da penetração do jato de pulverização no dossel de plantas e do risco de deriva. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o espectro, a velocidade e o risco potencial de deriva de gotas pulverizadas por pontas com e sem indução de ar, com adição de óleo mineral à calda. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, no esquema fatorial 2 x 2 (duas pontas de pulverização e calda com e sem o óleo mineral Assist). Foram avaliadas pontas de pulverização com e sem indução de ar, com vazão nominal de 1,14 L min<sup>-1</sup> e na pressão de 300 kPa. Determinaram-se o espectro, a velocidade e o risco potencial de deriva. O espectro e a velocidade de gotas foram determinados de forma direta, utilizando-se um analisador de gotas em tempo real, baseado na análise de imagens de alta resolução (VisiSize D30). O potencial de deriva foi avaliado em túnel de vento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de médias. De forma geral, a adição de óleo mineral provocou aumento na velocidade das gotas, redução de deriva e espectro de gotas mais homogêneo. Pontas com indução de ar promoveram gotas de maior tamanho e menos homogêneas, mas pouco influenciaram a velocidade das gotas. Há correlação inversa entre o potencial de deriva e o DMV das gotas geradas, indicando que este parâmetro pode ser usado para prever o comportamento do risco de deriva.

**PALAVRAS-CHAVE:** adjuvantes, tamanho de gotas, tecnologia de aplicação.

## **SPECTRUM, SPEED AND DRIFT OF DROPS SPRAYED BY NOZZLES WITH AND WITHOUT AIR INDUCTION AND MINERAL OIL**

### **ABSTRACT**

The mechanism of formation and movement of a droplet after its launch by the spray nozzle is complex, and this information can be useful for understanding the penetration of the spray jet in the canopy of plants and the risk of drift. Thus, the objective of this study was to evaluate the spectrum, the speed and the potential risk of drift drops sprayed by nozzles with and without air induction, with the addition of mineral oil to the spray. The experiment was conducted in a completely randomized design with five replications, in a factorial 2 x 2 (two spray nozzles and spray with and without mineral oil). Were evaluated spray nozzles with and without air induction, with nominal flow rate of 1.14 L min<sup>-1</sup> and pressure of 300 kPa. The spectrum, the speed and the potential risk of drift were determined. The spectrum and the speed of drops was determined directly, using an analyzer drops in real time based on the analysis of high-resolution images (VisiSize D30). The drift potential was evaluated in open circuit wind tunnel. The data were submitted to analysis of variance and mean test. In general, the addition of mineral oil resulted in an increase in the velocity of drops, reduced drift and more homogeneous droplet spectrum. Air induction nozzles promoted larger and less homogeneous drops, but little did it affect the velocity of the drops. There is an inverse correlation between drift potential and DMV drops generated, which indicates that this can be used to predict the behavior of risk potential drift.

**Keywords:** adjuvants, droplet size, application technology.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de pontas de pulverização com indução de ar para a aplicação de produtos fitossanitários tem crescido em todo mundo como estratégia para a redução da deriva, e, consequente, redução de risco de contaminação ambiental.

A deriva é considerada um dos maiores problemas da agricultura (MATTHEWS, 2000), e pode ser definida como o desvio da trajetória que impede que as gotas produzidas atinjam o alvo, fato que está relacionado principalmente ao tamanho de gotas e a velocidade do vento (SILVA, 1999).

Gotas grossas são menos propensas a sofrer ação dos ventos, e consequentemente de serem carregadas para fora das áreas de aplicação. Além da redução do risco de contaminação ambiental, pontas de pulverização com indução de ar oferecem gotas com ar induzido em seu interior na forma de bolhas de ar, devido ao sistema Venturi, diminuindo assim o efeito de rebote das gotas ao atingir o alvo (CHECHETTO, 2011).

Além do tamanho, a velocidade das gotas também influencia a eficiência do processo de pulverização de produtos fitossanitários (MILLER; BUTLER ELLIS, 2000). Quanto maior a velocidade, menor é o risco de arrastamento por deriva. Faggion (2008) afirma que a velocidade das gotas é menor para as pontas com indução de ar em relação às convencionais. No entanto, Nuyttens et al. (2009) mostraram que pontas com indução de ar produzem gotas com maiores velocidades para a mesma vazão nominal e pressão de trabalho, embora produzam gotas mais lentas para um mesmo tamanho, fato que demonstra que o efeito do tamanho se sobrepõe ao efeito da velocidade de ejeção da gota.

Desta forma, percebe-se que o mecanismo de movimentação de uma gota após o seu lançamento pela ponta é complexo, confirmando a necessidade de estudos mais acurados, visto que estas informações podem ser úteis para a compreensão da penetração do jato de pulverização no dossel de plantas e do risco de deriva.

A adição de adjuvantes às caldas de pulverização também tem sido uma alternativa adotada em grande parte das aplicações de fitossanitários, com o intuito de redução da deriva (OLIVEIRA, 2011). Dentre os diversos tipos de adjuvantes disponíveis no mercado, destaca-se o amplo uso dos óleos minerais, pois agem reduzindo a tensão superficial e aumentando o molhamento, o espalhamento e a absorção dos produtos.

Eles também podem ter ação de redução de deriva por meio do aumento do diâmetro das gotas de pulverização (SILVA et al., 2010). A seleção adequada de adjuvantes pode ser utilizada como estratégia para redução do risco de deriva (COSTA et al., 2014).

Uma importante ferramenta para o estudo da quantificação de deriva ou do potencial risco de deriva é o túnel de vento, que simula as condições de vento observadas em campo. Além de validar modelos que estimam a deriva, o túnel de vento permite selecionar e desenvolver técnicas de aplicação que reduzem o impacto ambiental e econômico causado pela perda de fitossanitários (CHECHETTO, 2011). Diversos estudos de quantificação da deriva em pulverizações hidráulicas foram realizados com túneis de vento (CHECHETTO, 2011; WOLF, 2003; MOREIRA JÚNIOR, 2009).

Já para a avaliação de tamanho de gotas, a maioria dos equipamentos se baseia na técnica da difração do raio laser (MURPHY et al, 2004). Entretanto, muitos equipamentos não têm capacidade de mensurar a velocidade das gotas. Por isso, surgiu um interesse muito grande nos equipamentos de análise de imagens, pois são capazes de caracterizar o espectro e mensurar a velocidade das gotas (KASHDAN et al., 2007).

Há estudos na literatura que abordam o emprego de pontas de pulverização com indução de ar em aplicação de caldas contendo óleo mineral, os quais abordam espectro de gotas e cobertura das aplicações, contudo são poucos os estudos disponíveis que abordam a velocidade, o potencial de deriva das gotas pulverizadas e sua correlação.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o espectro, a velocidade e o risco potencial de deriva de gotas pulverizadas por pontas com e sem indução de ar, com adição de óleo mineral à calda.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia e no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Botucatu.

Foram avaliados o espectro, a velocidade e o risco potencial de deriva de gotas geradas por diferentes pontas de pulverização com e sem indução de ar, e em caldas com e sem óleo mineral. Com o intuito de obter-se melhor caracterização e

confiabilidade dos resultados, foram utilizadas pontas de pulverização de três fabricantes distintos, cabe salientar que não foram comparados os resultados entre os supracitados.

Três experimentos foram realizados, cada experimento contou com as pontas de pulverização de cada fabricante separadamente. Os experimentos foram executados em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, no esquema fatorial 2 x 2 (duas pontas de pulverização e calda com e sem óleo mineral). Foram avaliadas pontas de pulverização com vazão nominal de 1,14 L min<sup>-1</sup>, na pressão de 300 kPa.

As pontas de pulverização utilizadas estão descritas na Tabela 1.

TABELA 1. Pontas de pulverização utilizadas nos experimentos.

Fabricante	Modelo	Vazão nominal (L min <sup>-1</sup> )	Característica
Hypro®	VP 110-03	1,14	Sem indução de ar
	GA 110-03	1,14	Com indução de ar
Magnojet®	AD 110-03	1,14	Sem indução de ar
	ADIA 110-03	1,14	Com indução de ar
Teejet®	XR 110-03	1,14	Sem indução de ar
	AIXR 110-03	1,14	Com indução de ar

Com o intuito de reduzir a tensão superficial da calda a níveis mais próximos daqueles empregados a campo, o adjuvante Agral da fabricante Syngenta® foi adicionado adjuvante este caracterizado como espalhante adesivo do grupo químico Nonil Fenoxi Poli Etanol. A tensão superficial da água com temperatura de 25° C (72 mN m<sup>-1</sup>) após a adição de adjuvante na concentração de 0,0005% V V<sup>-1</sup> foi reduzida para 32 mN m<sup>-1</sup>. Este adjuvante foi empregado por sua característica de alteração da calda de pulverização apenas por meio da redução da tensão superficial, sem influenciar significativamente as demais propriedades físico-químicas.

Nos tratamentos com óleo mineral, além do Agral, foi utilizado o adjuvante Assist, da fabricante BASF®, do grupo químico hidrocarbonetos alifáticos. O produto foi adicionado na concentração de 0,015% V V<sup>-1</sup>.

Antes da avaliação do espectro de gotas, foi feito um estudo das características físico-químicas das caldas utilizadas, de acordo com a metodologia descrita por Cunha; Alves (2009). Foram determinados o pH, a viscosidade, a tensão superficial e a condutividade elétrica empregando-se cinco repetições.

O pH e a condutividade elétrica foram medidas diretamente nas soluções, utilizando peagâmetro e condutivímetro portátil (Hanna, HI98139). A viscosidade dinâmica foi determinada empregando-se um viscosímetro rotativo microprocessado (Quimis, Q860M21) que permite medir eletronicamente a força de torção convertida em viscosidade. Foi utilizado o rotor zero (indicado para a faixa de viscosidade avaliada) e rotação de 60 rpm. Esse viscosímetro de medição direta funciona pelo princípio da rotação de um cilindro (cabeça de medição) submerso na amostra a ser analisada, medindo-se a força da torção necessária para superar a resistência da rotação.

A tensão superficial foi determinada por um tensiômetro de bancada com anel de platina (Kruss, K6), empregando o método Du Nouy (DOPIERALA; PROCHASKA, 2008). O tensiômetro foi calibrado com água destilada. O teste consistiu em medir a tensão sofrida pelo anel que fica na extremidade de uma haste flexível colocada sobre a superfície da amostra, a qual foi tracionada até que o filme de líquido se rompesse.

A pulverização foi avaliada levando-se em conta o espectro e a velocidade de gotas. Os parâmetros seguintes foram tomados:  $Dv_{0,5}$  (diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica – DMV), velocidade de gotas e amplitude relativa (AR) (Equação 1).

$$AR = \frac{DV_{0,9} - DV_{0,1}}{DV_{0,5}} \quad (1)$$

onde:

$Dv_{0,1}$  = diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

$Dv_{0,5}$  = diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

$Dv_{0,9}$  = diâmetro de gota tal que 90% do volume é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

As determinações foram realizadas de forma direta, utilizando-se um analisador de gotas em tempo real, baseado na análise de imagens de alta resolução. Foi empregado o equipamento VisiSize D30, da fabricante Oxford Lasers Imaging

Division, com taxa de captura de 30 imagens por segundo e diâmetro do feixe do laser de 805 nm para iluminação do jato. O sistema é capaz de medir gotas com diâmetro acima de 5  $\mu\text{m}$ . Além de medir a distribuição do diâmetro das partículas, o equipamento VisiSize D30 disponibiliza a velocidade das partículas em tempo real e análise de formas.

Para fornecer as médias dos parâmetros de pulverização, o equipamento contabiliza dez mil gotas em cada repetição. Com isso, como foram realizadas cinco repetições neste experimento, cada dado apresentado provém da medição de cinquenta mil gotas de pulverização.

Antes da realização de cada ensaio, foi realizada a calibração do equipamento VisiSize D30, de acordo com o padrão do Laboratório de Máquinas para Pulverização da Universidade Estadual Paulista, campus de Botucatu, por meio da utilização de uma ponta de pulverização do fabricante Teejet®, modelo XR8003, e calda contendo apenas água, a qual deveria produzir gotas com DMV de 150  $\mu\text{m}$ .

Para a pulverização das gotas, foi utilizado um equipamento montado de tal forma que o jato pulverizado passasse transversalmente através do feixe luminoso do analisador, permitindo obter diretamente o espectro de gotas médio para cada condição desejada. Os ensaios foram realizados em ambiente controlado com o intento de minimizar o efeito das condições ambientais (temperatura do ar inferior a 28°C, umidade relativa do ar superior a 60% e ausência de ventos).

Para correlacionar a deriva com os parâmetros medidos, foi analisada a deriva gerada pelos tratamentos especificados anteriormente em túnel de vento (Figura 1), conforme metodologia descrita por Moreira Júnior (2009), e adaptações de Mota (2015). Neste modelo de túnel o circuito é aberto, ou seja, não há recirculação do ar como acontece nos túneis de circuito fechado, e com o sistema acionador (motor) abastecendo o circuito e agindo como soprador. Logo após o motor, foram colocadas duas telas e uma colmeia, com a finalidade de uniformizar o fluxo de ar que se desloca para a seção de testes onde foram realizadas as medidas.

Uma corrente de ar incidiu sobre a pulverização e a deriva foi capturada em alvos artificiais (fios de nylon) distribuídos em alturas de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 m de altura em relação ao piso do túnel (Figura 2), e a uma distância de 2,8 m da ponta de pulverização. A ponta de pulverização ficou posicionada dentro do túnel, em uma

posição central em relação a sua largura, a 0,68 m de distância em relação à entrada de ar e na altura de 0,50 m em relação ao piso do túnel.



FIGURA 1.

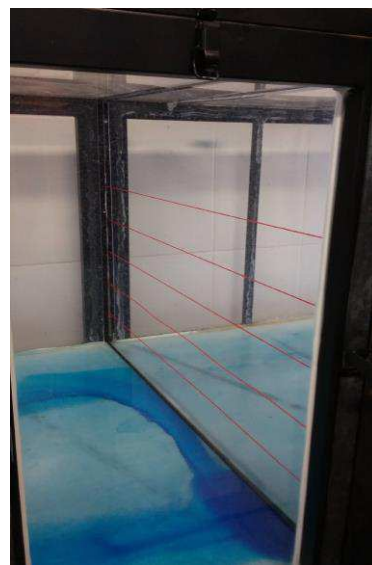


FIGURA 2.

**FIGURA 1.** Túnel de vento utilizado nos ensaios (MOTA, 2015). **FIGURA 2.** Distribuição dos fios de nylon no túnel de vento. FONTE: FRANÇA (2015).

As dimensões totais do túnel são de 1,00 m de largura, 0,70 m de altura, seção de testes de 5,20 m de comprimento e no total de 6,30 m de comprimento. Foram utilizados fios de nylon de 2 mm de diâmetro como alvos artificiais para a coleta da deriva, posicionados na horizontal e perpendicular ao sentido de deslocamento do vento, colocados em estruturas em forma de gavetas.

Os ensaios foram realizados com velocidade de vento de  $2,5 \text{ m s}^{-1}$ , que foi alcançada por meio do ajuste da rotação do ventilador. Para cada coleta, a pulverização da calda foi realizada por 20 segundos (MOREIRA JÚNIOR; ANTUNIASSI, 2010; MOTA, 2015). O tempo de pulverização de 20 segundos foi empregado, de modo a permitir que a quantidade de produto coletada dos fios de nylon ficasse dentro da faixa de leitura do espectrofotômetro.

Em todas as repetições foram medidas a temperatura e a umidade relativa do ar, utilizando-se um termo higrômetro digital portátil Minipa, modelo MTH 1362W posicionado fora do túnel de vento, próximo ao ventilador onde ocorre a entrada de ar dentro do túnel. A velocidade do vento foi medida em tempo real, empregando-se um anemômetro digital tipo ventoinha (Marca Minipa, modelo MDA 11). O anemômetro

ficou posicionado no interior do túnel de vento, entre a saída de ar e a ponta de pulverização.

Para a formulação das caldas de pulverização, foi utilizada água potável à temperatura ambiente, e para todos os tratamentos foi utilizado o corante (marcador) artificial para fins alimentícios Azul Brilhante, da fabricante Duas Rodas, na concentração de 6000 ppm, ou seja, 6 gramas de corante a cada 1 L de calda.

Esse corante apresenta baixa toxicidade e é um produto altamente solúvel em água (CHECHETTO et al., 2013). Trabalhos com esse corante foram realizados por Tavares (2015); Alves (2014); Silva (2013); Chechetto et al. (2013); Bueno (2011); Oliveira (2011); Palladini (2000); e Moreira Júnior e Antuniassi (2010) com resultados satisfatórios como traçador nos respectivos experimentos para medidas de deposição.

Para a pulverização, foi utilizado um sistema composto por um reservatório, com volume de 8 L pressurizado por um cilindro contendo CO<sub>2</sub>. A pressão de trabalho foi regulada por meio de uma válvula reguladora de pressão na saída do cilindro de CO<sub>2</sub> e monitorada por um manômetro instalado próximo a ponta de pulverização. A abertura e o fechamento da pulverização foram feitos manualmente por uma válvula tipo esfera.

Após cada repetição, os fios foram coletados e armazenados em sacos plásticos, para posterior extração do corante. Também foi coletada uma amostra de cerca de 0,25 L de cada calda, que foi usada posteriormente como referencial nos cálculos de estimativa de corante em cada fio por meio de curvas padrão.

Decorrido o tempo de pulverização, os fios de nylon tiveram suas extremidades cortadas, imediatamente em seguida foram acondicionados dentro de sacos plásticos e levados para posterior lavagem para retirada da calda que sofreu deriva. A deriva coletada nos fios de nylon foi extraída através da lavagem com água destilada e volume de 0,045 L para os fios coletados com as pontas de indução de ar e 0,090 L para as pontas sem indução de ar. O objetivo dessas diferentes diluições foi de assegurar que a absorbância de cada amostra, se enquadrasse com o espectro de leitura do equipamento e da curva padrão. Para isso, acrescentou-se essa quantidade de água dentro dos sacos plásticos, inflava-os com ar e agitava por 30 segundos. Os líquidos resultantes da lavagem de cada fio foram colocados individualmente em tubos de ensaio e imediatamente submetidos à análise em um espectrofotômetro.

O equipamento utilizado foi da marca Shimadzu modelo UV-2600 (Figura 3), que faz a leitura das amostras automaticamente e nas faixas de comprimento de onda entre 185 nm a 900 nm e faixa de absorvância entre -5 abs a 5 abs com precisão de 0,00001. O equipamento foi ajustado para ler o comprimento de onda de 630 nm que corresponde à faixa espectral do corante.

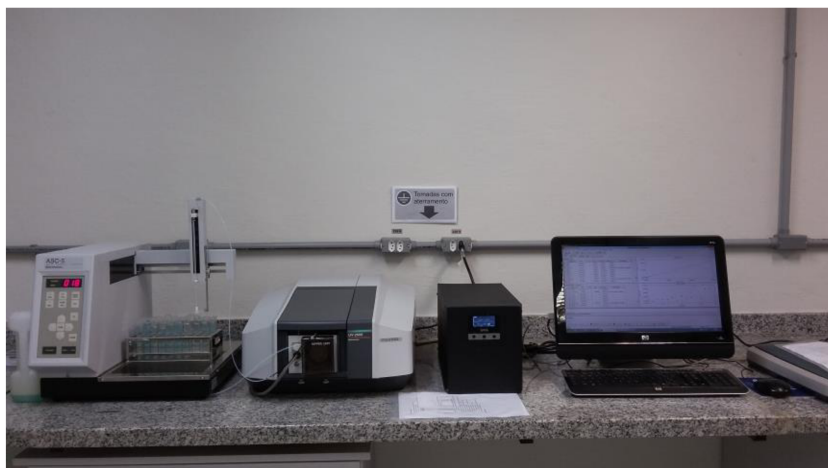


FIGURA 3. Espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV-2600. FONTE: FRANÇA (2015).

Com os resultados de absorvância de cada leitura, foi calculada a concentração de corante em  $\text{mg L}^{-1}$  presente em cada amostra. Para isso foi feita a confecção de curvas padrão a partir de concentrações conhecidas. Com os valores de absorvância e a curva padrão, o equipamento calculou a concentração de corante presente em cada amostra (proveniente dos fios coletores) por meio da Equação 2.

$$CC = \frac{abs - A}{B} \quad (2)$$

Onde:

CC = Concentração de corante na amostra ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

A = Coeficiente linear da reta.

abs = Absorvância da amostra.

B = Coeficiente angular da reta.

A partir dos resultados de concentração de corante calculado para cada amostra, foi feito o cálculo do volume de calda coletado em cada fio. Para isso, levou-se em consideração a quantidade de água usada para lavar cada fio, conforme descrito na Equação 3.

$$VC = \frac{CC \times Qa}{6000} \times 1000 \quad (3)$$

Onde:

VC = Volume de calda presente em cada fio ( $\mu\text{L}$ ).

CC = Concentração de corante na amostra ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

Qa = Quantidade de água utilizada na lavagem de cada fio (mL).

Com os valores de calda presente em cada fio, foi estimado o índice de deriva por fio, que é o percentual do volume da calda pulverizada retido no fio, conforme descrito na Equação 4, e o índice de deriva total, que foi o somatório do índice de deriva de todos os fios para cada repetição, conforme a norma ISO (2008).

$$ID \text{ fio} = \frac{VC \times AF \times T \times \frac{1}{1000}}{q} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

ID fio = Índice de deriva por fio (%).

VC = Volume de calda coletada por fio ( $\mu\text{L}$ ).

AF = Comprimento da área do túnel representada por cada fio (cm).

T = Tempo de pulverização de cada repetição (seg).

q = vazão da ponta de pulverização ( $\text{mL min}^{-1}$ ).

Todos os dados obtidos foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com o programa SPSS 20 (SPSS, 2011). Nos casos em que as pressuposições não foram atendidas, os dados foram submetidos às transformações pertinentes e submetidos à nova análise. Somente quando a transformação corrigiu pelo menos uma das pressuposições, sem prejudicar as demais, utilizaram-se os dados transformados para a análise de variância. Do contrário, utilizaram-se os dados originais (SOKAL; ROHLF, 1995).

Após a análise das pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008). Quando pertinente, os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância. Adicionalmente, também foi realizada análise de correlação de Pearson entre o DMV e o índice de deriva, ao nível de 0,05 de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas das caldas estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Características físico-químicas das caldas de pulverização.

Característica	Calda		
	Surfactante (Agral)	Surfactante+óleo mineral (Agral + Assist)	C.V./ F <sub>LEVENE</sub> /S-W
pH	5,33 a	5,36 a	2,10/ <b>0,31/0,95</b>
Viscosidade (mPa·s)	1,09 b	1,25 a	1,03/11,76/ <b>0,91</b>
Tensão superficial (mN·m <sup>-1</sup> )	32,00 a	32,30 a	12,88/ <b>1,92/0,79</b>
Condutividade elétrica (μS·cm <sup>-1</sup> )	45,84 b	50,64 a	<b>0,57/0,09/0,83</b>

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de t ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

A adição de óleo mineral (Assist) à calda de pulverização não provocou alteração significativa no pH e na tensão superficial. Todavia, a condutividade elétrica de 45,84 μS cm<sup>-1</sup> obtida com a calda de surfactante (Agral) foi menor que a obtida com a calda com Assist (50,64 μS cm<sup>-1</sup>). A viscosidade da calda após a adição do óleo mineral foi elevada em 14,68%, indicando que o mesmo pode influenciar também no espectro de gotas.

#### 3.1 Hypro®

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados das pontas Hypro® estão apresentados na Tabela 3. Nota-se um comportamento distinto entre os parâmetros avaliados quanto às interações.

TABELA 3. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), velocidade das gotas e índice de deriva, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Hypro®, com e sem óleo mineral.

Fonte de variação	Valor do F calculado			
	DMV	AR	Velocidade	Índice de deriva
Ponta	92,096**	243,191**	1,706 <sup>ns</sup>	662,486**
Calda	4,458 <sup>ns</sup>	261,199**	7,232*	281,466**
Ponta x Calda	3,928 <sup>ns</sup>	179,756**	0,004 <sup>ns</sup>	99,531**
C.V. (%)	8,93	5,11	8,53	11,40

C.V.: Coeficiente de variação; \* significativo a 0,05; \*\* significativo a 0,01, <sup>ns</sup> não significativo a 0,05.

Quando se utilizou calda de pulverização contendo apenas surfactante, pontas sem indução de ar produziram gotas com menor AR (0,92) (Tabela 4). O sistema de indução de ar, por possuir o mecanismo de inclusão de ar e mistura do mesmo com o líquido de pulverização, pode implicar em modificação da dinâmica do líquido no interior da ponta, e consequente produção de espectro de gotas com menor uniformidade. Não foram observadas diferenças significativas entre as AR das gotas geradas por pontas sem indução de ar (VP) e com indução de ar (GA) quando se utilizou calda com óleo mineral. Possivelmente, este comportamento está ligado à influência do óleo mineral na formação das gotas.

Nas pontas com indução de ar (GA), a adição de óleo mineral proporcionou AR 1,8 vezes menor que o obtido com a calda sem óleo mineral.

TABELA 4. Amplitude relativa (SPAN) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro® com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes tipos de calda de pulverização.

Calda	SPAN	
	Ponta	
	VP	GA
Surfactante	0,92 a A	1,64 b B
Surfactante + Óleo Mineral	0,84 a A	0,91 a A
C.V./ F <sub>LEVENE</sub> /S	5,11/3,743/0,820	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, minúsculas entre as pontas e maiúsculas entre as caldas, pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Em relação ao tamanho de gotas, o DMV foi maior nas pontas de pulverização com indução de ar (198,26  $\mu\text{m}$ ) do que nas pontas de pulverização sem indução de ar (134,49  $\mu\text{m}$ ) (Tabela 5). Os resultados corroboram os encontrados por Chechetto (2011) e Miller e Butler Ellis (2000). O aumento do DMV das gotas ocorreu devido à presença de ar no interior das gotas de pulverização.

TABELA 5. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro<sup>®</sup>, com (GA) e sem (VP) indução de ar.

Ponta	DMV ( $\mu\text{m}$ )
VP	134,49 B
GA	198,26 A
C.V./ F <sub>LEVENE</sub> / S	8,93/ <b>3,688</b> / <b>0,927</b>

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

A adição de óleo mineral à calda de pulverização proporcionou gotas com velocidade 10,8% superior à obtida com a calda apenas com surfactante (Tabela 6). Quanto maior a velocidade da gota, menor é o tempo gasto entre a ejeção pela ponta de pulverização e o alvo a ser atingido, com isso menor o tempo ao qual a gota fica sujeita a sofrer deriva. Este resultado pode ter contribuído com o comportamento apresentado no túnel de vento pela calda com óleo mineral.

Entretanto, gotas com maiores velocidades podem sofrer o efeito de rebote mais pronunciado ao atingir a superfície. Cabe ressaltar que o efeito de rebote é minimizado quando se trabalha com pontas de indução de ar, pois as bolhas existentes no interior da gota de pulverização realizam um efeito de amortecimento quando a gota impacta com o alvo.

Nuyttens et al. (2009) verificaram que gotas de maiores diâmetros corresponderam às maiores velocidades. Os autores ainda afirmam que as gotas desaceleram como resultado à resistência do ar, e as gotas menores desaceleram mais rapidamente quando comparadas às gotas maiores, devido a sua menor massa, a qual sofre interferência mais acentuada da ação de desaceleração provocada pelo vento.

TABELA 6. Velocidade de gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro®, com diferentes tipos de calda de pulverização.

Calda	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )
Surfactante	2,69 B
Surfactante + Óleo	2,98 A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / S-W	8,53/ <b>2,242/0,972</b>

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Devido ao maior DMV das gotas proporcionado pela inclusão de bolhas de ar no interior das gotas, a deriva obtida com pontas GA foi menor que a obtida nas pontas VP, para ambos os tipos de calda (Tabela 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2007), Fietsam et al. (2004) e Chechetto et al. (2013). Os autores avaliaram a deriva em várias pontas sob diferentes condições ambientais e pressões de trabalho, e encontraram menores valores com a utilização de pontas de pulverização com indução de ar.

TABELA 7. Índice de deriva (%) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Hypro® com (GA) e sem (VP) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.

Calda	Índice de deriva (%)	
	Ponta	
	VP	GA
Surfactante	13,46 b B	2,98 a B
Surfactante + Óleo Mineral	5,61 b A	0,98 a A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ /S	11,40/ <b>4,641/0,954</b>	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

A adição de óleo mineral à calda de pulverização provocou redução na deriva das gotas, salientando que nas pontas de pulverização com indução de ar houve redução de 3,14 vezes e nas pontas sem indução de ar, a redução foi de 2,4 vezes. Tal

comportamento pode ter sido obtido pela elevação da viscosidade da calda de pulverização. Embora não tenha ocorrido elevação do DMV, possivelmente houve a redução da quantidade de gotas finas, contribuindo para a diminuição da deriva. Além disso, a velocidade das gotas foi aumentada com a presença do óleo mineral, minimizando a deriva.

Costa (2006), Cunha et al. (2003) e Johnson et al. (2006) verificaram aumento no tamanho das gotas de pulverização e redução de deriva quando adicionado óleo à calda de pulverização, no entanto os autores trabalharam com óleos de origem vegetal.

### 3.2 Magnojet®

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados das pontas Magnojet estão apresentados na Tabela 8. A calda não influenciou somente o DMV. A indução de ar interferiu em todos os parâmetros avaliados, exceto na velocidade das gotas.

TABELA 8. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), velocidade das gotas e índice de deriva, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Magnojet®, com e sem óleo mineral.

Fonte de variação	Valor do F calculado			
	DMV	AR	Velocidade	Índice de deriva
Ponta	141,184**	86,042**	0,687 <sup>ns</sup>	185,758**
Calda	0,034 <sup>ns</sup>	134,701**	54,409**	243,073**
Ponta x Calda	2,664 <sup>ns</sup>	33,416**	5,160*	89,640**
C.V. (%)	13,73	4,38	5,31	15,22

C.V.: Coeficiente de variação; \* significativo a 0,05; \*\* significativo a 0,01, <sup>ns</sup> não significativo a 0,05.

As gotas geradas pelas pontas sem a indução de ar (AD) apresentaram menor AR que as geradas por pontas com indução de ar (ADIA), sendo 23,61% menor na calda apenas com surfactante e 7,61% na calda de surfactante em mistura com óleo mineral (Tabela 9).

TABELA 9. Amplitude relativa (AR) e velocidade de gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização pontas de pulverização da fabricante Magnojet®, com (ADIA) e sem (AD) indução de ar e diferentes caldas de pulverização.

Calda	AR	
	Ponta	
	AD	ADIA
Surfactante	1,10 a B	1,44 b B
Surfactante + Óleo Mineral	0,97 a A	1,05 b A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ /S-W	4,38/ <b>0,345</b> / <b>0,916</b>	
Calda	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	
	Ponta	
	AD	ADIA
Surfactante	2,48 a B	2,58 a B
Surfactante + Óleo Mineral	2,92 b A	3,12 a A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ /S-W	5,31/ <b>1,015</b> / <b>0,944</b>	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Pontas ADIA produziram gotas com DMV 53,47% maior que as gotas produzidas por pontas AD (159,95  $\mu\text{m}$ ) (Tabela 10). Chechetto et al. (2011) e Derksen et al. (1999) também observaram aumento no DMV das gotas produzidas por pontas com indução de ar em relação às convencionais.

Isto sugere que a indução de ar, apesar de proporcionar a geração de gotas de maiores diâmetros, apresenta também maior variação em seu diâmetro. Tal comportamento pode ter ocorrido em virtude da geometria interna da ponta com indução de ar, na qual o líquido pulverizado passa por uma câmara de mistura de ar e líquido, com consequente alteração na dinâmica de liberação das gotas em relação às pontas sem a indução de ar.

A adição de óleo mineral à calda resultou em diminuição da AR e aumento na velocidade das gotas produzidas por pontas de pulverização com e sem indução de ar.

Não foi observada diferença significativa na velocidade das gotas entre as pontas AD e ADIA quando se utilizou calda de pulverização contendo apenas surfactante. Entretanto, quando se adicionou óleo mineral à calda de pulverização, a velocidade média das gotas produzidas por pontas ADIA foi superior à das gotas geradas por

pontas AD, sendo estas 3,12 e 2,92 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Isto implica que gotas maiores estão relacionadas a maiores velocidades (NUYTTENS, 2009), para um mesmo tipo de calda de pulverização e condições operacionais.

TABELA 10. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm) resultante da aplicação com pontas de pulverização do fabricante Magnojet, com (ADIA) e sem (AD) indução de ar.

Ponta	DMV (µm)
AD	159,95 B
ADIA	343,76 A
C.V./ F <sub>LEVENE</sub> / S	13,73/28,804/ <b>0,869</b>

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Na Tabela 11, observa-se que quando utilizada calda de pulverização contendo apenas surfactante, a deriva das gotas geradas por pontas ADIA foi 67,8% menor que a obtida com as pontas de pulverização sem indução de ar. Com a adição de óleo mineral na calda de pulverização, a ponta ADIA proporcionou deriva 46,1% menor que a obtida com as pontas AD.

TABELA 11. Índice de deriva (%) resultante da aplicação com pontas de pulverização pontas de pulverização da fabricante Magnojet, com (ADIA) e sem (AD) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.

Calda	Índice de deriva (%)	
	Ponta	
	AD	ADIA
Surfactante	4,85 b B	1,56 a B
Surfactante + Óleo Mineral	1,28 b A	0,69 a A
C.V./ F <sub>LEVENE</sub> /S	15,22/4,685/0,681	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

Possivelmente, devido ao aumento da velocidade das gotas nas pontas ADIA, a adição de óleo mineral implicou em redução de 2,26 vezes na deriva, e nas pontas sem indução de ar a redução foi de 3,58 vezes, em relação à calda sem óleo mineral.

### 3.3 Teejet®

Os valores de F calculados nas análises de variância dos dados das pontas Teejet® estão apresentados na Tabela 12.

TABELA 12. Resumo do quadro de análise de variância dos dados referentes ao diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR), velocidade das gotas e índice de deriva, resultante da aplicação com pontas de pulverização com e sem indução de ar da fabricante Teejet®, com e sem óleo mineral.

Fonte de variação	Valor do F calculado			
	DMV	AR	Velocidade	Índice de deriva
Ponta	106,272**	80,370**	0,371 <sup>ns</sup>	139,777**
Calda	4,913*	84,962**	4,162 <sup>ns</sup>	55,036**
Ponta x Calda	0,858 <sup>ns</sup>	55,499**	4,531*	64,357**
C.V. (%)	8,28	5,29	9,61	8,77

C.V.: Coeficiente de variação; \* significativo a 0,05; \*\* significativo a 0,01, <sup>ns</sup> não significativo a 0,05.

Gotas geradas por pontas com indução de ar (AIXR), quando se utilizou calda apenas com surfactante, apresentaram menor uniformidade no espectro de gotas, sendo a AR 42,39% superior à obtida com as pontas sem indução de ar (XR) (Tabela 13). Isto pode ter sido ocasionado pela geometria da ponta AIXR, que possui uma câmara de mistura de ar e líquido em seu interior, fato que pode ter provocado a geração de gotas com maior variação de diâmetros.

TABELA 13. Amplitude relativa (AR) e velocidade de gotas ( $\text{m s}^{-1}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet®, com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.

Calda	AR	
	Ponta	
	XR	AIXR
Surfactante	0,92 a A	1,31 b B
Surfactante + Óleo Mineral	0,88 a A	0,91 a A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / S-W	<b>5,29/4,988/0,956</b>	
Calda	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	
	Ponta	
	XR	AIXR
Surfactante	2,55 a A	2,38 a B
Surfactante + Óleo Mineral	2,54 a A	2,84 a A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / S-W	<b>9,61/0,230/0,980</b>	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

A adição de óleo mineral à calda de pulverização das pontas AIXR proporcionou AR de 0,91, sendo este menor que o obtido com a calda contendo apenas surfactante (1,31).

Não foi observada diferença significativa na velocidade das gotas entre as pontas com e sem indução de ar. Entretanto, nas pontas AIXR quando se adicionou óleo mineral à calda de pulverização, a velocidade das gotas foi 1,2 vezes superior à obtida com a calda que continha apenas surfactante, o que possivelmente deve estar ligado ao aumento de viscosidade da calda. Fluidos com maior viscosidade e tensão superficial requerem maior quantidade de energia para a pulverização. Portanto, a pulverização de líquidos que tenham maior viscosidade e maior tensão superficial, em geral, produz gotas maiores (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Pontas AIXR produziram gotas com DMV 32,05% maior que as gotas produzidas por pontas XR (134,51  $\mu\text{m}$ ) (Tabela 14), Estes resultados corroboram com os obtidos por Chechetto (2011); Derksen et al. (1999) e Miller e Butler Ellis (2000).

TABELA 14. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet com (AIXR) e sem (XR) indução de ar.

Ponta	DMV ( $\mu\text{m}$ )
XR	134,51 B
AIXR	197,95 A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / S	8,28/ <b>2,657/0,933</b>

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

A adição de óleo mineral à calda de pulverização proporcionou gotas com maior DMV que as produzidas quando se utilizou calda contendo apenas surfactante, sendo estes de 173,05 e 159,41  $\mu\text{m}$ , respectivamente (Tabela 15). Este resultado difere das pontas Hypro<sup>®</sup> e Magnojet<sup>®</sup>, em que a adição do óleo não interferiu no DMV. Esse resultado possivelmente deve estar ligado à geometria interna de cada ponta e contribuiu com o comportamento da velocidade das gotas.

TABELA 15. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet<sup>®</sup> com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.

Ponta	DMV ( $\mu\text{m}$ )
Surfactante	159,41 B
Surfactante + Óleo Mineral	173,05 A
C.V./ $F_{\text{LEVENE}}$ / S-W	8,28/ <b>2,657/0,933</b>

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.  $F_{\text{Levene}}$ , S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

A deriva das gotas geradas por pontas AIXR foi menor que a obtida com as pontas XR, para ambas as caldas de pulverização (Tabela 16). Nas pontas AIXR, a deriva obtida com a calda contendo surfactante em mistura com óleo mineral foi 56,68 % menor que a observada quando se pulverizou a calda apenas com surfactante. O menor índice de deriva possivelmente foi obtido devido à geração de gotas com maiores diâmetros nas pontas com indução de ar.

Em estudo conduzido por Costa et al. (2014), em que os autores avaliaram o efeito de adjuvantes sobre a deriva em aplicações de 2,4-D + glyphosate, foi constatada tendência de menor deriva das gotas de pulverização devido à adição de óleo mineral à calda de pulverização.

TABELA 16. Índice de deriva (%) resultante da aplicação com pontas de pulverização da fabricante Teejet, com (AIXR) e sem (XR) indução de ar, com diferentes caldas de pulverização.

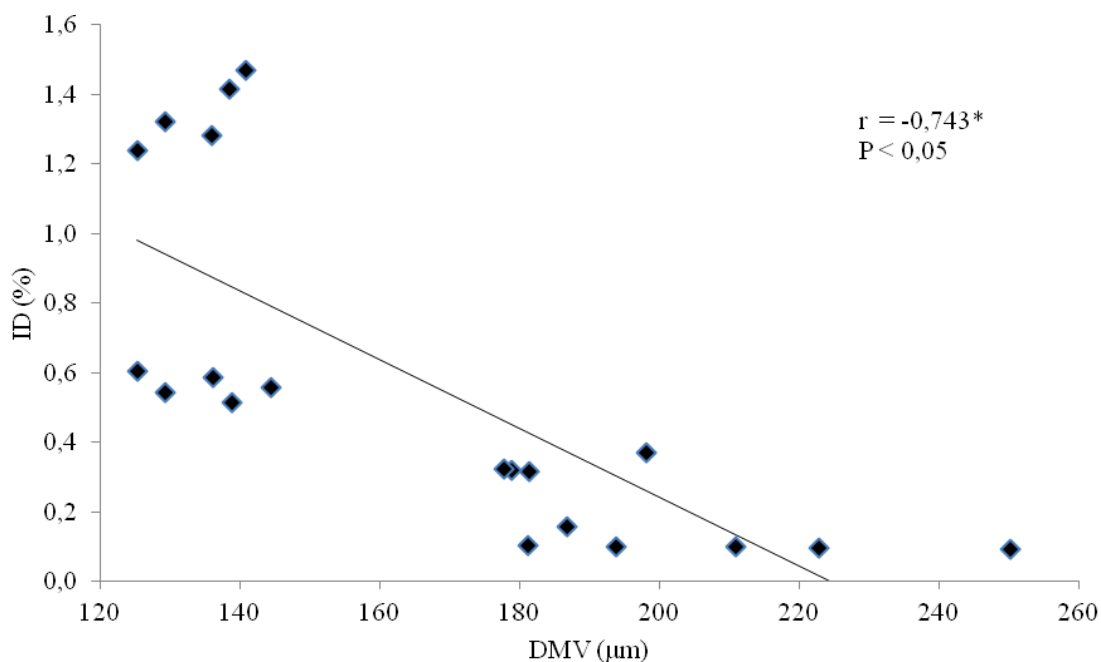
Calda	Índice de deriva (%)	
	Ponta	
	XR	AIXR
Surfactante	2,47 b A	2,17 a B
Surfactante + Óleo Mineral	2,52 b A	0,94 a A
C.V./ F <sub>LEVENE</sub> /S	8,77/8,795/0,947	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. F<sub>Levene</sub>, S-W: estatísticas dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas a 0,01 de significância; valores sem negrito indicam resíduos com distribuição não normal e variâncias heterogêneas. CV (%): coeficiente de variação.

### 3.4 Correlação entre índice de deriva (%) e DMV (µm)

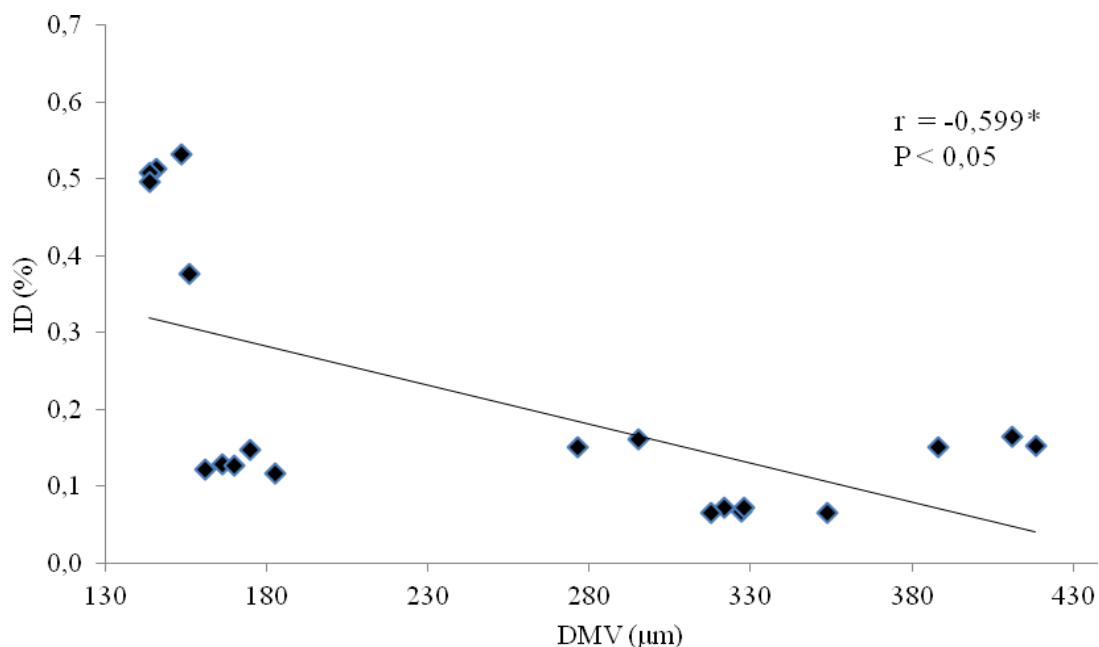
Os índices de deriva apresentaram correlações de moderada (Magnojet<sup>®</sup>) a forte (Hypro<sup>®</sup> e Teejet<sup>®</sup>), de acordo com a escala de correlações proposta por Dancey e Reidy (2006), os quais classificaram valores de  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,6$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte). O valor negativo de  $r$  (-) indica que as correlações foram inversas entre o índice de deriva e o DMV, ou seja, quando um parâmetro diminuiu o outro aumentou. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira e Antuniassi (2012). Os autores avaliaram a correlação entre o índice de deriva em túnel de vento e DMV e encontraram correlação forte e inversa entre os parâmetros.

População de gotas com maior DMV foram menos propensas a perdas por deriva para as pontas de pulverização das fabricantes Hypro<sup>®</sup> (Gráfico 1), Magnojet<sup>®</sup> (Gráfico 2) e Teejet<sup>®</sup> (Gráfico 3).



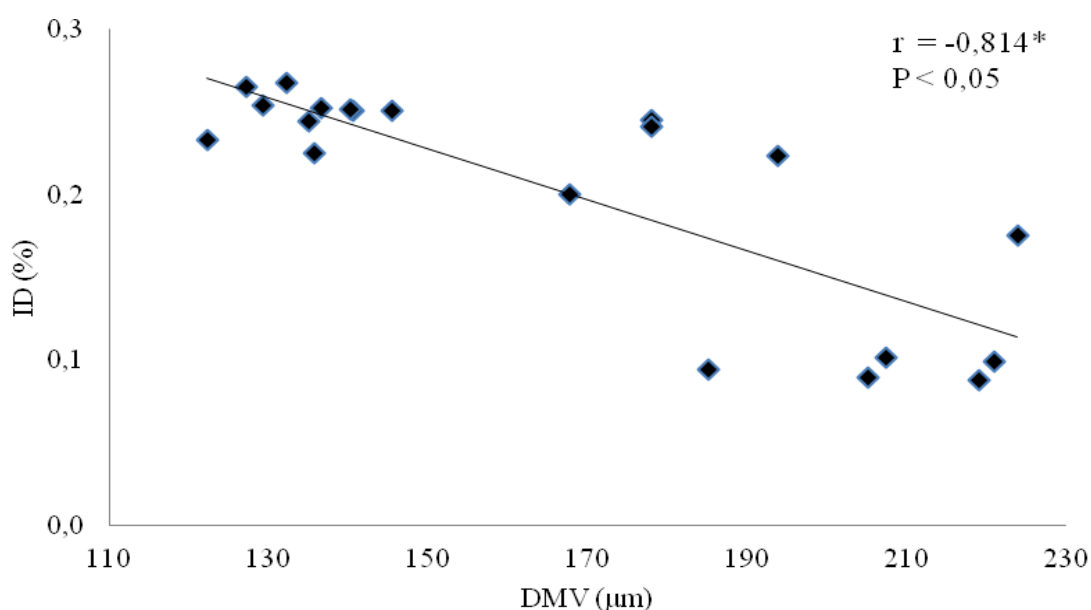
\*Correlação de Pearson significativa ao nível de 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).

GRÁFICO 1. Correlação entre o índice de deriva (ID, %) e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) para as pontas de pulverização GA e VP da fabricante Hypro®.



\*Correlação de Pearson significativa ao nível de 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).

GRÁFICO 2. Correlação entre o índice de deriva (ID, %) e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) para as pontas de pulverização AD e ADIA, da fabricante Magnojet®.



\*Correlação de Pearson significativa ao nível de 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).

GRÁFICO 3. Correlação entre o índice de deriva (ID, %) e o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm) para as pontas de pulverização XR e AIXR, da fabricante Teejet®.

Para todas as fabricantes, pontas com DMV menores que 150 µm apresentaram os maiores índices de deriva e são mais propensas a sofrer ação de carregamento das gotas para fora da área de aplicação do produto, e, conseqüentemente, há a possibilidade de contaminação de áreas vizinhas. Isto demonstra que o tamanho das gotas é um fator de grande importância no momento da aplicação quando se objetiva redução da deriva.

Esse comportamento indica que a caracterização do tamanho de gotas é um bom parâmetro para prever o potencial de risco de deriva.

## 4 CONCLUSÕES

Pontas de pulverização de jato plano com indução de ar das fabricantes Teejet®, Hypro® e Magnojet® produziram gotas com DMV maior que pontas correspondentes sem a indução de ar, no entanto, a magnitude deste aumento variou de acordo com o modelo de ponta (48% a 115%).

De forma geral, a adição do óleo mineral Assist provocou aumento na velocidade das gotas, redução de deriva e espectro de gotas mais homogêneo, fato que faz desse método uma forma para otimizar a qualidade das aplicações.

A velocidade das gotas apresentou pouca variação entre pontas com e sem indução de ar.

Pontas com indução de ar promoveram espectro de gotas menos homogêneo do que as pontas sem indução.

Há correlação inversa entre o potencial de deriva e o DMV das gotas geradas, indicando que este parâmetro pode ser usado para prever o comportamento do risco de deriva.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S. **Seleção de traçadores e deriva nas aplicações foliares de produtos fitossanitários na cultura do café (*Coffea arabica* L.)**. 2014. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- BUENO, M. R. **Tecnologia de aplicação aérea e terrestre na cultura da batata**. 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- CHECHETTO, R. G. **Potencial de redução da deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2011.
- CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; SILVA, A. C. A. E; VILELA, C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37–46, 11 mar. 2013.
- CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South América, 1999. 15p.
- COSTA, A. G. F. **Determinação da deriva da mistura 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes**. 2006. 94 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2006.
- COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C. A.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; SILVA, F. M. L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, jan./mar. 2007.
- COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; FIORINI, M. V.; SIONO, L. M. Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.387-392, mar, 2014.
- CUNHA, J. P. A.; TEIXEIRA, M. M.; COURRY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Revista Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.
- CUNHA, J. P. A. R. da; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Intersciencia**, Caracas, v. 34, n. 9, 2009.
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.
- DERKSEN, R. C. R. C.; OZKAN, H. E.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D. Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v. 42, n. 6, p. 1573-1580, 1999.

- DOPIERALA, K.; PROCHASKA, K. The effect of molecular structure on the surface properties of selected quaternary ammonium salts. **Journal of Colloid and Interface Science**, Amsterdã, v. 321, n. 1, p. 220-226, 2008.
- FAGGION, F. Estimativa da velocidade das gotas através das forças de impacto. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 163-170, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensaios de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.
- FIETSAM, J. F. W.; STEFFEN, B. G.; JOVEM, R. W. Differential response of herbicide drift reduction nozzles to drift control agents with glyphosate. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 47, n. 5, p. 1405-1411, 2004.
- ISO, International Organization for Standardization. **Equipment for crop protection — Methods for the laboratory measurement of spray drift — Wind tunnels**. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22856:ed-1:v1:en>. Acesso em: 17 jun 2016.
- JOHNSON, A. K.; ROETH, F. W.; MARTIN, A. R.; KLEIN, R. N. Glyphosate spray drift management with drift reducing nozzles and adjuvants. **Weed Technology**, Lawrence, v. 20, p.893-897, 2006.
- KASHDAN, J. T.; SHRIMPTON, J.S.; WHYBREW, A. A digital image analysis technique for quantitative characterization of high-speed sprays. **Optics and Lasers in Engineering**, London, v. 45, n. 1, p. 106–115, 2007.
- MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell, 2000. 432p.
- MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, Guildford, v. 19, p. 609-615, 2000.
- MOREIRA JÚNIOR, O. **Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas**. 2009, 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.
- MOREIRA JÚNIOR, O.; ANTUNIASSI, U. R. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 118-136, 2010.
- MOTA, A. A. B. **Espectro de gotas e potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D Amina em misturas de tanque**. 2015. 56 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.
- MURPHY, S.D.; MORTIMER, V.; LYDON, M. Droplet Sizing and Imaging of Agricultural Sprays Using Particle/Droplet Image Analyses. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PESTICIDE APPLICATION FOR DRIFT MANAGEMENT, 2004, Waikoloa. **Proceedings...** Pullman: WSU, 2004. p.324-329.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. **Transactions of the Asabe**, St. Joseph, v. 52, n. 5, 1471-1480, 2009.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, R. B. de; ANTUNIASSI, U. R. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 27, n. 1, 2012.

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

SILVA, O. C. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: Canteri, M.G.; Pria, M. D.; Silva, O. C. (Eds.). **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**. Ponta Grossa: UEPG, 1999. p.127-137.

SILVA, A. C. A. et al. Efeito de diferentes adjuvantes no espectro de gotas e no potencial de deriva em pulverizações agrícolas. In: : CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27. 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010.

SILVA, J. E. R. da **Deposição de calda em folhas de cafeeiro com diferentes volumes e pontas de pulverização**. 2013. 41 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

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

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

TAVARES, R. M.. **Sistema de eletrificação de gotas e eficiência da pulverização eletrostática no controle do psílido *Triozyda limbata* (Enderlein) (Hemiptera: Triozyidae) em goiabeira (*Psidium guajava* L.)**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

WOLF, R. E. **Drift Characteristics of Spray Tips Measured in a Wind Tunnel**. Paper Number: MC03-201, an ASAE Meeting Presentation, 2003.